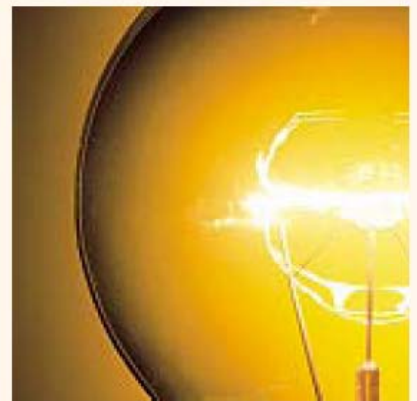


[www.bioenergybaltic.ee](http://www.bioenergybaltic.ee)

# Käsiraamat

## Biogaasi tootmine ja kasutamine



Bundesministerium für  
Verbraucherschutz, Ernährung  
und Landwirtschaft

EESTI PÕLLUMEESTE KESKLIIT  
Central Union of Estonian Farmers



[www.emu.ee](http://www.emu.ee)

Põllumajandus- ja  
ministeerium



Tõlkinud Margo Mansberg

Toimetajad:

Argo Normak	Eesti Maaülikool, taastuenergia keskus
Elis Vollmer	Eesti Maaülikool, taastuenergia keskus
Kaja Orupõld	Eesti Maaülikool, veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut
Allan Kaasik	Eesti Maaülikool, veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut
Ülo Kask	Tallinna Tehnikaülikool, soojustehnika instituut

Keelelised toimetajad:

Karin Veske  
Marika Lillemägi

Originaali tiitel: **Handreichung. Biogasgewinnung und –nutzung.**

3., überarbeitete Auflage

Gülzow, 2006

Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow, mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22027200). ISBN 3-00-014333-5

**Käsiraamat. Biogaasi tootmine ja kasutamine.**

Käsiraamat on lühendatud versioon originaalist.

Eestikeelne väljaanne. © Eesti Põllumeeste Keskliit 2008

Käsiraamatu tõlkimist eesti keelde toetas Maaelu Edendamise Sihtasutus Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava 2007-2013 raames.

ISBN: 978-9949-15-957-4

# Sisukord

<b>1 Käsiraamatu eesmärk .....</b>	<b>15</b>
1.1 Ülesannete püstitamine .....	15
1.2 Võimalikud lahendused .....	15
1.3 Sisukord .....	16
1.4 Sihtgrupid .....	17
1.5 Piirangud .....	17
1.5.1 Tehnika .....	17
1.5.2 Substraadid .....	17
1.5.3 Andmete kasutamine .....	17
<b>2 Anaeroobse kääritamise põhitõed .....</b>	<b>18</b>
2.1 Biogaasi teke .....	18
2.2 Keskkonnatingimused .....	19
2.2.1 Hapnik .....	19
2.2.2 Temperatuur .....	19
2.2.3 pH .....	20
2.2.4 Toitainetega varustamine .....	20
2.2.5 Inhibiitorid .....	20
2.3 Opereerimise parameetrid .....	21
2.3.1 Käärimiskambri mahukoormus ja viibeaeg .....	21
2.3.2 Segamine .....	22
2.3.3 Gaasitekke potentsiaal ja metanogeneesi aktiivsus .....	22
2.3.3.1 Võimalik gaasitootlikkus .....	22
2.3.3.2 Gaasi kvaliteet .....	24
2.4 Protsessi häirumise põhjused .....	24
2.4.1 Temperatuur .....	24
2.4.2 Ammoniaagi teke (NH <sub>3</sub> ) .....	24
2.4.3 Väävelvesinik (H <sub>2</sub> S) .....	25
2.4.4 Vead substraadi lisamisel („söötmisel“) .....	25
2.5 Kasutatud kirjandus .....	27
<b>3 Tehnoloogia ja seadmed biogaasi tootmiseks .....</b>	<b>28</b>
3.1 Märksõnad ja eristatavus erinevate kriteeriumite alusel .....	28
3.1.1 Protsessi etappide arv .....	28
3.1.2 Protsessi temperatuur .....	29
3.1.3 Täitmise viis .....	29
3.1.3.1 Tsükliline täitmine .....	29
3.1.3.2 Pidev ja pool-tsükliline täitmine .....	30
3.1.4 Kuivaine sisaldus kääritavas substraadis .....	31
3.1.4.1 Märgekääritsemine .....	31
3.1.4.2 Kuivkääritsemine .....	33
3.2 Biogaasi tootmise tehnoloogia (protsessid) .....	36
3.2.1 I etapp - substraadi käitlemine .....	37
3.2.1.1 Kohaletoimetamine (transport) .....	37
3.2.1.2 Ladustamine (hoiustamine) .....	37
3.2.1.3 Eeltöötlemine .....	38
3.2.1.4 Substraadi transport ja sisestamine .....	42
3.2.2 Biogaasi tootmine .....	50
3.2.2.1 Käärituskambrite ehituslikud lahendused .....	51

3.2.2.2 Käärituskambri konstruktsioon .....	53
3.2.2.3 Tahke ja vedela massi eraldamine .....	62
3.2.2.4 Biogaasi tootmisprotsessi jälgimine ja juhtimine .....	63
3.2.3 Kääritatud substraadi ladustamine (hoiustamine) .....	63
3.2.4 Tekkinud biogaasi hoiustamine .....	63
3.2.5 Protsessi jälgimine ja juhtimine .....	66
3.3 Ohutusreeglid .....	71
3.3.1 Mürgitus- ja uppumisoht .....	71
3.3.2 Plahvatus- ja tuleoht .....	72
3.4 Kasutatud kirjandus .....	72
<b>4 Substraatide omadused .....</b>	<b>74</b>
4.1 Põllumajanduslikud substraadid .....	74
4.1.1 Sõnnik .....	74
4.1.2 Energiakultuurid .....	75
4.1.2.1 Mais .....	75
4.1.2.2 Rukkisilo (tervest taimest – vilis) .....	75
4.1.2.3 Peedid .....	76
4.1.2.4 Rohusilo .....	76
4.2 Põllumajandustoodangu töötlemine ja sealt pärinevad substraadid .....	77
4.2.1 Õlle tootmine .....	77
4.2.2 Alkoholi tootmine (piirituse) .....	77
4.2.3 Kartuli töötlemine (tärglise tootmine) .....	77
4.2.4 Suhkru tootmine .....	78
4.2.5 Puuviljatööstuse kõrvaltooted .....	79
4.3 Orgaanilised jäätmed kodumajapidamisest ja prügikäitlusest .....	79
4.4 Muru – ja muu roheline niide parkidest .....	80
4.5 Kasutatud kirjandus .....	81
<b>5 Gaasi ettevalmistamine ja kasutusvõimalused .....</b>	<b>83</b>
5.1 Gaasi ettevalmistamine .....	83
5.1.1 Väavli eraldamine .....	83
5.1.1.1 Bioloogiline väavli eraldamine käärituskambris .....	84
5.1.1.2 Bioloogiline väavli eraldamine väljaspool käärituskambrit .....	85
5.1.1.3 Keemiline väavli eraldamine käärituskambris .....	85
5.1.1.4 Keemiline väavli eraldamine väljaspool käärimiskambrit .....	86
5.1.2 Kuivatamine .....	86
5.2 Gaasi kasutamine – elektri ja soojuse koostootmine .....	86
5.2.1 Soojuse ja elektri koostootmiseseade sisepõlemismootoriga (SEK, saksa k BHKW) .....	87
5.2.1.1 Gaas-ottomootorid .....	87
5.2.1.2 Sädesüütega diiselmootorid .....	88
5.2.1.3 Kahjulike ainete vähendamine ja heitgaaside puhastamine .....	88
5.2.1.4 Generaatorid .....	89
5.2.1.5 Elektriline kasutegur ja tootlikus .....	89
5.2.1.6 Soojuse eraldumine .....	90
5.2.1.7 Gaasi reguleerimise teelõik .....	90
5.2.1.8 Töötamine, hooldus, teenindus ja ruumid .....	91
5.2.1.9 Maksumus .....	93
5.2.2 Stirlingmootorite kasutamine .....	94
5.2.3 Mikrogaasturbiinide kasutamine .....	95
5.2.4 Kütuseelementide kasutamine .....	95
5.3 Külmatootmine .....	96
5.4 Teised kasutusvõimalused .....	97
5.4.1 Biogaasi kasutamine katlakütusena .....	97
5.4.2 Juhtimine maagaasivõrku .....	97
5.4.3 Mootorikütus .....	98
5.5 Kasutatud kirjandus .....	98
<b>6 Mudeltehased .....</b>	<b>100</b>
6.1 Eesmärk ja ülesande püstitus .....	100
6.2 Mudeltehased – iseloomustamine ja vastuvõtmine .....	100
6.2.1 Substraadid .....	100

6.2.2 Tehase võimsus .....	102
6.2.3 Bioloogiline ja tehniline varustatus .....	103
6.2.3.1 Bioloogilis-tehnilised parameetrid .....	103
6.2.3.2 Ehituslik-tehnilised parameetrid .....	103
6.2.4 Andmed investeeringu suuruse arvutamiseks .....	104
6.2.4.1 Ehitusgruppide investeeringuvajadused .....	104
6.2.4.2 Mudeltehase investeeringuvajadused .....	105
6.2.5 Mudeltehase töötamine .....	105
6.3 Mudeltehaste esitlus ja kirjeldus .....	105
6.3.1 Mudeltehase sisendid ja väljundid (input ja output) .....	106
6.3.2 Mudeltehase kirjeldus kogemuste põhjal .....	106
6.3.2.1 Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine kasutamiseks .....	106
6.3.2.2 Kääritamine .....	108
6.3.2.3 Biogaasi hoiustamine ja töötlemine .....	108
6.3.2.4 Biogaasi kasutamine .....	108
6.3.2.5 Kääritusjäägi hoiustamine .....	109
6.3.2.6 Mudeltehaste iseloomustavad andmed .....	109
6.3.3 Mudeltehaste investeeringute vajadused .....	116
6.4 Kasutatud kirjandus .....	116
<b>7 Kääritusjäägi kvaliteet ja kasutamine .....</b>	<b>117</b>
7.1 Substraadi omaduste muutumine käärimisprotsessis .....	117
7.2 Ladustamise mõju kääritusjäägile .....	119
7.2.1 Ammoniaagi emissioon .....	119
7.2.2 Kasvuhoonegaaside emissioon .....	119
7.3 Kääritusjäägi omadused väetisena .....	121
7.3.1 Lämmastiku kättesaadavus ja mõju .....	121
7.3.2 Käärimisprotsessi mõju teistele taimetoitainetele .....	123
7.4 Parim aeg vedelsõnniku ja kääritusjäägi laotamiseks .....	124
7.5 Kääritusjäägi laotamiseks sobivad tehnoloogiad .....	125
7.6 Tekkiva reovee ja kääritusjäägi ettevalmistus .....	126
7.7 Kasutatud kirjandus .....	126
<b>8 Projekti planeerimise põhimõtted .....</b>	<b>128</b>
8.1 Mõtisklused .....	128
8.1.1 Mida mina tahan? .....	128
8.1.2 Mida mina suudan? .....	128
8.1.3 Millised toorained on minu kasutuses? .....	129
8.2 Elektri hind .....	129
8.3 Majandusliku tasuvuse hindamisvahendid .....	129
8.4 Sissetulekud .....	129
8.5 Kulud .....	130
8.6 Tööaja vajadus .....	130
8.6.1 Tööaja vajadus jälgimiseks ja hooldustöödeks .....	131
8.7 Olulised mõjufaktorid positiivsete majandustulemuste saavutamiseks .....	131
8.7.1 Tehase ehitamise maksumus .....	131
8.7.2 Tekkiva gaasi kogus .....	131
8.7.3 Gaasi kvaliteet .....	132
8.7.4 SEK – soojuse ja elektri koostootmisjaam .....	133
8.8 Kalkulatsiooni peegel .....	134
8.9 Lisasubstraatide kasutamine .....	136
8.9.1 Tekkiva gaasi koguse arvutamine .....	138
8.9.2 Lisasubstraatide ettevalmistuse maksumus .....	138
8.9.2.1 Maksimaalsed kulutused lisasubstraatidele mitte täielikult täisvõimsusel töötavale tehasele .....	141
8.9.2.2 Maksimaalsed kulutused lisasubstraatidele arvestades püsikulusid (tehase laienemine) .....	141
8.9.3 Tundlikkuse analüüs .....	143
8.10 Mudeltehased .....	143
8.11 Majanduslikkuse hindamine .....	143
8.12 Mudeltehaste kalkulatsioonid .....	145

8.13 Tundlikkuse analüüs .....	148
8.14 Kasutatud kirjandus .....	148
<b>9 Projekti elluviimine .....</b>	<b>149</b>
9.1 Idee ja projekti visand .....	149
9.2 Täpsema planeerimise etapp .....	149
9.3 Lubade taotlemise planeerimine .....	151
9.4 Tehase ostmine .....	153
9.5 Tehase ehitus .....	154
9.6 Tehase töötamine .....	157
9.7 Kasutatud kirjandus .....	158

## Tabelid

Tabel 2-1: Inhibiitorid ja kahjulikud kontsentratsioonid.....	21
Tabel 2-2: Spetsiifiline biogaasi saagis ja metaanisaldus.....	22
Tabel 2-3: Maisisilo, vahaküpsuse alguses, teri palju.....	23
Tabel 2-4: Biogaasi ja metaani saagis maisisilost.....	23
Tabel 2-5: Biogaasi keskmine koostis .....	24
Tabel 3-1: Biogaasi tootmistehnoloogiad jaotatuna erinevate kriteeriumite alusel.....	28
Tabel 3-2: Survevoolu biogaasi käärivate omadused .....	31
Tabel 3-3: Täielikult segatavate käärivate omadused.....	32
Tabel 3-4: Kuivkääritamise iseloomustus.....	33
Tabel 3-5: Substraatide hoiustamine enne kääritamist.....	38
Tabel 3-6: Eeltötlusmahutite tunnusarvud ja parameetrid .....	38
Tabel 3-7: Tahkete ainete otsese doseerimisega seotud peenestusseadmete iseloomulikud suurused ja kasutusparameetrid.....	41
Tabel 3-8: Peenestusseadmete (paigaldatakse enne eelmahutit) iseloomulikud suurused ja kasutusparameetrid.....	41
Tabel 3-9: Purustamine eelmahutites .....	41
Tabel 3-10: Purustamine etteandetorustikus .....	42
Tabel 3-11: Peenestid, mis moodustavad etteande tehnikaga ühise seadme .....	42
Tabel 3-12: Tsentrifugaalpumpade parameetrid .....	43
Tabel 3-13: Ekstsentrigitupumpade parameetrid (kruvipump) .....	44
Tabel 3-14: Rootorpumpade parameetrid .....	44
Tabel 3-15: Lõõtpumpade parameetrid .....	45
Tabel 3-16: Eelmahutite parameetrid.....	46
Tabel 3-17: Sisselaskešahtide omadused .....	47
Tabel 3-18: Kolbsöötja omadused .....	48
Tabel 3-19: Kruvisöötjate (söötevtigude) omadused .....	49
Tabel 3-20: Armatuuri ja torustike rajamistingimused .....	49
Tabel 3-21: Horisontaalset käärituskambrit iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid.....	51
Tabel 3-22: Vertikaalset käärituskambrit iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid .....	52
Tabel 3-23: Kuivkäärimisprotsessi- ja -seadmeid iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid ..	52
Tabel 3-24: Biogaasi käärituskambri betoonile esitatavad nõudmised .....	53
Tabel 3-25: Biogaasi käärituskambri metallile esitatavad nõudmised .....	54
Tabel 3-26: Isolatsioonimaterjalide iseloomustus.....	54
Tabel 3-27: Isolatsioonimaterjale iseloomustavad suurused, näited .....	54
Tabel 3-28: Integreeritavate küttekehade iseloomustus .....	55
Tabel 3-29: Väliste soojusvahetite omadused.....	56
Tabel 3-30: Uputatavate kruvisegistite omadused .....	57
Tabel 3-31: Pikateljeliste segistite omadused .....	58
Tabel 3-32: Aksiaalsete segistite omadused .....	59
Tabel 3-33: Horisontaalsete käärituskambrite mõla- ehk haspelsegistite omadused .....	60
Tabel 3-34: Vertikaalsete käärituskambrite mõla- ehk haspelsegistite omadused .....	60
Tabel 3-35: Pneumaatiline segamine .....	61
Tabel 3-36: Hüdrauliline segamine.....	61
Tabel 3-37: Sette eemaldamise ja väljavedamise seadmed.....	62
Tabel 3-38: Tiguseparaatori iseloomustus .....	63
Tabel 3-39: Välisgaasihoidlate iseloomustus.....	65



Tabel 3-40: Kilehoidlate iseloomustus .....	65
Tabel 3-41: Küünapõleti iseloomustus .....	66
Tabel 3-42: Substraadi koguse mõõtmine .....	67
Tabel 3-43: Tahkete lisandite mõõtmine .....	67
Tabel 3-44: Käärituskambri täituvuse mõõtmisvõimalused .....	68
Tabel 3-45: Gaasihoidla täituvuse mõõtmine .....	68
Tabel 3-46: Temperatuuri mõõtmine .....	69
Tabel 3-47: pH väärtuse mõõtmine .....	69
Tabel 3-48: Meetodid ja tingimused substraadi koostisosade määramiseks .....	69
Tabel 3-49: Gaasikulumõõturid .....	70
Tabel 3-50: Gaasi koostise mõõteseadme (gaasianalüsaatori) iseloomustus .....	70
Tabel 3-51: Gaaside omadused .....	71
Tabel 3-52: Biogaasi komponentide omadused .....	71
Tabel 3-53: Väävelhappe toksiline mõju .....	71
Tabel 4-1: Sõnniku koostis .....	74
Tabel 4-2: Sõnnikus sisalduvad raskemetallid .....	75
Tabel 4-3: Sõnnikust tekkiv gaasi kogus ja metaani sisaldus .....	75
Tabel 4-4: Maisisilo omadused .....	75
Tabel 4-5: Maisisilo mineraalide sisaldus .....	75
Tabel 4-6: Rukkisilo omadused .....	76
Tabel 4-7: Peetide ja peedilehtede koostis .....	76
Tabel 4-8: Raskemetallide sisaldus peedi lehtedes (mg/kg KA) .....	76
Tabel 4-9: Rohusilo koostis .....	76
Tabel 4-10: Raskemetallid rohusilos .....	77
Tabel 4-11: Ölleraba sisaldused .....	77
Tabel 4-12: Raskemetallid öllerabas .....	77
Tabel 4-13: Piirituspraaka iseloomustavad arvvaartused .....	77
Tabel 4-14: Tärglise tootmise kõrvalproduktide omadused .....	78
Tabel 4-15: Mineraalide sisaldus tärglise tootmisjääkides .....	78
Tabel 4-16: Šnitsli ja melassi omadused .....	78
Tabel 4-17: Raskemetallide sisaldus .....	78
Tabel 4-18: Pressimisjääkide omadused .....	79
Tabel 4-19: Raskemetallide sisaldus .....	79
Tabel 4-20: Orgaaniliste jääkainete omadused .....	79
Tabel 4-21: Tapajääetete omadused .....	80
Tabel 4-22: Raskemetallide sisaldused orgaanilistes jäätmetes .....	80
Tabel 4-23: Muruniite omadused .....	80
Tabel 4-24: Raskemetallid niites .....	80
Tabel 4-25: Substraadid kokkuvõtvalt .....	81
Tabel 5-1: Põletatava biogaasi miinimumnõuded, kui hapnikusisaldus on 5% kuivades suitsugaasides .....	83
Tabel 5-2: Bioloogilise väävlialduse iseloomustus .....	84
Tabel 5-3: Välise bioloogilise väävlialduse iseloomustamine .....	85
Tabel 5-4: Keemiline väävlialdus käärituskambris .....	85
Tabel 5-5: Väline keemiline väävlialdus .....	86
Tabel 5-6: Gaas-ottomootorite omadused .....	87
Tabel 5-7: Sädesüütega diiselmootorite omadused .....	88
Tabel 5-8: Emisiooni piirvaartused aastast 2002 .....	89



Tabel 6-1: Mudeltehaste iseloomustamise kriteeriumid .....	100
Tabel 6-2: Mudelites kasutatud substraadid ja nende väärtused .....	101
Tabel 6-3: Tihedamini kasutatavad lisasubstraadid põllumajanduslikes biogaasitehastes.....	101
Tabel 6-4: Mudeltehaste suurusjärkude põhjendused .....	102
Tabel 6-5: Mudeltehase tehnilised ja kogemuslikud parameetrid.....	103
Tabel 6-6: Mudelis kasutatavad ehitusgrupid ja nende iseloomustus .....	104
Tabel 6-7: Ettevõtlusvormid mudeltehastel .....	105
Tabel 6-8: Mudeltehaste iseloomustus.....	106
Tabel 6-9: Mudeltehased – sisendid ja väljund, bioloogilised ja tehnilised tunnusväärtused hindamiseks.....	107
Tabel 6-10: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 1 .....	110
Tabel 6-11: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 2 .....	111
Tabel 6-12: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 3 .....	112
Tabel 6-13: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 4 .....	113
Tabel 6-14: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases n. 5 .....	114
Tabel 6-15: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 6 .....	115
Tabel 6-16: Ülevaade investeringuvajadustest mudeltehastesse .....	116
Tabel 7-1: Erinevatest algmaterjalidest pärineva kääritusjäägi toitefaktorite sisaldus.....	118
Tabel 7-2: NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O ning kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade ja sigade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8).....	120
Tabel 7-3: NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O ning kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8).....	120
Tabel 7-4: NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O ning kasvuhoonegaaside emissioon sigade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8).....	120
Tabel 7-5: Kumuleeruv CH <sub>4</sub> -, NH <sub>3</sub> -, N <sub>2</sub> O- ja kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade ladustatud vedelsõnnikust talve- ja suveperioodil (7-8).....	121
Tabel 7-6: Omastatava lämmastiku koguse teoreetiline kalkulatsioon veiste värsket ja kääritatud vedelsõnnikust /7-19/ .....	122
Tabel 7-7: Omastatava lämmastikukoguse teoreetiline kalkulatsioon veiste värsket ja kääritatud vedel- ning tahesõnnikust /7-19/ .....	124
Tabel 7-8: Laotamistehnoloogiad ja vedelsõnniku andmise viis /7-20/,/7-21/ .....	125
Tabel 7-9: Laotamistehnoloogiate tööparameetrid ja sobivus erinevatele kõlvikutele /7-21/.....	126
Tabel 8-1: Gaasi väljatuleku ja kvaliteedi hinnangulised kogused .....	134
Tabel 8-2: Ülekande kadude arvutamine .....	135
Tabel 8-3: Ühe biogaasijaama soojusbilanss .....	137
Tabel 8-4: Rohusilo, 1 niide, täisõies, toortoitainete sisaldus ja seedekoeffitsient 1000g KA kohta ..	138
Tabel 8-5: Rohusilo, 1 niide, täisõies, - gaasi väljatulek l/kg KA (piiratud /8-7/ järgi).....	138
Tabel 8-6: Biogaasijaama kulud erinevate lisasubstraatide korral .....	139
Tabel 8-7: Lisasubstraatide maksimaalne võimalik maksumus biogaasi tootmiseks koos püsikuludega, sädesüütega SEK <sup>a</sup> (müügi tulemis on ka süüteõli toodetud elekter sees) 140	
Tabel 8-8: Oluliste parameetrite mõju substraatide majanduslikkusele (võrdle joonisega 8-6).....	141
Tabel 8-9: Mudeltehastes kasutatavad substraadid .....	143
Tabel 8-10: Substraatide maksumused ja sissetulekud .....	144
Tabel 8-11: Majanduslikkuse üldine hinnang .....	144
Tabel 8-12: Mudeltehaste kalkulatsioonid .....	146
Tabel 8-13: Oluliste parameetrite mõju majanduslikkusele mudeltehastes .....	148

## Joonised

Joonis 1-1: Teejuht biogaasi tootmise ja kasutamise käsiraamatule .....	16
Joonis 2-1: Skemaatiline anaeroobne lagunemine .....	18
Joonis 2-2: Äädikhapest metaani tekke inhibeerumine NH <sub>3</sub> toimel .....	25
Joonis 2-3: HS <sup>-</sup> ja H <sub>2</sub> S osakaal sõltavana pH väärtusest .....	25
Joonis 2-4: Maksimaalne biogaasi tekkimine ja biogaasi tekkimine ajaühikus.....	26
Joonis 3-1: Kambri meetodi faasid .....	29
Joonis 3-2: Vahetatavate kambrite meetod .....	30
Joonis 3-3: Läbivoolu meetod .....	30
Joonis 3-4: Salvestusmeetod.....	30
Joonis 3-5: Kombineeritud läbivoolu-salvestusmeetod .....	31
Joonis 3-6: Survevoolu meetod .....	31
Joonis 3-7: Täielikult läbiseगतav käärituskamber, läbilõige: Biogas Nord GmbH.....	32
Joonis 3-8: Kaheosaline käärituskamber; foto: ENTEC .....	33
Joonis 3-9: Sisselükatav kuivkäärituskamber (konteiner rullikutel), prototüübi staadiumis, foto Bioferm GmbH.....	34
Joonis 3-10: Bokskäärituskamber täitmisel, prototüübi staadiumis. Foto Bioferm GmbH .....	34
Joonis 3-11: Kiletoru täitmine; foto B. Linke, Borniumi põllumajandustehnika instituut .....	34
Joonis 3-12: Kombineeritud kuivkääritamine, skemaatiline joonis: Dr. Ing. Steffen GmbH .....	35
Joonis 3-13: Kompogas-meetodil töötav biogaasijaam; foto: Kompogas AG .....	35
Joonis 3-14: Biogaasi tootmistehnoloogia üldskeem.....	36
Joonis 3-15: Põllumajandusliku biogaasi tootmise skeem koos substraatidega. B. Linke, Borniumi põllumajandustehnika instituut .....	37
Joonis 3-16: Pastöriseerimine koos jahutamisega, foto: TEWE Elektronik GmbH.....	39
Joonis 3-17: Eelmahti; fotod: Konrad Pumpe GmbH.....	39
Joonis 3-18: Uputatavad pumbad koos peenestamis- ja edastamiseseadmetega, foto ITT FLYGT Pumpen GmbH .....	40
Joonis 3-19: Substraadi peenestamine transporditorustikus, foto Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH .....	40
Joonis 3-20: Pumbad ühes biogaasjaamas. Foto: WELtec BioPower GmbH .....	43
Joonis 3-21: Ekstsentrigitupump (vasakul), reguleeritav staator (paremal), foto: Armatec-FTS-Armaturen GmbH.....	44
Joonis 3-22: Rootorpumba tööprintsip; joonis: Vogelsang GmbH.....	45
Joonis 3-23: Lõõtspumba tööprintsip; pildid: Armatec-FTS-Armaturen GmbH .....	45
Joonis 3-24: Täitmiseks kasutatav kogumismahuti; fotod: Loick Bioenergie, ENR; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH.....	46
Joonis 3-25: Tahkete substraatide lisamine, joonis FAL Braunschweig .....	47
Joonis 3-26: Tahkete substraatide sisestamine kolbsöötjaga; foto PlanET Energietechnik .....	48
Joonis 3-27: Materjali sisestamine sööteteoga (kruvisöötjaga .....	48
Joonis 3-28: Mahutitevaheline töölava koos ühendustorustiku ja ülerõhuventiiliga; foto: MT-Energie GmbH .....	50
Joonis 3-29: Väävlialdaja; foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH .....	50
Joonis 3-30: Käärituskambri sisevaade; foto Biogas Nord GmbH .....	50

Joonis 3-31: Horisontaalne käärituskamber haspelsegistiga .....	51
Joonis 3-32: Vertikaalne käärituskamber koos sisemiste seadmetega; joonis: Anlagen- und Apparatebau Lüthe GmbH .....	52
Joonis 3-33: Betoonist käärituskambri ehitus; foto Johann Wolf GmbH .....	53
Joonis 3-34: Metallist käärituskambri ehitus; foto Anlagen- und Apparatebau Lüthe GmbH .....	54
Joonis 3-35: Metallist küttestorustik (vasakul), küttestorude montaaž seinale (keskel ja paremal); foto vasak ja keskel: Biogas Nord GmbH; paremal PlanET Energietechnik .....	55
Joonis 3-36: Uputatava mootoriga kruvisegisti ja juhtimissüsteem (paremal); fotod: Agrartechnik Lothar Becker.....	57
Joonis 3-37: Pikateljeline segisti koos ja ilma pörandale kinnitusega; foto; WELtec BioPower GmbH; graafika: Armatec FTS-Armaturen GmbH .....	58
Joonis 3-38: Aksiaalne segisti; skeem: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH	59
Joonis 3-39: Mõlasegisti (paremal); foto: PlanET Energietechnik .....	60
Joonis 3-40: Tiguseparaator; joonis: FAN separaator GmbH; foto: PlanET Energietechnik .....	63
Joonis 3-41: Kilehoidlad; joonised: Institut für Agrartechnik Bornium .....	64
Joonis 3-42: Gaasihoidla alumised konstruktsioonid (vasakul), kilekaanega käärituskambrid, fotod: MT-Energie GmbH.....	64
Joonis 3-43: Biogaasijaama küünalpõleti, foto: Haase Umwelttechnik AG .....	66
Joonis 3-44: Jaama juhtimine läbi arvuti. Foto: <i>Agrartechnik Lothar Becker</i> .....	66
Joonis 3-45: Protsessi visualiseerimine ja keskne mõõteandmete salvestamise seade. Fotod: <i>Awite Bioenergie GbR</i> .....	67
Joonis 3-46: Gaasianalüsaator; foto: Schmack Biogas AG.....	70
Joonis 5-1: Gaasi reguleerimine õhu pumpamisel käärituskambrisse; foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH.....	84
Joonis 5-2: Välised bioloogilised väävlieralduskolonnid, paremal koos gaasihoidlaga; fotod: Sja H GmbH ja CO Umweltengineering KG .....	84
Joonis 5-3: SEK-i skemaatiline joonis, skeem: ASUE.....	87
Joonis 5-4: Biogaasil töötav SEK, komplektne moodul koos küünalpõletiga; Joonis: Haase Energietechnik AG.....	87
Joonis 5-5: Biogaasil töötava SEK-i elektriline kasutegur vastavalt tootja andmetele .....	89
Joonis 5-6: Soojuse jaotussõlm; foto MT-Energie-GmbH.....	90
Joonis 5-7: SEK koos gaasi reguleerimissõlmega (hele torustik); foto: MT-Energie GmbH .....	90
Joonis 5-8: Eraldiseisvasse hoonesse paigutatud konteineritüüpi SEK; fotod: Seva Energie AG .....	92
Joonis 5-9: Soojuse ja elektri koostootmisjaama erimaksumus .....	93
Joonis 5-10: Täishoolduskulud olenevalt võimsusest .....	94
Joonis 5-11: Stirlingmootori tööpõhimõte .....	94
Joonis 5-12: Mikroturbiini ehitus. Joonis: G.A.S. ENERGIETECHNOLOGIE GmbH .....	95
Joonis 5-13: Kütuseelemendi tööpõhimõte; joonis: FAL Braunschweig.....	96
Joonis 5-14: Absorptsioonkõlmutusseadme põhimõtteskeem .....	96
Joonis 5-15: Absorptsioonkõlmutusseade ühes biogaasijaamas .....	97
Joonis 6-1: Substraatide näited ainegruppide järgi .....	102
Joonis 6-2: Mudeltehase nr 1 skeem .....	110
Joonis 6-3: Mudeltehase nr 2 skeem .....	111
Joonis 6-4: Mudeltehase nr 3 skeem .....	112
Joonis 6-5: Mudeltehase nr 4 skeem .....	113

Joonis 6-6: Mudeltehase nr 5 skeem.....	114
Joonis 6-7: Mudeltehase nr 6 skeem.....	115
Joonis 7-1: Vedelsõnniku ja kääritusjäägi laotamise sobivus tulenevalt aastaajast .....	125
Joonis 8-1: Tööaja vajadus järelvalveks ja hooldusteks .....	130
Joonis 8-2: Spetsiifiliste investeeringute maksumused.....	132
Joonis 8-3: Kõrgema kasuteguri võrdlus sädesüütega ja gaas-ottomootorite puhul .....	133
Joonis 8-4: Biogaasi tehase soojusbilanss .....	135
Joonis 8-5: Lisasubstraatide majanduslikkus ilma kasutus- või rendi maksumusteta .....	142
Joonis 9-1: Biogaasitehase projekti ellu rakendamise etapid .....	149

## Tähised ja lühendid

φ	– relatiivne niiskus
a	– aasta
Br	– mahukoormus
c	– orgaanilise aine kontsentratsioon
C/N	– süsiniku ja lämmastiku suhe aines
Cd	– kaadmium
CH <sub>4</sub>	– metaan
Cl	– kloor
CO	– süsinikoksiid (vingugaas)
CO <sub>2</sub>	– süsindioksiid (süsihappegaas)
Cr	– kroom
Cu	– vask
DME	– biodiislikütus
EU	– Euroopa Liit
Fe	– raud
H <sub>2</sub>	– vesinik
H <sub>2</sub> S	– vesikiksulfiid
HDPE	– polüetüleen (high-density polyethylene)
Hg	– elavhõbe
HTR	– kääritatava massi hüdrauliline viibeaeg kääriskambris (ingl. k. hydraulic retention time)
KA	– kuivaine
KE	– kütuseelement
KHT	– keemiline hapnikutarve
lü	– loomühik
M	– lisatud substraadi kogus ajaühikus
Mn	– mangaan
N <sub>2</sub> O	– diämmastikoksiid (naerugaas)
NEA	– lämmastikuvaba ekstraktaine
NH <sub>3</sub>	– ammoniaak
Ni	– nikkel
NO <sub>x</sub>	– lämmastikoksiidid
Nr	– number
NTC	– negatiivse temperatuuriteguriga takisti e termoistor
OH	– hüdroksiid
oKA	– orgaaniline kuivaine, so kuivaines leiduv orgaaniline aine
opt	– optimaalne
P	– fosfor
p	– päev
Pg	– gaasirõhk
pH	– vesinikioonide kontsentratsiooni mõõt
ppm	– <i>parts per million</i> (1 ppm = 0,0001%)
PT100	– plaattina takistustermomeeter
PVC	– polüvinüülkloriid
Qa	– tarbimisaine kütteväärtus (minimaalne)
S	– väävel
SEK	– soojuse ja elektri koostootmisseade (sks. k BHKW, ingl. k. CHP)
Si	– räni
Sn	– tina
Zn	– tsink
T	– temperatuur
V	– ööpäevas lisav substraadi maht kääriskambrisse
VM	– värske mass e värske biomass, mida kasutatakse biogaasijaamas substraadina
VQ	– seeduvus
Vr	– kääriskambri ruumala

## Eessõna

Bioenergia tootmine on jätkusuutliku arengu üks põhielement. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivis taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise küsimustes (2008/0016(COD)) tunnistatakse taastuvenergia edendamise vajadust, pidades silmas, et selle kasutamine aitab kaasa kliimamuutuste leevendamisele kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise, säästva arengu, varustuskindluse ja teadmispõhise tööstuse arengu kaudu. Direktiivi eesmärk on kehtestada üldiseks siduvaks eesmärgiks saavutada energiatarbimises 2020. aastaks 20%line taastuvate energiaallikate osakaal ja minimaalseks siduvaks eesmärgiks saavutada transpordisektoris kasutatavate biokütuste 10%line osakaal, mis tuleb saavutada kõigis liikmesriikides. Taastuvenergiast on kujunemas jätkusuutliku arengu põhielement.

Samas on ka selge, et taastuvenergia kasutuses hakkab üha suuremat rolli mängima see, millist ressursi kasutatakse selle lähtematerjalina. Tähtis on, et algmaterjal oleks omamaine, näiteks põllumajanduses tekkivad tootmisjäätised – vana silo, söödajäätised, sõnnik, läga. Nimetatud bioressursist on võimalik toota biogaasi, mis omakorda on tänaste tehnoloogiate abil lihtsalt konverteeritav elektriks ja soojuseks. Bioenergia tootmine söödajäätised-sõnniku baasil on kujunemas põllumajandussektoris perspektiivseks ning ühtlasi ka vajalikuks mitte-põllumajanduslikuks tegevuseks.

Et realiseerida Ühenduse tasandil püstitatud eesmärke ja olla bioenergia tootmises konkurentsivõimeline, peavad olema head teadmised. Käsiraamat „Biogaasi tootmine ja kasutamine“ on eestindatud mõttest, et luua paremad võimalused selle valdkonna teadmiste kättesaadavuseks meie praktikutele, teadlastele ja õppuritele. Usun, et Eesti Põllumeeste Keskliidu panus väljaande korraldajana teenib õiget eesmärki ning aastate pärast on põllumajandussektoris töötamas mitmed biogaasi-jaamad, mille teke saanud innustust just sellest käsiraamatust.

Käesolev väljaanne on lühendatud tõlge raamatust "Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung" (kolmas trükk, 2006). Välja on jäetud info, mis puudutab ainult Saksamaad. Algmaterjalist ei ole tõlgitud peatükke 7, 9, 12 ja 13. Kriitilise meelega tuleb olla ka esitatud hindade ja majandusarvutuste suhtes, sest need on koostatud Saksamaa turutingimusi arvestades. Esialgu on käsiraamat kättesaadav e-formaadina, kuid tulevikus loodame jõuda ka virtuaalse raamatu materjaliseerimiseni.

Täna väljaande ilmutamisele kaasa aidanud Saksa kolleege käsiraamatu originaali toimetusest (FNR), Saksa Toidu- ja Põllumajandusministeeriumist ning partnerorganisatsioonist Mecklenburg-Vorpommern Bauerverban'ist, kelle lahel loal ning abil meieni algmaterjalid jõudsid. Samuti tänan Eesti Põllumajandusministeeriumi ning Maaelu Edendamise Sihtasutust toetamast rahaliselt käsiraamatu ilmutamist. Suured tänud ka tõlkijale Margo Mansbergile ning toimetajatele Eesti Maaülikoolist ja Tallinna Tehnikaülikoolist, et keeleliselt väga keerukas materjal on saanud arusaadavasse vormi.

Soovin lugejaile head pealehakkamist väljaandes „Biogaasi tootmine ja kasutamine“ teadmiste rakendamisel!

Üllas Hunt



Juhatuse esimees  
Eesti Põllumeeste Keskliit



# Käsiraamatu eesmärk

Taastuvate energiaallikate (nt biogaasi) järjest suurenev kasutamine põllumajanduses viimastel aastatel on põhjustatud nii kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamise soovist kui ka energeetiliste ressursside paremast kasutamisest. Energeetilisest ja keskkonnapoliitilisest aspektist on selline ettevõtmine mõttekas ja kindlasti ka tasuv. See käsiraamat peaks pakkuma teadmisi ja praktikal põhinevaid vastuseid tehnilistele, organisatoorsele ning majanduslikele küsimustele põllumajandusliku biogaasi tootmise ja kasutamise kohta.

## 1.1 Ülesannete püstitamine

Saksamaal on juba aastaid biogaasist energia tootmine suurenenud peamiselt muudatuste tõttu administratiivsetes raamtingimustes (nt kindlad riiklikud elektri kokkuostuhinnad, investeeringutoetused ehitatud tehastele nii riigi kui ka liidumaade tasemel). Turule on tekkinud märkimisväärne arv anaeroobse kääritamise tehnoloogiliste seadmete tootjaid ja biogaasijaamade ehitajaid ning komponentide pakkujaid. Selles valdkonnas on omandatud palju teadmisi, aga on tekkinud ka olulisi küsimusi, millele vastamiseks on käesolev trükis mõeldud.

- Vaatamata tendentsile toota tulevikus rohkem biogaasi, on põllumajanduses tihti puudus vastavatest teadmistest. Et tekiks võimalikult palju edukaid biogaasiprojekte, on vaja omada ja vahendada põllumajanduslikke ja energeetilisi teadmisi, lähtudes kahe valdkonna seaduslikest, ökoloogilistest, administratiivsetest, organisatoorsest ja logistilistest kokkupuutepunktidest.
- Turule on tekkinud palju erinevaid tehnilisi lahendusi ja üksikuid erilahendusi. Paraku puudub aga sõltumatu ja teaduslik ülevaade tehnoloogiatest, mis on tänapäeval turul kasutatavad ja ka tulevikus konkurentsivõimelised.
- Teadmatus elementaarsetest biotehnoloogia reeglitest viib erinevate substraatide valikul tihtilugu vigadeni. Seepärast peab ka teadmisi jagama ning vältima situatsiooni, kus paljud süsteemid ei tööta optimaalsetes tingimustes.
- Praegusel ajal on suur kindlusetusetunne biogaasitehaste detailplaneeringute osas. Siin peaks andma ülevaate vajalikest sammudest ühe biogaasiprojekti ellukutsumiseks, lähtudes erinevate liidumaade praktikast.

Biogaasist energia tootmine on ideaalsel juhul ka kombineeritav paranenud väetusainete kasutamisega. Seepärast investeerivadki sellesse paljud põllumehed. Tihti on nad aga ebakindlad, sest fakte ja unelmettekujutusi on raske eristada. Sellepärast on vaja kiiresti käsiraamatut, et oleks võimalik energeetilist ja majanduslikku potentsiaali ära kasutada. Kindlasti on turul ka n-õ kahtlasi tüüpe, kuid puududa ei tohiks asjakohane informatsioon ja oskus seda kasutada.

## 1.2 Võimalikud lahendused

See käsiraamat peaks aitama täita lünki olemasolevates teadmistes ning võimaldama potentsiaalsetel ettevõtjatel ja teistel osalistel läbida biogaasiprojekti etapid planeerimisest kuni töötava tehasseni.

- Käsiraamat peaks lugejat MOTIVEERIMA, et ta mõtleks järele, millised on tema võimalused biogaasist energia tootmiseks.



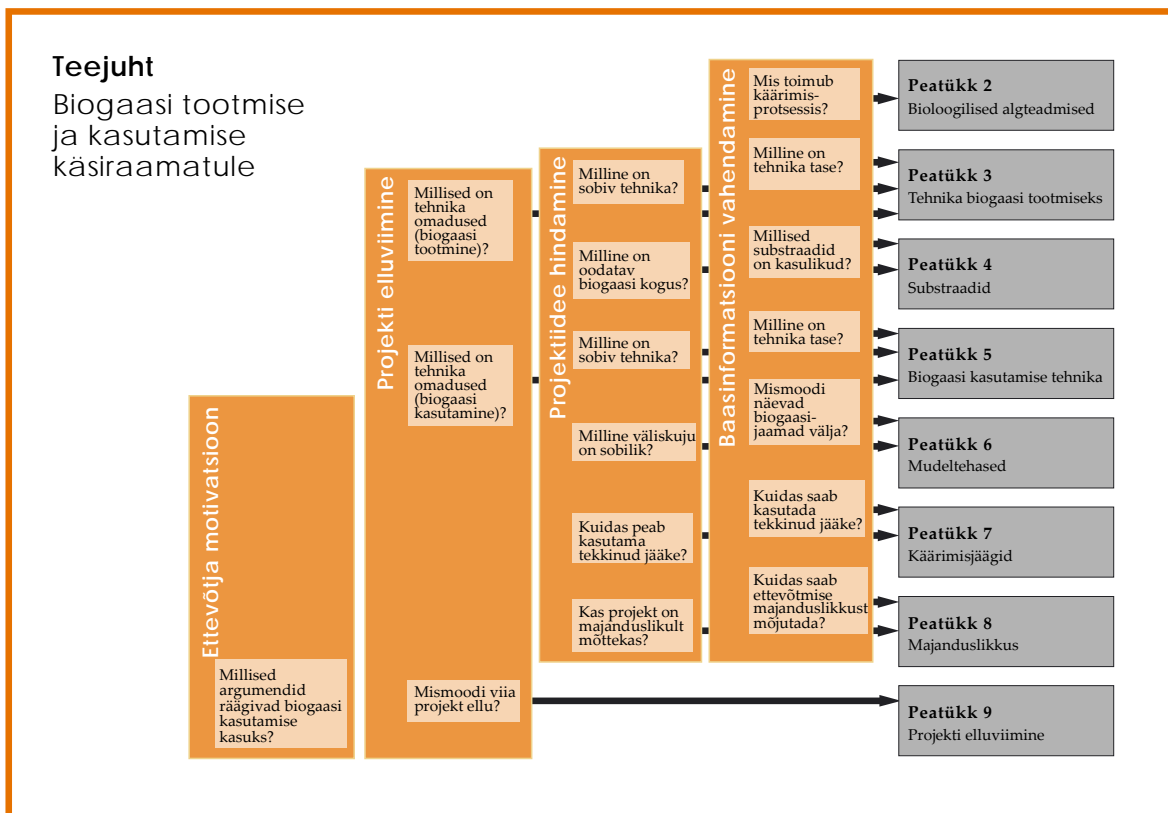
- Käsiraamat peaks lugejat INFORMEERIMA. Potentsiaalsed ettevõtjad ja biogaasist huvitatud peaksid siit võimalikult paljudele küsimustele vastuse saama.
- Käsiraamat peaks andma vastavad abimaterjalid, et mõnda projektiideed hinnata. Ta peaks muutuma tööriistaks, mille abil kontrollida, kas ilusat ideed on võimalik ka majanduslikult realiseerida.
- Ja lõpuks peaks see käsiraamat juhutama ja aitama otsustada, et ühest energia tootmise ideest saaks midagi REALISEERITUD.

### 1.3 Sisukord

Käsiraamat pakub lugejale ülevaadet kõikidest teemadest, mis on seotud biogaasi tootmise ja kasutamisega. Ta võib olla ka abiline, kust saada kinnitust erinevatele mõtetele ettevalmistamisaasis, planeerimisel, ehitamisel ning tootmisprotsessis. Seejuures ei mõelda mitte ainult tehnilist planeerimist, vaid ka majanduslikke ning organisatoorseid küsimusi. Käsiraamat pakub abi neljas teemavaldkonnas:

- motivatsioon;
- baasinformatsiooni vahendamine;
- projektiidee hindamine;
- projekti elluviimine.

Peatükid 2-7 annavad vajalikku baasinformatsiooni biogaasi tekkest käärimisprotsessis ja sellega seotud loodusteaduslike, tehnilisi, organisatoorseid ja majanduslikke eriteadmisi. 8. peatükk annab baasinformatsiooni projekteerimiseks, võttes arvesse viimaste aastate teadmisi juba töötavate tehaste kohta, mis viitab ka võimalikule tehnilisele arengule tulevikus. 9. peatükis on käsitletud projekti realiseerimist alates planeerimissoovitustest ja ehituseks vajalikest nimekirjadest kuni ehituslepinguni. Ja lõpetuseks on ära toodud ka mõned näited realiseeritud biogaasi tootmise projektidest. Käesoleva raamatu teeviit mainitud nelja teemavaldkonna olulisimate küsimuste vastuste juurde on toodud joonisel 1.1.



Joonis 1-1. Teejuht biogaasi tootmise ja kasutamise käsiraamatule.

## 1.4 Sihtgrupid

Käsiraamat on mõeldud põhimõtteliselt kõigile, kellel on huvi biogaasi tootmise ja kasutamise vastu või kes juba on biogaasi tootmise projektiga kuidagi seotud. Biogaasiprojektidega on peamiselt seotud põllumehed või põllumajandusettevõtjad. Tooraine omajate ja energia tootjatena on neil ka huvi energeetilise biogaasi tootmise vastu. Samuti on põllumeestele vajalik kääritujäägist saadav parendatud väetussaine. Kuna põllumajandus omab suurt biomassi potentsiaali, on ka siin keskpunktis põllumajanduslik biogaasi tootmine.

Teisteks potentsiaalseteks biogaasi tootjateks on teised tootjad või siis orgaanilise tooraine tootjad, nagu toiduainetööstused, jäätmekäitlusettevõtted. Ka erainvestorid on üheks sihtgrupiks, kuna nad on potentsiaalsed projektide elluviijad.

Kolmandaks suuremaks grupiks on isikud, kes on selliste projektidega mingit moodi seotud: ametkondade töötajad, pangatöötajad, põllumajandusnõustajad või planeerijad ning ka selliste tehaste ehitajad ja tehaste komponentide tootjad. Käsiraamat peaks aitama selliste isikute informatsiooninälga kustutada ja parandada vastastikust koostööd.

Sama kehtib ka regionaalsete ja üleriigilistele liitude ja organisatsioonide kohta, kes on aktiivsed taastuvenergeetika vallas ning etendavad mingil moel nõuandvat rolli. Neile peaks see käsiraamat olema oluliseks informatsiooniallikaks nõustamise juures, kuidas biomassi kasutada ja sellest biogaasi saada.

Käsiraamat on motivaatoriks ja pakub abi neile, kes peavad otsustama, kas on valmis sellist projekti ellu kutsuma või lükkavad selle edasi. Ka toetusrahade jagajatele ja energiaagentuuridele on see käsiraamat oma ülesannete täitmise juures abistavaks allikaks.

## 1.5 Piirangud

Käsiraamatus kasutatavate tehnika, substraatide ja ka arvude tõlgendamisse tuleb suhtuda teatud ettevaatlikkusega, kuna need ei ole alati igale poole üks-üheselt ülekantavad.

### 1.5.1 Tehnika

Käsiraamat kontsentreerub peamiselt biomassi väärtustamisele: toota ja kasutada biogaasi. Sealjuures on keskmis põllumajanduslik märgkääritamine ning kombineeritud elektri- ja soojusenergia.

Tehniliste probleemide ja veel kõrge hinna tõttu kuivkääritamist siin põhjalikumalt ei kajastata, vaid ainult mainitakse. Selles käsiraamatus kontsentreerutakse biogaasi tootmisele märgkääritamise teel ning biogaasi kasutamisele soojus- ja elektri koostootmisjaamades turul oleva tehnika abil.

### 1.5.2 Substraadid

See peatükk käsitleb praegusel ajal oluliste biogaasi tootmiseks kasutatavate substraatide omadusi nende päritolust (põllumajanduslik, maastikuhoolduslik, tööstuslik) sõltumatult. Küll aga käsitletakse põllumajanduslikke substraate põhjalikumalt.

### 1.5.3 Andmete kasutamine

Andmeid ei saa esitada üks-üheselt. Üheltpoolt on siin väga konkreetsed arvud ja faktid, mis on vajalikud ühese arusaama jaoks esmaste arvutuste puhul. Ülejäänud arvud on antud parema ülevaate ja selgema pildi saamiseks. Siin esitatud arvuline materjal ja mitmekülgetest teemakäsitlustest tekkinud tulemused on pärit aastast 2003. Siinjuures ei kandideeri need arvud kindlasti absoluutsele tõe, kuigi eesmärgiks on anda kõik võimalikud olulised arvude vahed, mis on biogaasi tootmisel ja kasutamisel vajalikud.

# 2

## Anaeroobse kääritamise põhitõed

### 2.1 Biogaasi teke

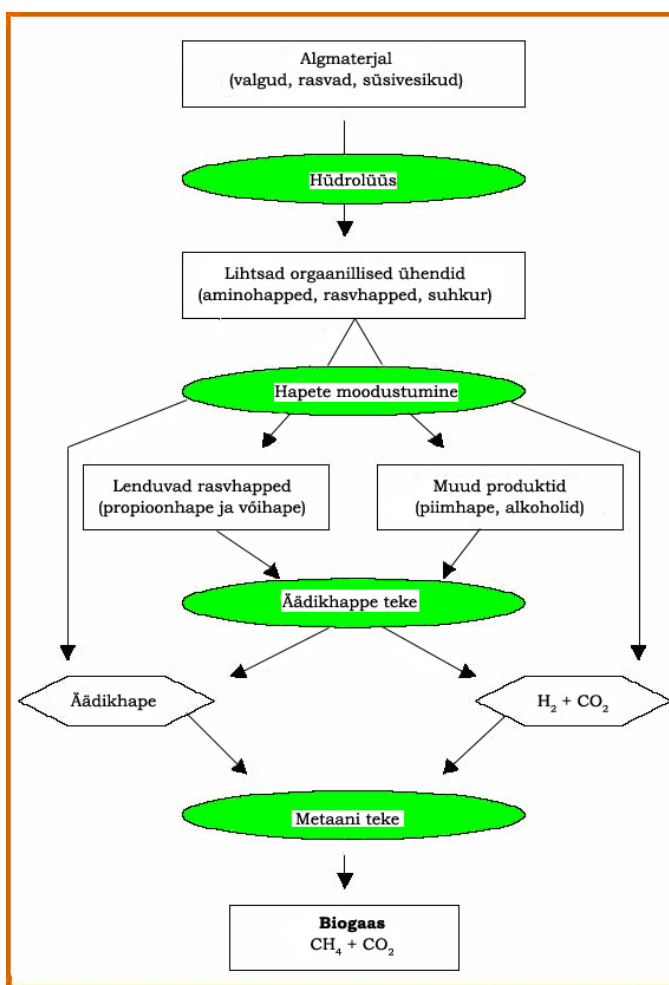
Nagu ka väljend meile reedab, tekib biogaas bioloogilises protsessis. Hapniku puudumisel tekib orgaanilisest aineest gaaside segu - nn biogaas. Selline looduses laialt levinud protsess toimub ka näiteks soode ja järvede põhjas, lägahoidlas ja mäletsejate vatsas. Siinjuures muutub orgaaniline aine peaaegu täielikult biogaasiks ja tekib ainult väike osa uut biomassi ja soojust. Tekkinud gaasisegu koostisest on u kaks kolmandikku metaani ja u kolmandik süsihappegaasi. Vähesel määral on selles gaasisegus ka vesinikku, väävelvesinikku, ammoniaaki ja teisi gaase. Et biogaasi teket paremini ette kujutada, tuleb seda käsitleda erinevate etappide kaupa (vt skeeme 2-1, 2-2, 2-3, 2-4).

Esimese sammuna muudetakse hüdroolüüsil algmaterjal (nt süsivesikud, valgud, rasvad) lihtsamateks orgaanilisteks ühenditeks (nt aminohapped, suhkrud, rasvhapped). Selles protsessis osalevad bakterid toodavad ensüüme, mis seda protsessi biokeemiliselt teostavad.

Tekkinud vaheproduktid lagundatakse atsidogeneesiprotsessis happeid tootvate bakterite abil edasi lenduvateks orgaanilisteks hapeteks (äädik-, propioon- ja võihappeks) ja süsihappegaasiks ning vesinikuks. Samal ajal tekib ka vähesel määral alkohole ja piimhapet.

Need tekkinud produktid lähevad atsetogeneesiprotsessi, kus bakterite abil saadakse biogaasi eelained (äädikhape, vesinik, süsihappegaas). Kuna liiga kõrge vesinikusisaldus on kahjulik äädikhapet tootvatele bakteritele, peavad äädikhapetbakterid moodustama tiheda elukeskkonna metaanibakteritega. Seda on vaja vesinikust metaani tekkeks ja sobiva elukeskkonna loomiseks happeid tootvatele bakteritele. Viimases etapis, metanogeneesiprotsessis, tekib atsetogeneesi produktidest metaan.

Kui kõik need neli etappi toimuvad ühes kääriskambris, siis räägime me üheastmelisest tootmisprotsessist. Kuna eri etappides vajavad bakterid oma eluprotsessiks erinevaid tingimusi, on



Joonis. 2-1: Skemaatiline anaeroobne lagunemine.

siin vaja leida kompromiss. Et metaani tootvad bakterid on kõige tundlikumad ja paljunevad aeglaselt, siis tavaliselt arvestatakse tingimuste loomisel kõige enam nendega.

Vastavalt on kaheastmelistes tootmisprotsessides hüdroliiis ja atsidogenees ruumiliselt järgnevatest etappidest eraldatud. Seeläbi saadakse sobivamad keskkonnatingimused erinevatele baktergruppidele ja parem gaasitootlikkus.

## 2.2 Keskkonnatingimused

Keskkonnatingimuste selgitamise juures tuleb esmalt teha vahet märgkääritamisel ja kuivkääritamisel. Edaspidi räägitakse peamiselt märgmeetodil kääritamisest, sest see on laiemalt kasutusel.

Täpse joone tõmbamine kuiva ja märja kääritamise vahele on bioloogilisest aspektist vaadatuna enese petmine, kuna käärimisprotsessis osalevate bakterite eluks on vaja igal juhul vedelat elukeskkonda. On vale defineerida seda aga algsubstraadi kuivainesisalduse järgi, sest kasutatakse erinevate kuivainesisaldustega aineid. Tähtis on käärimiskambris oleva massi kuivainesisaldus, mitte üksikute lähteainete kuivainete sisaldus. Seepärast tehaksegi kuival ja märjal kääritamisel vahet käärimiskambri sisu kuivaine sisalduse järgi. Siinjuures veelkord meeldetuletuseks, et mõlemal juhul on bakteritel vaja elutegevuseks piisavalt vett. Paraku ei ole konkreetset kuiva ja märja kääritamise definitsiooni, küll on aga praktikas kanda kinnitanud kogemus, et märgkääritamine on teostatav, kui kääritatava massi kuivainesisaldus on kuni 15%. Sinnamaani on mass veel pumbatav. Kui käärimiskambris on kuivainesisaldus vahemikus 20-40%, siis reeglina ei ole kääritatav mass enam pumbatav ning siis toimub kuivkääritamine.

### 2.2.1 Hapnik

Metaanibakterid on ühed kõige vanemad elusolendid meie maal – nad esinesid juba 3-4 miljardi aasta eest, ammu enne atmosfääri teket. Seepärast on ka tänapäeval veel nii, et need bakterid ei vaja oma elutegevuseks hapnikku. Mõned liigid surevad juba vähesel kogusel hapniku juuresolekul. Tihti aga ei ole võimalik käärimiskambri hapniku juurdepääsu täielikult takistada. Et metaanibakterid kohe oma tegevust ei lõpeta ja ära ei sure, on võimalik tänu sellele, et nad elavad koos bakteritega, kes lagundavad substraati esimestes etappides. Mõned nendest bakteritest on fakultatiivsed anaeroobsed bakterid, st nad on suutelised elama nii hapnikku sisaldavas kui ka hapnikuta keskkonnas. Niikaua kui hapniku osakaal ei ole liiga suur, suudavad need bakterid hapnikku kasutada enne, kui see kahjustab baktereid, kes ei talu hapnikku.

### 2.2.2 Temperatuur

Põhimõtteliselt võib öelda, et keemilised reaktsioonid toimuvad seda kiiremini, mida kõrgem on temperatuur. Seda saab aga ainult tinglikult väita bioloogiliste lagunemis- ja muundumisprotsesside kohta. Siinjuures tuleb arvestada, et ainevahetusprotsessides osalevatel bakterigruppidel on erinevad optimaalsed temperatuurivahemikud. Kui temperatuur on kõrgem või madalam optimaalse vahemiku temperatuuridest, on tulemuseks bakterite elutegevuse inhibeerumine või ekstreemsematel juhtudel ka protsessis osalevate bakterite pöördumatud kahjustused. Biogaasi tekkeprotsessile on tähtis järgnev. Baktereid saab optimaalse temperatuuri vahemiku järgi jagada kolme gruppi. Eristuvad psührofiilsed (külmalembesed), mesofiilsed (opt temp 20-40 °C) ja termofiilsed (soojalembesed) bakterid.

- Psührofiilsete bakterite optimaalne temperatuur on u 25 °C. Sellistel temperatuuridel jääb ära substraadi, st käärimiskambri soojendamise, kuigi substraadi lagunemiskiirus on madal ja gaasiteke pidurdatud.
- Suurim osa metaani tootvatest bakteritest elab mesofiilses temperatuurivahemikus 32–42 °C. Seadmed, mis selles temperatuurivahemikus töötavad, on enamuses, kuna selles vahemikus on suhteliselt kõrge gaasiteke ja protsessi stabiilsus kergesti tagatav.
- Kui aga on vajalik substraadi puhastusprotsess tervistohustavatest haigustekitajatest või kasutatakse substraate, millel on endal kõrge temperatuur (nt protsessivesi), on soovitatav käärimisprotsessis kasutada termofiilseid baktereid. Optimaalne temperatuurivahemik on neil 50-57 °C. Siin tekib tänu kõrgele temperatuurile ka kõige rohkem gaasi. Siinjuures peab meeles pidama, et käärimisprotsessiks kulub ka rohkem energiat. Käärimisprotsess on aga sellises

temperatuurivahemikus palju haavatavam ebaregulaarse „toitmise”, uue substraadi lisamise või substraadi muutuste poolt.

Kuna bakterid toodavad oma tööga väga vähe soojust, ei ole see piisav optimaalse temperatuuri hoidmiseks ja mesofiilsetes ning termofiilsetes käärimiskambrites tuleb need vajaliku temperatuuri saavutamiseks isoleerida ja lisaks kütta.

### 2.2.3 pH

Protsessi sõltuvus pH väärtustest on sarnane temperatuuriga. Protsessi erinevate staadiumide bakteritel on erinevad pH väärtused, kus nad optimaalselt kasvada saavad. Nii on hüdrolyüsi- ja atsidogeneesiprotsessis osalevatele bakteritele optimaalne pH vahemik 4,5–6,3. pH ei pea täpselt sellesse vahemikku jääma, vaid võib ka vähesel määral kõrgem olla, küll aga langeb sellisel juhul nende protsesside aktiivsus. Äädikhapet ja metaani tootvad bakterid aga vajavad oma elutegevuseks kindlasti pH väärtust vahemikus 6,8–7,5. Kui käärimisprotsess toimub ühes käärimiskambris, siis peaks seal pH väärtus ka sellisesse vahemikku jääma.

Sõltumata sellest, kas protsess on ühe- või kaheastmeline, on pH väärtus määratud automaatselt vastavate aluseliste või happeliste ainevahetusproduktidega, mis tekivad anaeroobses lagunemisprotsessis. Kui tundlik selline tasakaal on, näitab meile järgnev reaktsioonide ahel.

Normaalsel juhul puhverdab protsessis vabanev süsihappegaas pH väärtust vajalikus vahemikus (6,8-7,5). Kui pH väärtus siiski alaneb, on puhverdusvõime ületatud ja metaanibakterite elutegevus pärssitud. Kui nüüd aga metaani teke aeglustub, siis hakkavad atsidogeneesiprotsessist kuhjuma happed ja pH väärtus alaneb veelgi. Keskkond hapestub ja metaani tootvad bakterid lõpetavad oma tegevuse. Kui selline pH langemine registreeritakse, tuleb kohe lõpetada uue substraadi lisamine, et anda metaanibakteritele aega happeid lagundada.

### 2.2.4 Toitainetega varustamine

Protsessid käärimiskambris on võrreldavad mäletsejate seedimisprotsessiga. Bakterid reageerivad söötmisvigadele negatiivselt nagu loomadki. Erinevuseks on ainult see, et kasutatavatest substraatidest peaks võimalikult palju metaani saama, aga bakterite elutegevuseks vajalikud mikroelemendid, nagu raud, koobalt, nikkel, seleen, molübdeen ja volfram, on ikkagi vajalikud. Kui palju metaani aga algmaterjalist välja tuleb, sõltub peamiselt valkude, rasvade ja süsivesikute osakaalust.

Stabiilseks protsessi toimimiseks on oluline C ja N vahekord algmaterjalides. Kui see on liiga kõrge (palju C ja vähe N), siis ei suudeta olemasolevat süsinikku täielikult vabastada ja metaani ei teki algmaterjali potentsiaalile vastavalt. Vastupidisel juhul, lämmastiku liia korral, tekib ammoniaak ( $\text{NH}_3$ ), mis juba väikesel kontsentratsioonil inhibeerib bakterite kasvu ja võib viia ka bakterite populatsiooni täieliku hävimiseni. Protsessi normaalseks toimumiseks on vajalik C ja N suhe 10 : 30. Et anda bakteritele piisavalt toitaineid elutegevuseks, on vaja C, N, P ja S vahekorda 600 : 15 : 5 : 1.

### 2.2.5 Inhibiitorid

Kui gaasi tootmine on pidurdunud, siis võivad sellel olla erinevad põhjused. Selleks võivad olla ettevõtte eksploatatsioonist tulenevad põhjused (vt ptk 2.4). Teiseks võivad protsessi mõjutada inhibiitorid. Need on ained, mis mõjuvad juba väikestes annustes bakteritele toksiliselt ja mõjutavad protsessi negatiivselt. Et neid aineid iseloomustada, peab eristama toorainega sisestatud inhibiitoreid biokeemilise lagunemisprotsessi käigus tekkinutest.

Käärimiskambri „söötmise” juures peab ka teadma, et mõne algkomponendiga liialdamine võib käärimisprotsessi inhibeerida ning iga sisestatud aine liigne kontsentratsioon võib bakteritele hävitavalt mõjuda. See kehtib aga eriti sellistele ainetele, nagu antibiootikumid, desinfektsioonivahendid, lahustid, herbitsiidid, soolad või raskemetallid, mis juba väikestes kogustes käärimisprotsessi inhibeerida võivad. Aga ka olulised mikroelemendid võivad kõrgemal kontsentratsioonil bakteritele toksiliselt mõjuda. Bakterid on võimelised selliste asjadega teatud piirini kohanema, aga seda piiri on väga raske määrata. Ka on osade inhibiitorite puhul võimalikud vastasmõjud teiste ainetega. Nii mõjuvad raskemetallid käärimisprotsessile kahjulikult ainult siis, kui nad on lahustunud kujul. Raskemetallid aga seotakse käärimisprotsessis tekkiva väävelvesinikuga rasklahustuvatesse ühenditesse ja viiakse protsessist välja.

Ka käärimisprotsessis tekkivad uued ained võivad protsessi inhibeerida. Eriti ammoniaak ( $\text{NH}_3$ ) on juba väikeses kontsentratsioonis bakteritele kahjulik. Ammoniaak on tasakaalus ammoniumioonidega ( $\text{NH}_4^+$ ) käärimiskambris (ammoniaagi reageerimisel veega tekkivad ammonium- ja  $\text{OH}^-$  -ioonid ja vastupidi). See tähendab, et kui pH väärtus tõuseb, st  $\text{OH}^-$  -ioonide kontsentratsioon tõuseb, siis tasakaal muutub ja ammoniaagi kontsentratsioon suureneb. Kui

ammoonium on paljudele bakteritele ikkagi N allikaks, siis ammoniaak on juba väikeses kontsentratsioonis (alates 0,15 g/l) mikroorganismidele inhibiitoriks. Siit on järeldatav, et ka NH<sub>3</sub> ja NH<sub>4</sub><sup>+</sup> suur summaarne kontsentratsioon (alates 3000 mg/l) mõjub biogaasiprotsessile pidurdavalt. Üks käärimisprotsessi produktidest on ka väävelvesinik (H<sub>2</sub>S), mis lahustunud olekus alates kontsentratsioonist 50 mg/l toimib rakumürgina ja võib ka anaeroobset lagundamisprotsessi inhibeerida. Väävel on aga üks oluline mikroelement metaanibakteritele. Lisaks suudab sulfiidioon (S<sup>2-</sup>) siduda raskemetalle ja need protsessist kõrvaldada. Seega sõltub erinevate ainete inhibeeriv toime paljudest faktoritest ja piirväärtusi kindlaks teha on väga raske. Tabelis 2-1 on toodud informatsiooni inhibiitorite kohta.

Tabel 2-1: Inhibiitorid ja kahjulikud kontsentratsioonid

Inhibiitor	Kontsentratsioon
<b>Naatrium</b>	6-30 g/l (adapteeritud kultuurides kuni 60 g/l)
<b>Kaalium</b>	Alates 3 g/l
<b>Kaltsium</b>	Alates 2,8 g/l CaCl <sub>2</sub>
<b>Magneesium</b>	Alates 2,4 g/l MgCl <sub>2</sub>
<b>Ammoonium</b>	2,7 – 10 g/l
<b>Ammoniaak</b>	Alates 0,15 g/l
<b>Väävel</b>	Alates 50 mg/l H <sub>2</sub> S, 100 mg/l S <sup>2-</sup> , 160 mg/l Na <sub>2</sub> S (adapteeritud kultuurides kuni 600mg/l Na <sub>2</sub> S ja 1000 mg/l H <sub>2</sub> S)
<b>Raskemetallid</b>	<u>Vabade ioonidena</u> : alates 10 mg/l Ni, 40 mg/l Cu, 130 mg/l Cr, 340 mg/l Pb, 400 mg/l Zn <u>Karbonaadina</u> : alates 160 mg/l Zn, 170 mg/l Cu, 180 mg/l Cd, 530 mg/l Cr <sup>3+</sup> , 1750 mg/l Fe. Raskemetallid on sulfiidide poolt püütavad ja neutraliseeritavad
<b>Rasvhapped</b>	Iso-võihape juba alates 50 mg/l

## 2.3 Opereerimise parameetrid

### 2.3.1 Käärimiskambri mahukoormus ja viibeaeg

Biogaasitehase ehitamisel eelistatakse ökonoomsusest. Nii ei valita ka käärimiskambri suurust mitte alati maksimaalse gaasitekke võimalusega ning kääritatav mass ei pruugi alati jõuda täielikult laguneda. Kui tahta orgaanilise aine koostisosade potentsiaali täielikult ära kasutada, siis oleks vaja palju pikemaid käärimiskambris olemise aegu ja seega ka palju suuremaid anumaid, kuna osa aineid lagunevad palju pikema aja jooksul. Seega tuleb leida optimum tehtavate investeeringute ja tekkiva gaasikoguse vahel.

Sellest vaatenurgast on mahukoormus üks oluline eksploatatsiooniparameeter. See näitab meile, mitu kilogrammi orgaanilist kuivainet käärimiskambri ruumalaühiku m<sup>3</sup> kohta ajaühikus töödeldakse:

$$B_R = \frac{m \times c}{V_R}, \quad (1)$$

kus

$B_R$  – mahukoormus, kg/m<sup>3</sup>·p;

$m$  – lisatud substraadi kogus ajaühikus, kg/p;

$c$  – orgaanilise aine kontsentratsioon, %/100;

$V_R$  – käärimiskambri ruumala, m<sup>3</sup>.

Järgmine parameeter käärimiskambri dimensioneerimiseks on hüdrauliline viibeaeg. See on substraadi käärimiskambris viibimise aeg sisestamisest kuni väljumiseni. Arvutamisel leitakse valemiga:

$$HRT = \frac{V_R}{V}, \quad (2)$$

kus käärimiskambri ruumala ( $V_R$ , m<sup>3</sup>) suhe ööpäevas lisatud substraadi mahtu ( $V$ , m<sup>3</sup>/p), tulemuseks on käärimiskambri hüdrauliline viibeaeg ( $HTR$ , hydraulic retention time).



Nende kahe parameetri vahel on tihe seos: suureneva mahukoormuse juures viiakse käärimiskambrisse rohkem substraati ja sellega väheneb viibeag. Et käärimisprotsessi stabiilsena hoida, on vaja valida selline hüdrauliline viibeag, et käärimiskambri sisu pideva vahetamisega ei väljutataks sealt rohkem baktereid, kui sinna ajaühikus uuesti kasvada suudab (nt osade anaeroobsete bakterite kahekordistumisaeg on 10 päeva ja rohkem). Peale selle peab mõtlema, et lühikese viibeaja puhul jääb bakteritel oma töö tegemiseks vähe aega, mis tähendab ka poolikut substraadi lagunemist ja vähest gaasiteket. Seega on oluline vastavalt kasutatavale substraadile leida ka sobilik viibeag. Kui on teada päevane lisatava substraadi kogus, saab substraadi lagunemiskiiruse ja viibeaja järgi arvutada vajaliku käärimiskambri suuruse.

### 2.3.2 Segamine

Võimalikult suure gaasitekke jaoks oleks vajalik saada intensiivset kontakti bakterite ja lisatud substraadi vahel, mida saab üldiselt tagada käärimiskambri oleva substraadi segamisega. Mittesegatavas käärimiskambri tekib peagi kihistumine, mis tuleneb eri substraatide erinevast tihedusest. Sealjuures asetseb enamus bakterite massist suure tiheduse tõttu anuma põhjaosas, aga lagundatav substraat väiksema tiheduse tõttu just ülemistes kihtides. Sellisel juhul on kontakt bakterite ja substraadi vahel halb ja lagundamine toimub väga aeglaselt. Lisaks tekib sellisel juhul pinnale ujuv kiht, mis raskendab gaasi eraldumist.

Seega on vajalik bakterite ja substraadi paremaks segunemiseks kääritatavat massi segada. Samas tuleks aga vältida liigset segamist. Just äädikhappebakterid ja metaanibakterid moodustavad tiheda kooseluvormi, mis on vajalik biogaasi tekkeks. Kui selline kooselu vorm intensiivse segamise käigus lõhutakse, siis tulemuseks võib halvimal juhul olla protsessi täielik seiskumine.

On vaja leida kompromiss, et kahte vastandlikku nõuet täita. Praktikas saavutatakse see aeglaselt pöörlevate segistitega, mis tekitavad anumal väiksemaid liikumisi ja segamine toimub ainult teatud aegadel.

### 2.3.3 Gaasitekke potentsiaal ja metanogeneesi aktiivsus

#### 2.3.3.1 Võimalik gaasitootlikkus

Kui palju biogaasi ühes biogaasitehases toodetakse, sõltub peamiselt kasutatavatest substraatidest. Praktikas ei ole võimalik vastavat gaasitoodangut välja arvutada, sest tavaliselt ei teata kasutatavate substraatide segamisel üksikute toitainete kontsentratsioone. Ka lähtutakse selliste arvutuste puhul arusaamast, et substraadid lagundatakse täielikult, mida aga praktikas tavaliselt kunagi ei juhtu.

Et käärimiskambri aset leidvad lagunemisprotsessid ja mäletsejate seedeptsess on sarnased, saab toitainete sisalduse ja seeduvuse järgi teoreetiliselt arvutada kaudseid tulemusi. Selleks vajalikud andmed on võimalik võtta söötade tabelitest, milles on toortuha, toorkiu, rasva, proteiinide ja lämmastikuvaba ekstraktaine (NEA) sisaldus kuivaines, aga ka seeduvus (VQ). Toorkiud ja lämmastikuvabad ekstraktained annavad kokku süsivesikute sisalduse.

Üksikute ainegruppide kohta on võimalik anda numbrivahemikke gaasi saagise ja metaanisalduse kohta, tulenevalt erinevast suhtelisest süsinikusisaldusest nendes.

Tabel 2-2: Spetsiifiline biogaasi saagis ja metaanisaldus

	Biogaasi saagis (l/kg oKA)	Metaani sisaldus (mahu%)
Seeduv proteiin	600-700	70-75
Seeduv rasv	1,000-1,250	68-73
Seeduvad süsivesikud	700-800	50-55

Nende andmete põhjal saab arvutada orgaanilise kuivaine sisaldust ja erinevate seeduvate ainegruppide massi kilogrammi kuivaine kohta /2-9/:

Orgaanilise kuivaine sisaldus:

(1000-toortuhk)/10 (%KA)

Seeduv proteiin:

(Toorproteiin · proteiini seeduvus)/1000 (kg/kgKA)



Seeduv rasv:

$(\text{Toorrasv} \cdot \text{rasva seeduvus})/1000$  (kg/kgKA)

Seeduvad süsivesikud:

$(\text{toorkiud} \cdot \text{toorkiu seeduvus}) + (\text{NEA} \cdot \text{NEA seeduvus})$  (kg/kgKA)

Nagu juba selle peatüki alguses kirjutasime, on mäletsejate vatsas ja käärimiskambris toimuvad protsessid sarnased. Siiski on need ainult tingimisi võrreldavad, kuna mõlemas „süsteemis” võivad ilmned erinevad sünergiaefektid, mis mõjutavad biogaasi teket. Seepärast saab selliseid arvutusi, nagu eespool kirjeldati, metaanitekke arvutamisel ainult suurusjärguna võtta. Kindlasti ei tohiks need olla ökonoomiliste arvutuste aluseks! Sellegipoolest annab selline meetod hinnangu gaasitootlikkuse kohta ja võimaldab võrrelda erinevaid substraate.

Järgnev arvutus maisisilo (vahaküpsuse algus, teri palju) eeskujul oleks üheks näiteks (tabel 2-3).

Tabel 2-3: Maisisilo, vahaküpsuse alguses, teri palju

KA %	Toortuhk (g/kg KA)	Toorproteiin (g/kg KA)	VQtoorproteiin (%)	Toorrasv (g/kg KA)	VQtoorrasv (%)	Toorkiud (g/kg KA)	VQtoorkiud (%)	NEA (g/kg KA)	VQNEA (%)
29	53	92	57	42	82	185	63	628	78

Selle põhjal saab arvutada:

oKA (orgaaniline kuivaine) :  $(1000-53)/10 = 94,7\%$  (KA)

Seeduv proteiin :  $(92*57\%)/1000 = 0,0524$  kg/kg KA

Seeduv rasv :  $(42*87\%)/1000 = 0,03654$  kg/kg KA

Seeduvad süsivesikud :  $((185*63\%) + (628*78\%))/1000 = 0,606$  kg/kg KA

**Ainegruppide massid kg orgaanilise kuivaine kohta arvutatakse järgnevalt:**

Seeduv proteiin :  $0,0524$  kg/kg KA /  $94,7\%$  (KA) / kg =  $0,0553$  kg

Seeduv rasv :  $0,03654$  kg/kg KA /  $94,7\%$  (KA) / kg =  $0,0385$  kg

Seeduvad süsivesikud :  $0,606$  kg/kg KA /  $94,7\%$  (KA) / kg =  $0,639$  kg

Saadud tulemused on vaja veel korrutada tabelis 2-2 toodud andmetega ja saab koostada uue tabeli 2-4 biogaasi ja metaani saagiste kohta maisisilost.

Tabel 2-4: Biogaasi ja metaani saagis maisisilost

	Biogaasi saagis (l/kg oKA)	Metaan (l/kg oKA)
Seeduv proteiin	35,97	26,1
Seeduv rasv	43,36	30,4
Seeduvad süsivesikud	479,94	252
Summa ( kg org KA)	559,27	308,5

Iga kg värsket maisisilo annab 153,6 l biogaasi metaanisaldusega 55%. Nagu näitest näha on, saab küllaltki lihtsasti arvutada biogaasi oodatavat kogust ja metaanisaldust selles olemasolevast substraadist lähtudes.

Sellegipoolest mõjutavad veel teisedki faktorid biogaasi saagist: substraadi käärimiskambris oleku aeg, kuivainesisaldus või ka inhibiitorid ja käärimistemperatuur. Kui käärimiskambris oleku aeg pikeneb, siis toimub ka täielikum lagunemine ja tekib suurem kogus gaasi. Käärimiskambris oleku aja pikenedes tuleb metaani juurde ning seega tõuseb segugaasi kütteväärtus.

Temperatuuri tõstmisega käärimiskambris kiireneb lagunemisprotsess. See on aga võimalik ainult teatud piirini, sest liiga kõrge temperatuur võib olla kahjulik bakteritele ja tulemuseks saame vastupidise efekti. Lisaks tekib suurenenud gaasitootmise juures ka rohkem süsihappegaasi, mis vähendab gaasisegu kütteväärtust.

Tekkiva gaasi kogust võib mõjutada ka kuivainesisaldus käärimiskambris. Kõrge kuivainesisaldusega massis saavad bakterid halvasti liikuda ja enda ümber asetsevat ainet halvasti lagundada. Väga kõrge

kuivainesisalduse juures (40% ja rohkem) võib käärimisprotsess seiskuda, kuna pole enam piisavalt niiskust bakterite elutegevuseks. Teiseks võib kõrge kuivainesisalduse juures probleeme olla ka inhibiitoritega, kuna need esinevad vee puudumise tõttu suuremas kontsentratsioonis. Ka substraatide eeltöötlemine (hekseldamine, homogeniseerimine) võib suurendada gaasiteket, kuna see võimaldab bakteritel substraadiga paremat kontakti saavutada.

### 2.3.3.2 Gaasi kvaliteet

Biogaas on gaaside segu, mis koosneb ühe kolmandiku osas süsihappegaasist ( $\text{CO}_2$ ) ja kahe kolmandiku osas metaanist ( $\text{CH}_4$ ), aga ka veeaurust ja teistest gaasidest.

Ettevõtjat huvitab esmajärjekorras ikkagi metaani osakaal kogu gaasis, sest sellest saab energiat toota. Biogaasi koostist saab ainult vähesel määral mõjutada. Metaani sisaldus biogaasis sõltub erinevatest faktoritest, nagu substraadi veesisaldus, käärimistemperatuur, viibeaeg käärimiskambris ja substraadi ettevalmistus (peenestusaste).

Metaani tekkehulk sõltub ikkagi peamiselt sellest, kui palju on substraadis rasvasid, proteiine ja süsivesikuid. Siin on spetsiifiline metaanitootlikkus nimetatud ainegrupiti. Kui arvutada massiühiku kohta, siis saab rasvadest võrreldes süsivesikutega rohkem metaani.

Kui vaadata tekkinud gaasisegu kvaliteeti, on oluline väävelvesiniku ( $\text{H}_2\text{S}$ ) kontsentratsioon, mis tekitab gaasimootorites korrosiooni.

Ülevaate biogaasi keskmisest koostisest saab tabelist 2-5.

Tabel 2-5: Biogaasi keskmine koostis

Koostisosa	Kontsentratsioon
Metaan ( $\text{CH}_4$ )	50–75 mahu%
Süsihappegaas ( $\text{CO}_2$ )	25–45 mahu%
Vesi ( $\text{H}_2\text{O}$ )	2–7 mahu% (20–40°C)
Väävelvesinik ( $\text{H}_2\text{S}$ )	20–20000 ppm
Lämmastik ( $\text{N}_2$ )	<2 mahu%
Hapnik ( $\text{O}_2$ )	<2 mahu%
Vesinik ( $\text{H}_2$ )	<1 mahu%

## 2.4 Protsessi häirumise põhjused

### 2.4.1 Temperatuur

Praktikas võib olla palju erinevaid põhjusi, miks protsessi töötemperatuur langeb. Käärimiskambri soojendus on peamine Saksamaa mõõdukate temperatuuride juures: kui see katkeb, siis võib temperatuur kiiresti mõne kraadi võrra langeda.

Kui gaasimootor mõneks ajaks seiskub, siis puudub ka teatud ajal vajalik soojus käärimiskambri soojendamiseks. Temperatuuri langedes pidurdub metaanibakterite elutegevus, kuna nende temperatuurioptimum on väga väikeses vahemikus. Hüdrolüüsi ja atsidogeneesi läbi viivad bakterid on selles osas vähem spetsialiseerunud ja võimelised ka suuremaid temperatuurikõikumisi üle elama. Selle tulemusena tekib käärimiskambris rohkem happeid, kui ei ole peatatud uue substraadi lisamist.

Sellistel juhtudel ei lange mitte ainult temperatuur, vaid tulemuseks on ka pH langus. Aga ka suure koguse eelsoojendamata substraadi lisamine või ebapiisav kütmine, nt temperatuurandurite rikke korral, viivad temperatuuri languseni. Sellepärast on temperatuuri jälgimine ja kontroll väga olulised seadme edukaks tööhoidmiseks.

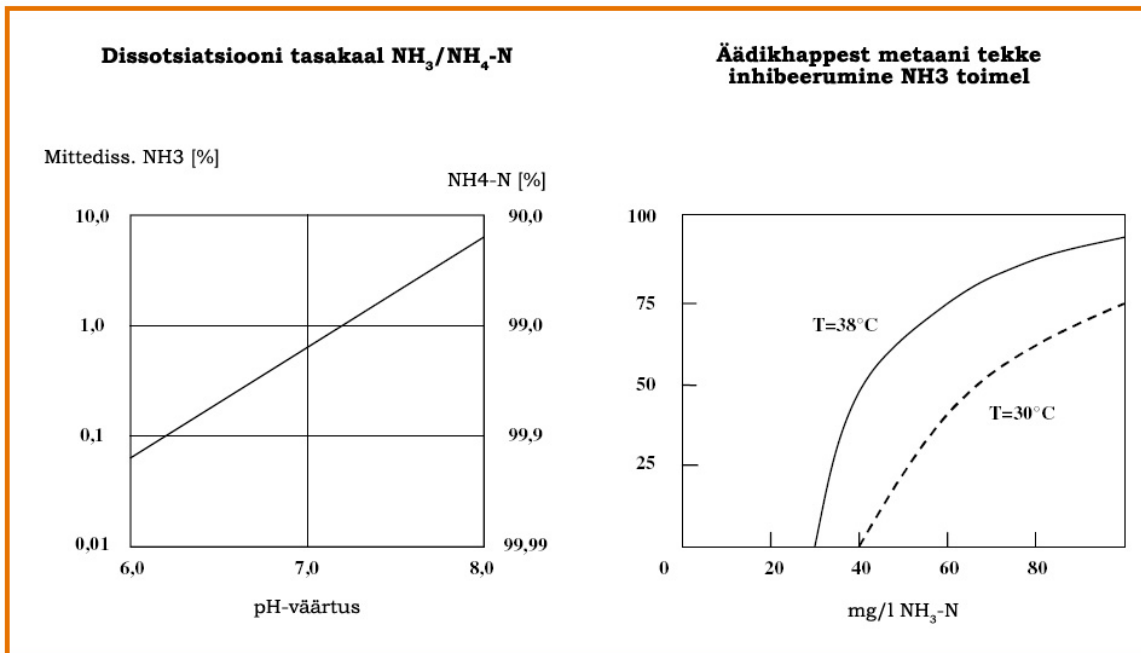
### 2.4.2 Ammoniaagi teke ( $\text{NH}_3$ )

Nagu peatükis 2.2.5 juba selgitati, on ammoniaagi teke seotud lahuse kõrge pH väästusega. Tasakaal ammoniaagi ja ammooniumi vahel soosib pH tõusmisel ammoniaagi teket. Temperatuuri tõustes kasvab ammoniaagi inhibeeriv toime veelgi, mis on termofiilsete käärimisprotsessidega seadmetes paratamatu (joonis 2-2).

Aga ka substraatide valik mõjutab ammoniaagi teket, eriti just kõrge proteiinisaldusega substraatide puhul vabaneb rohkesti ammooniumlämmastikku.

### 2.4.3 Väävelvesinik (H<sub>2</sub>S)

Väävelvesiniku tekkimisel on situatsioon sarnane ammoniaagi tekkega. Väävel esineb vedelikus kas dissotsieerunud vormina (HS<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>) või siis gaasilise väävelvesinikuna (H<sub>2</sub>S) (vt joonist 2-3).



Joonis 2-2: Äädikhapest metaani tekke inhibeerumine NH<sub>3</sub> toimel.

Kui kõrge on lahustunud H<sub>2</sub>S osakaal lahuses, sõltub H<sub>2</sub>S kontsentratsioonist vedelas faasis, mille määrab väävelvesiniku osarõhk gaasilises faasis (Henry seadus). Aga seda tasakaalu mõjutavad veel teisedki faktorid. Temperatuuri tõusuga väheneb lahustunud H<sub>2</sub>S osakaal vedelas faasis, kuid suureneb gaasitoodang ja osarõhk gaasifaasis ning koos sellega ka lahustunud H<sub>2</sub>S osa. Jooniselt 2-3 on näha väävelvesiniku kontsentratsiooni seos pH väärtusega. Lahustunud H<sub>2</sub>S kontsentratsioon suureneb pH väärtuse langedes.

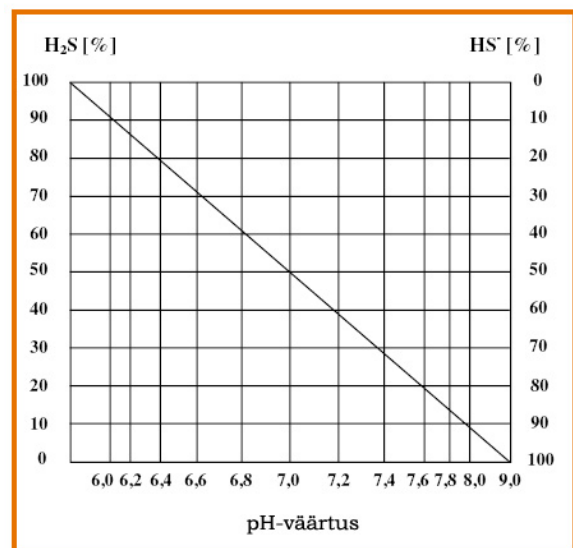
### 2.4.4 Vead substraadi lisamisel („söötmisel“)

Tihti esineb uue tehase käivitamisel kohe algfaasis probleeme, et gaasiteke või siis happe kontsentreerumine on liiga väike, mis halvimal juhul viib kogu kääriskambri sisu väljavahetamiseni ja uue käivitamiseni.

#### Kääriskambri käivitamine

Just kääriskambri käivitamisel peab jälgima mõningaid põhiprintsiipe, et hiljem toimuks kõrge gaasitootlikkusega stabiilne protsess. Käivitamine toimub peamiselt kääriskambri hakanud veiseläga, sest sellises substraadis on olemas piisav vajalike bakterite kontsentratsioon. Küll on aga nende aktiivsus madal ning tuleb tõsta maksimaalseks.

Sellise käivitusprotsessi juures on tähtis see, et juurdeliseatava substraadi konsistents oleks võimalikult konstantne ja bakterid saaksid stabiilselt areneda. Suured kõikumised algmaterjalides põhjustavad kohe ka muutusi bakterite elutingimustes, millega bakterid peavad esmalt kohanema. Ja kuna bakterid on teatud substraadiga kohanenud, siis ei saa ka stabiilset protsessi tekkida.



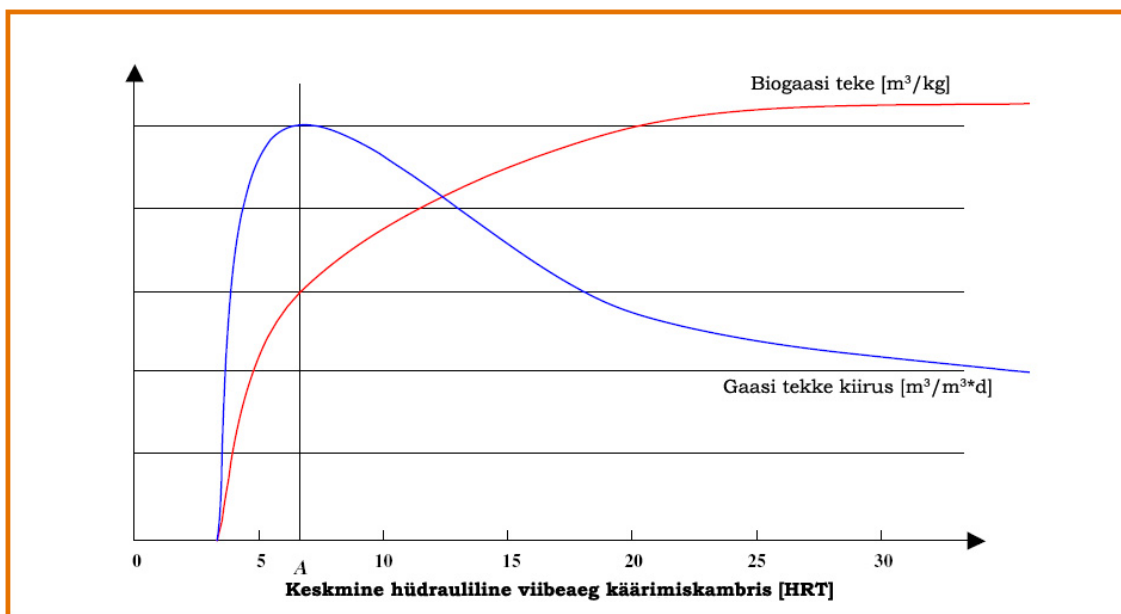
Joonis 2-3: HS<sup>-</sup> ja H<sub>2</sub>S osakaal sõltuvana pH väärtusest.

Just käivitamise algfaasis on oluline lisatava substraadi kogus, st mahukoormus. Seda tuleks väikeste sammudena aeglaselt suurendada, et metaanibakteritele kasvaks piisavalt aega anda. Kui korraga lisatakse liiga palju substraati, siis aeglaselt kasvavate metaanibakterite puudumisel võivad tekkinud vaheproduktid kuhjuda ja toimuda protsessi hapestumine, kuna happeid ei lagundata ära piisavalt kiiresti.

### Katkematu tööprotsess

On oluline, et tööprotsess oleks käivitamisest alates regulaarne. Aeglase substraadikoguse suurendamisega algfaasis jõuame mingil hetkel maksimaalse bakterite kasvukiiruseni.

Viibeaeg iseloomustab, kui kaua substraat käärimiskambris olema peab, kuni ta uue substraadi vastu välja vahetatakse, ja on nii kaudselt käärimiskambri koormust iseloomustav suurus. Kui see aeg on liiga lühike, siis on ka bakteritel liiga vähe aega lagundamisprotsessi lõpuni viimiseks. Joonis 2-4 näitab, et mida väiksem on koormus, seda pikemalt on substraat käärimiskambris ja seda suurem on ka biogaasi saagis kilogrammi substraadi kohta. Gaasi tekkekiirus, mis näitab produktiivsust, on sellisel juhul aga madal.



Joonis 2-4: Maksimaalne biogaasi tekkimine ja biogaasi tekkimine ajaühikus.

Lisatavate ainete koguste suurendamine tähendab viibeaja vähenemist käärituskambris ja bakterite produktiivsuse suurenemist, aga gaasi saagis massiühiku kohta väheneb. Käärimiskambris suureneb koormuse kasvades gaasi tekkekiirus kuni maksimumini (punkt A). Põhjuseks, miks gaasiteke hakkab vähenema, on see, et substraadi lisamisega jääb lagundamisega vähemaks ja bakterid ei jõua kogu materjali töödelda.

Kui käärimisega veelgi lühendada, siis jõuame kiiresti protsessi seiskumiseni, kuna baktereid väljutatakse protsessist kiiremini, kui nad on võimelised paljunema.

Peab tähelepanu pöörama sellele, et juurdeantavaid koguseid tõstetaks aeglaselt ja ei ületataks palju maksimumkoguseid. Ka muutused juurdeantavates kogustes mõjuvad koheselt gaasitoodangule negatiivselt. Kui aga peaks olema vajalik midagi muuta, siis tuleb seda teha ettevaatlikult, et anda bakteritele aega uute tingimustega kohanemiseks.

Praktikas ei jõuta tavaliselt maksimaalse punktini (punkt A) ja jäädakse sellest punktist natuke paremale, kuna seal on protsess muutustele sisestatava materjali koguste ja koostiste osas vähem haavatav. Mida lähemale punktile A minnakse, seda haavatavamaks protsess muutub. Juba väikesed muutused võivad kutsuda esile protsessi seiskumise. Siin tuleb leida tasakaal protsessi stabiilsuse ja tekkiva gaasikoguse vahel.

### Erinevate ainete mõju käärimisprotsessile

Kasutatavate substraadide kvaliteet ja kogus avaldavad mõju gaasi saagisele ja kvaliteedile, selle hoidmiseks on vaja substraati eelnevalt töödelda. Põhimõtteliselt peab jälgima, et substraadid oleksid hea kvaliteediga. Näiteks, kui kasutatav sööt või söödajäägid on tugevalt hallitanud, võib see viia

kogu protsessi seiskumiseni või tugeva vahu tekkimiseni. Kasutades substraate, mis on ka loomasöödana kvaliteetsed, siis reeglina suudetakse probleeme vältida.

Kui kasutatavaid substraate eelnevalt töödelda, siis mõjutatakse sellega bioloogilist lagunemist ja ka gaasiteket. Aga ka selleks, et protsessid probleemideta toimiksid, on vaja eeltöötlemist. Nii peavad võõrkehad, nagu kivid, metall ja plastik, aga ka mittelagunevad osad, liiv ja puit, olema enne eemaldatud.

Erilised substraadid, nagu põhk või muud koristusjääd, peaksid enne olema purustatud, et suureneks nende pind ja saavutataks parem kontakt bakteritega, millega kiirendatakse protsessi. Muidu lagunevad mõned substraadid, eeldades planeeritud lühikest viibeaga, ainult osaliselt ja siis jääb gaasitekke potentsiaal kasutamata.

Ka substraadi pH väärtus mõjutab kogu protsessi. Siinkohal tuleb meelde tuletada, et protsessi pH tasakaalu kõikumine on lubatud ainult kitsastes piirides. Kui käärimiskambrisse viiakse liiga suur kogus madala pH väärtusega substraati (liiga happeline silo või reovesi), võib see protsessi tugevasti inhibeerida. Sellistel juhtudel tuleb substraatide pH enne reguleerida leelist lisades. Ka võib substraadi ja käärimiskambri segu pH suure erinevuse tõttu tekkida palju vahtu, mis vedelas faasis lahustunud CO<sub>2</sub> vabastab ja väljutab.

Ka substraatide valikul, st nende kokkusegamisel, võib jõuda protsessi häirimiseni. Kuna gaasi kogus ja kvaliteet sõltuvad peaaesjalikult rasvadest, valkudest ja süsivesikutest, siis oleks hea kasutada substraate, mis omavad nende toitainete võimalikult kõrget kontsentratsiooni. See võib teatud juhtudel mingi aja kenasti toimida. Kuna aga bakterid peale nende toitainete ka teisi elemente vajavad, võib ka mikroelementide puudus põhjustada protsessi katkemist ja soovitud tulemuseni mitte jõudmist. Seetõttu on vaja jõuda kompromissile suure gaasitoodangu ja toitainetega varustamise vahel.

## 2.5 Kasutatud kirjandus

- /2-1/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- /2-2/ Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
- /2-3/ Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- /2-4/ Schattner, S.; Gronauer, A.: „Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen“, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, S. 28-38, Weimar 2000
- /2-5/ Weiland, P., „Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland“, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, S. 8-27, Weimar 2000
- /2-6/ Wellinger, A.; Baserga, U.; Edelmann, W.; Egger, K.; Seiler, B., Biogas-Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen, Verlag Wirz – Aarau, 1991
- /2-7/ Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19-32; VDI-Verlag 2001
- /2-8/ Maurer, M.; Winkler, J-P., Biogas – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen, Verlag C.F.Müller, Karlsruhe, 1980
- /2-9/ Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe; Tagungsband; Barnstorfer Biogastagung 2000; Ländliche Erwachsenenbildung Niedersachsen (LEB)
- /2-10/ Merkblatt ATV-DVWK-M 363 „Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen“, ATV-DVWK, 2002
- /2-11/ Kroiss, H.: Anaerobe Abwasserreinigung; Wiener Mitteilungen Bd. 62; Technische Universität Wien, 1985
- /2-12/ Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg; Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Potsdam 2001

# 3

## Tehnoloogia ja seadmed biogaasi tootmiseks

Kasutatavaid tehnoloogiaid ja tehnilisi seadmeid biogaasi tootmiseks on väga laias valikus. Seda valikut tutvustatakse selles peatükis. Võimalusi komplekteerida biogaasijaamu seadmete ja nende osadega on tohutult, mistõttu tutvustatakse paljusid näiteid.

Enamasti kasutatakse tootjafirmade poolt pakutavaid terviklahendusi, millel võib olla nii häid kui halbu külgi. On hea, kui üksikseadmed sobivad omavahel ja nende töö ühildub kogu biogaasijaama funktsioneerimisega. Halb on see, kui tellija soovib kogumaksumuse alandamiseks kärpeid ja muudatusi pakutavas tehnoloogias või biogaasijaama terviklahenduses. Seadmete tootjafirmal ja biogaasijaama ehitajal (hanke täitjal) tuleb läbida riskantne ja suhteliselt keerukas käivitusprotsess enne nõuetekohaselt toimiva biogaasijaama tellijale üle andmist. Iga meile rajatava konkreetse biogaasijaama tehnilist valmisolekut ja töövõimet tuleks vastava eriala spetsialistidel Eestis oludes katsetada.

### 3.1 Märksõnad ja eristatavus erinevate kriteeriumite alusel

Biogaasi tootmiseks anaeroobse käärimise protsessis on mitmeid lahendusi, millest tüüpilisemaid esitatakse tabelis 3-1.

Tabel 3-1: Biogaasi tootmistehnoloogiad jaotatuna erinevate kriteeriumite alusel

Kriteerium	Tehnoloogia
<b>Protsessi etappide arv</b>	– Üheetapiline (astmeline) – Kaheetapiline – Kolmeetapiline
<b>Protsessi temperatuur</b>	– Psührofiilne – Mesofiilne – Termofiilne
<b>Kääritusmahuti täitmisviis</b>	– Katkev täitmine (perioodiline, tsükliline) – Osaliselt katkev (pool-tsükliline) – Katkematu (pidev)
<b>Substraadi kuivaine sisaldus</b>	– Märgekääritamine – Kuivkääritamine

#### 3.1.1 Protsessi etappide arv

Põllumajanduslikes biogaasijaamades kasutatakse peamiselt ühe- või kaheastmelisi protsesse. Üheastmelistes protsessides ei ole protsessi erinevad astmed (hüdrolüüs, hapete moodustumine, äädikhappe teke, metaani teke) ruumiliselt eraldatud. Kõik protsessi staadiumid toimuvad ühes anumus (mahutis).

Kaheastmelistes protsessides eraldatakse mingid faasid üksteisest ruumiliselt. Näiteks on kaheastmelises protsessis hüdrolüüsi, hapete moodustumine esimeses anumus ning äädikhappe ja metaani teke teises anumus.

### 3.1.2 Protsessi temperatuur

Mesofiilsetes biogaasijaamades toimub kääritusprotsess temperatuurivahemikus 32–38°C, termofiilsetes 42–55°C. Sealjuures on need piirid muutuvad. Käärimismahuti temperatuuri saab sõltuvalt kasutatavatest substraatidest ka optimeerida. 85% põllumajanduslikest biogaasijaamadest töötab mesofiilses temperatuurivahemikus. Termofiilses vahemikus töötavad jaamad on aga tihti kombineeritud mesofiilsete protsessiastmetega.

### 3.1.3 Täitmise viis

Biogaasijaama mahutite täitmine või „toitmine” sõltub mikroorganismide vajadustest kasutada substraati („toiduks“). Substraadi lisamise vajaduse ja mahu määrab tekkiva biogaasi kogus. Põhimõtteliselt eristatakse pidevat, pooltsüklilist ja tsüklilist täitmist.

#### 3.1.3.1 Tsükliline täitmine

Tsüklilise täitmise juures eristatakse kambri meetodit ja vahetatavate kambrite meetodit. Kuivkääritamisel kasutatakse enamasti tsüklilist (perioodilist) täitmist.

#### Kambri (vanni) meetod

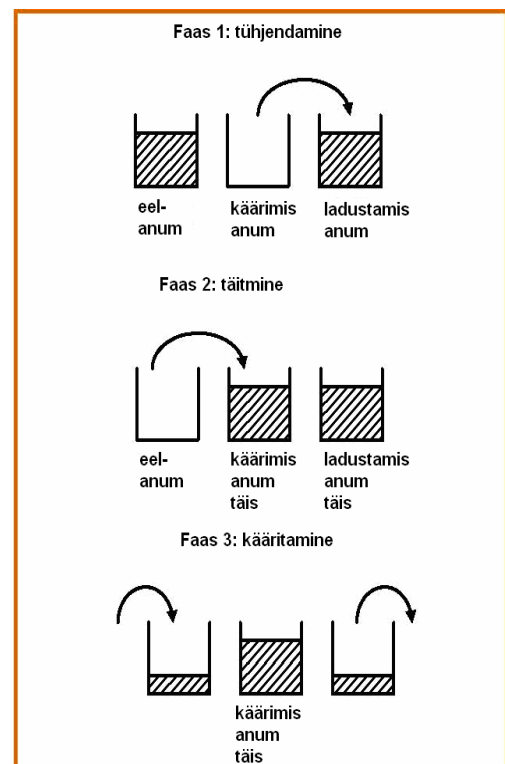
Kambri meetodi puhul täidetakse käärimismahuti (kääriti, käärituskamber) täielikult värske substraadiga (siloga, toormega) ja suletakse õhukindlalt. Substraat jääb kogu määratud ajaks kambri (kääritisse), ilma et sealt materjali ära võetaks või juurde lisataks. Kui käärimiseks vajalik aeg on läbi, siis tühjendatakse käärituskamber peaaegu täielikult. Jätetakse ainult väike osa (viiesikuni kümnendik kääritatud massist), et bakterid saaksid uuele substraadile kanduda. Lisaks käärituskambri on vaja ka eelmahutit (nt silohoidlat, siloväljakut) ja tühjendusmahutit (väljakut), kuhu ladustada vajalik tooraine ja kääritusjäät.

Sellisel kääritamisel hakkab gaasi väljatulek pikkamööda kasvama ja pärast maksimumi saavutamist jälle langema. Tulemusena ei ole võimalik toota gaasi pideva vooluna ja ühtlase kvaliteediga. Käärimise aeg on konstantne ja vastavuses käärituskambri suurusega. Seda protsessi iseloomustab skemaatiliselt joonis 3-1.

#### Vahetatavate kambrite meetod

Vahetatavate käärituskambrite (kambrite) meetodi korral töötatakse samaaegselt kahe kambri. Esimene kamber täidetakse aeglaselt eelmahutist ja samal ajal toimub teises käärituskambri käärimine. Kui esimese kambri täitmine on lõppenud, siis teine tühjendatakse täielikult lõpphoidlasse ja seejärel alustatakse aeglaselt selle uuesti täitmist. Selle meetodi skeem esitatakse joonisel 3-2.

Erinevate mahutite kasutamine võimaldab ka ühtlasemat gaasitootmist. Vajalikku käärimisaega on nii võimalik ka optimeerida.



Joonis 3-1: Kambri meetodi faasid.



### 3.1.3.2 Pidev ja pooltsükliline täitmine

Pideva ja pooltsüklilise täitmise juures eristatakse läbivoolu-, salvestus- ja kombineeritud meetodit (läbivooluga salvestav). Pooltsüklilise täitmise juures lisatakse vähemalt üks kord päevas värsket tooret käärituskambrisse. Kogemuste alusel tuleks eelistada pigem mitu korda päevas väiksemate koguste andmist.

#### Läbivoolu meetod

Enamus biogaasijaamu töötab läbivoolumeetodil, kus ühest eelmahtutist antakse kääritisse värsket toorainet mitu korda päevas. Sama kogus substraati, mida juurde lisati, väljub samal ajal ülejooksu või pumpamise teel lõpphoidlasse (joonis 3-3).

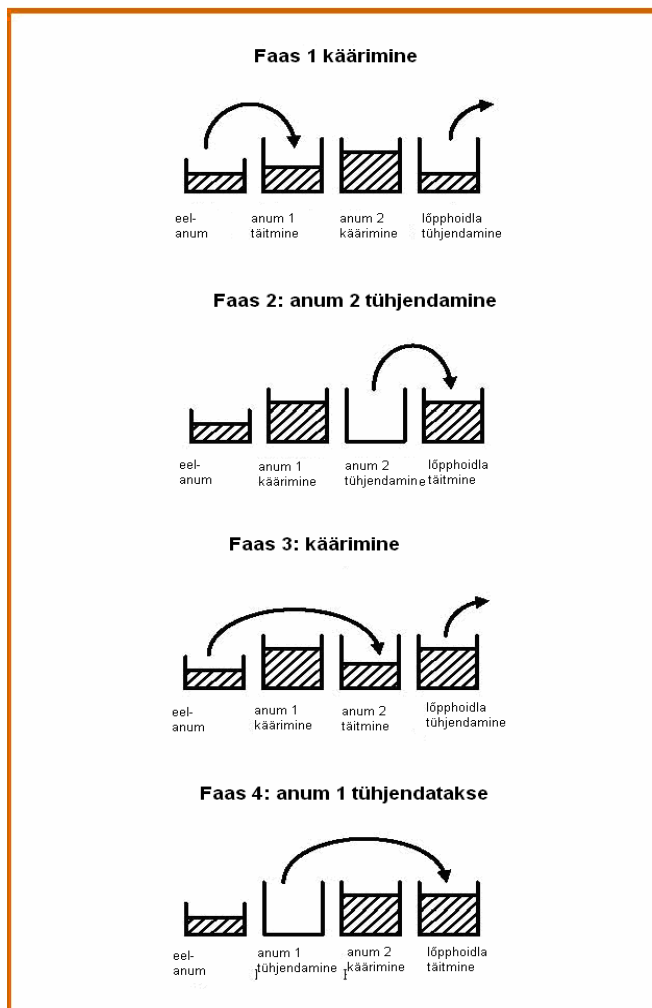
Kääriti on läbivoolu meetodi korral alati täidetud ja tühjendatakse ainult remonttöödeks. See meetod annab ühtlasema gaasitoodangu ja kääritusmahuti hea ruumikasutuse. Siiski on oht, et substraat läbib kääriti liiga kiiresti, mis tähendab, et mingi osa värskest substraadist võib väljuda kääritist osaliselt käärimata.

#### Salvestusmeetod

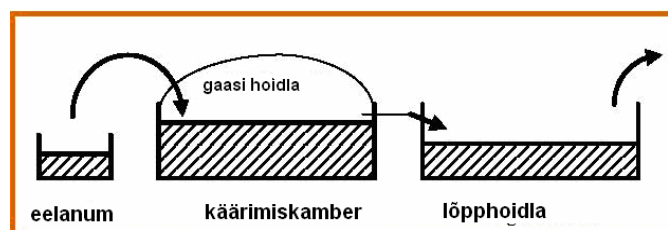
Käärituskamber ja lõpphoidla on salvestusmeetodi puhul koos. Mahuti tühjendamisel käärimise lõppjärgus ei eemaldata kääritusjääki täielikult, vaid jäetakse osa sisse, et kindlustada vajalike bakterite olemasolu järgneva protsessiks. Mahuti täidetakse aeglaselt eelhoidlast. Joonisel 3-4 esitatakse see skemaatiliselt. Gaasitoodang ei ole kahjuks eriti stabiilne, küll aga saab käärituskambris substraati hoida nii kaua kui vaja.

#### Kombineeritud läbivoolu-salvestusmeetod

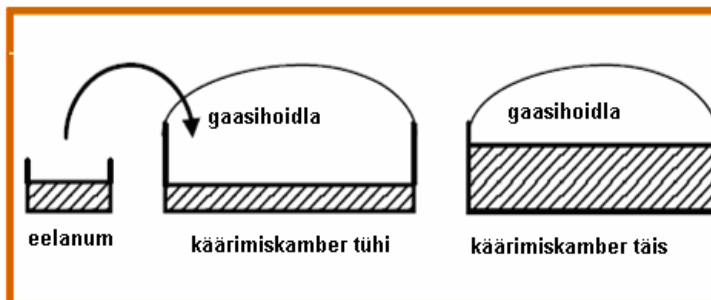
Kombineeritud meetodil töötavatel biogaasijaamadatel on enamasti ka lõpphoidla kaetud gaasitihedalt. Siis saab seal tekkiva või sinna sattunud biogaasi kokku koguda ja seda kasutada. Lõpphoidla toimib nagu salvestusmeetodi korral ja selle ette on lisatud käärituskamber läbivoolu meetodi põhimõttel. Ka esimesest käärituskambrist on võimalik substraati eemaldada näiteks väetiseks kasutamise eesmärgil. Skemaatiliselt on see protsess ära toodud joonisel 3-5. Selline meetod võimaldab ühtlast gaasitoodangut. Käärituskambris oleku aega ei saa kahjuks nii täpselt määrata nagu mõne teise meetodi puhul.



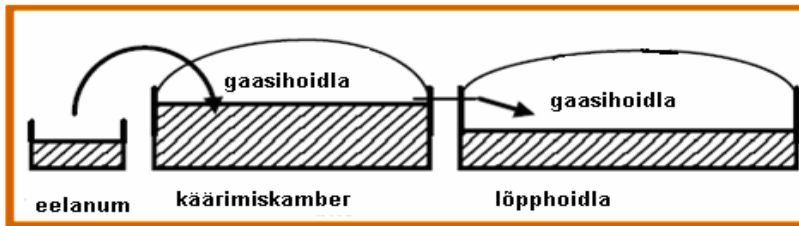
Joonis 3-2: Vahetatavate kambrite meetod.



Joonis 3-3: Läbivoolu meetod.



Joonis 3-4: Salvestusmeetod.



Joonis 3-5: Kombineeritud läbivoolu-salvestusmeetod.

### 3.1.4 Kuivaine sisaldus kääritava substraadis

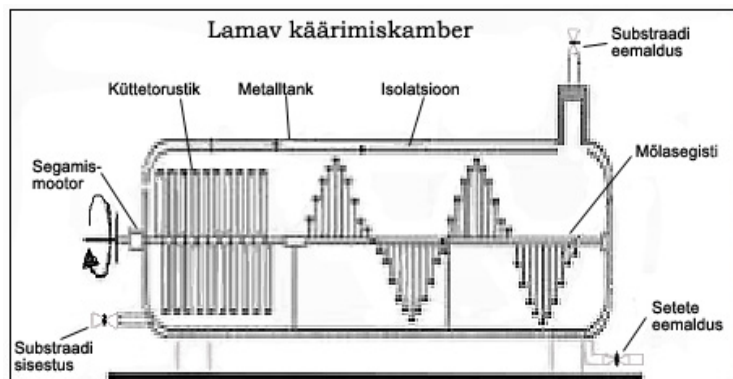
Substraatide konsistents sõltub nende kuivaine sisaldusest. Märkkääritamise korral on substraat (tooraine) pumbatav. Kuivalt kääritav substraat on aga kuhjatav (võimalik ladustada aunas). Põllumajanduslikes biogaasijaamades kasutatakse laialdaselt märkkääritamist. Kuivkääritamisaamad olid mõni aasta tagasi enamalt jaolt pilootjaamad, kuid nende arv kasvab pidevalt.

#### 3.1.4.1 Märkkääritamine

Pumbatavate substraatide kääritamiseks pakutakse erinevaid tehnilisi lahendusi: survevoolu meetod, täieliku segamise meetod või siis erimeetod.

#### Survevoolu meetod (pressmeetod)

Survevoolu meetodi korral surutakse nt kruvisööjtuga (kruvipumbaga) juurdelisatav (värske) substraat kas horisontaalsesse või vertikaalsesse silindrilisse käärituskambrisse (kääritisse) või horisontaalsesse ristkülikukujulisse käärituskambrisse. Massi segamine toimub risti voolusuunaga labadega võlli abil või siis spetsiaalselt konstrueeritud voolutorustiku abil. Sellise käärituskambri omadusi iseloomustatakse tabelis 3-2. Skemaatiliselt esitatakse see joonisel 3-6.



Joonis 3-6: Survevoolu meetod.

Tabel 3-2 Survevoolu biogaasi kääritite omadused

<b>Suurus, materjal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maht horisontaalsete käärituskambrite puhul on kuni 800 m<sup>3</sup>, terasest või betoonist.</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobilik kõrge kuivainesisaldusega pumbatavate substraatide jaoks. Segamis- ja etteandmiseadmed peavad olema substraadile sobilikud.</li> <li>• Ettenähtud pideva või pool-tsüklilise täitmise korral</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kompaktne, väikeste biogaasijaamade puhul väikese maksumusega ehitus</li> <li>+ Survevooluses eraldatud käärimisastmed</li> <li>+ Ehitusviisist tulenevalt ei teki ujukihti ega ka setteid</li> <li>+ Võimalik kinni pidada optimaalsest käärimisajast</li> <li>+ Lühike käärimisaeg</li> <li>+ Kerge soojendada ja tänu oma kompaktsusele ka väikesed soojuskaod</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ainult väikesed seadmed on majanduslikult efektiivsed</li> <li>- Segisti remontimise ja hooldustööde ajal tuleb tühjendada kogu kääritusmahuti</li> </ul>
<b>Paigutus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saab asetseda horisontaalselt või vertikaalselt, kuigi enamasti kasutatakse horisontaalset paigutust</li> <li>• Vertikaalse paigutuse korral töötab survevooluse meetod paremini</li> <li>• töötavad nii segistitega kui ka ilma segistiteta</li> </ul>

### Täieliku segamise meetod

Täielikult läbiseगतavaid käärituskambreid (kääriteid) kasutatakse peamiselt põllumajandusliku biogaasi tootmises, need on silindrikujulised ja paigutatud vertikaalselt. See vastab standardsetele lägahoidlatele, mida väikese ümberehituse tulemusena on võimalik ka kasutada. Käärituskamber on betoonpõrandaga mahuti, millel on teras- või betoonseinad. Mahuti võib olla osaliselt või täielikult maa sees või kogu ulatuses maapealne. Mahuti peale pannakse gaasitihe kate, mis võib olla erineva konstruktsiooniga. Täielik segamine saavutatakse segistiga, mis asub käärituskambris. Iseloomulikke omadusi kirjeldatakse tabelis 3-3 ja skeem on toodud joonisel 3-7.



Joonis 3-7: Täielikult läbiseगतav käärituskamber, läbilõige: Biogas Nord GmbH.

Tabel 3-3: Täielikult segatavate kääritite omadused

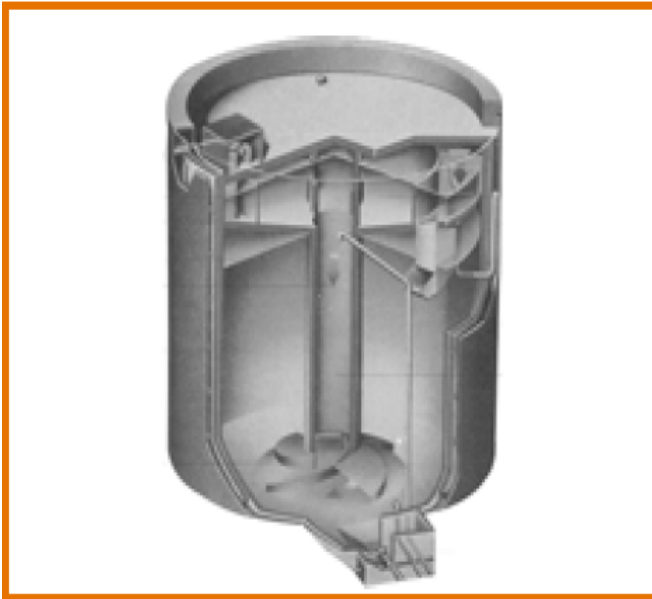
<b>Suurus, materjal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kambri maht kuni 6000 m<sup>3</sup>, suuremate ehitiste juures muutub segamine ja protsessi kontrollimine raskemaks</li><li>• Terasest ja betoonist</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sobib vähese või keskmise kuivainesisaldusega pumbatavatele substraatidele</li><li>• Peab valima substraadile sobiliku segamis- ja etteandeseadmed</li><li>• Sobilik kõikidele erinevatele täitmisviisidele</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Käärituskambrit suurusega üle 300 m<sup>3</sup> on soodsam ehitada</li><li>+ Täitmiseks sobib nii läbivoolu, läbivoolu-salvestus kui ka salvestusmeetod</li><li>+ Tehnilisi seadmeid saab hooldada käärituskambrit tühjendamata</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mahutite kinnikatmine on suuremates jaamades raskendatud</li><li>- Võimalik on substraadi kiire väljumine</li><li>- Võimalik on ujuvkihi ja setete teke</li></ul>
<b>Paigutus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vertikaalsed silindrilised nii maapealsed kui ka maasisesed mahutid</li><li>• Saab töötada nii segistiga kui ka ilma</li><li>• Segistid peavad olema suure võimsusega, erandlikuks on läga kääritamine, kus segamist saab asendada pneumaatilise ringvooluga – biogaasi juhtimisega tagasi kääritisse</li><li>• Ringvoolu korraldamise võimalused: segistid käärituskambris, aksiaalne segisti ühel kesksel vertikaalsel torustikul, hüdrauliline ringvool väliste pumpade abil, ringvool biogaasi surumisega vertikaalsesse juhttorusse, ringvool gaasi surumisega mahutisse läbi põrandas asetsevate düüside.</li></ul>

### Erimeetodid

Eelpool mainitud laialt levinud märgkääritusmeetoditele on veel lisaks teisi, mida ei saa nii selgelt klassifitseerida. Peamiselt on need vähe levinud ja turul kohaliku tähtsusega.

Saksamaal on suhteliselt palju levinud substraadi segamine kaheosalises käärituskambris. Seal toimub hüdrauliline substraadi ringvool, mille kindlustab tekkiva biogaasi ülerõhk. Seejuures ei kasutata segamisel elektrienergiat, kuigi seadme konstruktsioon on keerulisem ja seade suurem. Saksamaal on

üle 50 sellisel tehnoloogial töötavat biogaasijaama suurusega 400 kuni 2500 m<sup>3</sup>, kus toormeks on läga või reoveepuhastusjaama muda. Joonisel 3-8 on toodud sellise käärituskambri skeem.



Joonis 3-8: Kaheosaline käärituskamber; foto: ENTEC.

### 3.1.4.2 Kuivkääritamine

Põllumajandusettevõtetel, kellel puudub läga (vedel sõnnik) biogaasi tootmiseks märgkääritusmeetodiga, on kasutada kaks võimalust: vedeldada substraate (suur vee- ja energiavajadus) või kasutada kuivkääritusmeetodit. Täna turusituatsioonis pakutavad kuivkääritusmeetodid ei ole oma arengus veel kaugeltki mitte lõppenud. Sellepärast on selle meetodi tutvustamine siin küllaltki lühike. Kuivkääritusmeetodi spetsiifika on ära toodud tabelis 3-4. Kui kuivkääritamise tehnoloogia veel areneb ja tänased probleemid lahendada suudetakse, siis on see taimekasvatusevõtetetele üks suur alternatiiv märgkääritamise tehnoloogia kõrvale.

Tabel 3-4: Kuivkääritamise iseloomustus

<b>Suurus, materjal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ehitise suurus ei ole piiratud</li> <li>• Konstruktsioon metallist või betoonist</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mõeldud mitte voolavatele ainetele</li> <li>• Kasutatav kõikide täitmismeetoditega</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Moodulehitised võimaldab mitmekülgset lähenemist vastavalt vajadustele</li> <li>+ Väiksem energiavajadus, kuna tehnikat on vähem</li> <li>+ Väiksemad hoolduskulud ja kulumine</li> <li>+ Tekkinud biogaasis vähem väävelvesinikku ja seega vähem gaasi puhastamist</li> <li>+ Käärituskambrit võimalik transportida sinna, kus on toorainet</li> <li>+ Väiksem energiakulu soojendamiseks, kuna kasutatakse lühiaegselt aeroobset protsessi, kus tekib soojus</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pidevaks biogaasi saamiseks vajalik mitu paralleelselt töötavat moodulit*</li> <li>- Puuduliku läbiseigamise tõttu võimalik piirkondade teke, kus gaasitoodang ei ole maksimaalne*</li> <li>- Plahvatuse vältimiseks on täitmisel ja tühjendamisel vajalik installeerida turvatehnika*</li> <li>- Maksimaalseks gaasi saagise tagamiseks on vajalik suur kogus nakatusmaterjali (varemkäärinud, bakteritega mass)</li> </ul> <p>* Kehtib ainult kambrimeetodil</p>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konteinerboksid (käärituskonteinerid)</li> <li>• Voolikud, tunnelid</li> <li>• Horisontaalsed survevoolu käärituskambrid</li> </ul>

### Konteinermeetod (konteinertüüpi käärituskamber)

Konteinermeetodil täidetakse teisaldatav või kokkulükatav kääriti biomassiga ja suletakse õhutihedalt. Konteineris on seega värske substraat ja juurde segatud bakteritega substraat (kääritusjääk). Mikroorganismid esmalt soendavad selle massi üles, kui veel õhku juurde antakse, sest siis toimub soojust eraldav kompostimisprotsess. Kui protsessi temperatuur on saavutatud, siis suletakse õhu juurdepääs. Kui kogu hapnik on ära kasutatud, siis muutuvad anaeroobsed bakterid aktiivseks nagu ka märgkäärimisel ja algab gaasitekke protsess. Biogaas koguneb käärituskambris, kust see eemaldatakse gaasitorustiku kaudu ning juhitakse mahutisse. Seejärel saab sedaenergeetiliselt kasutada (soojuse ja elektri koostootmine, põletamine katla koldes või sisepõlemismootoris) Üks konteinertüüpi kuivkäärituskamber on esitatud joonisel 3-9.



Joonis 3-9: Sisselükatav kuivkäätuskamber (konteiner rullikutel), prototüübi staadiumis, foto Bioferm GmbH.

### **Boksi- või garaažimeetod**

Geomeetriliselt sarnanevad boksid konteineritüüpi käätuskambritele, on väliselt garaažisarnased ja ehitatud betoonist valmisosadest. Käätusprotsessi kulg on sarnane konteineritehnoloogiale ja ehitus on kujutatud joonisel 3-10



Joonis 3-10: Bokskäätuskamber täitmisel, prototüübi staadiumis. Foto Bioferm GmbH.

### **Kiletorumetod (plastkilest käätuskamber)**

Kiletoru käätamistehnoloogia korral kasutatakse sama tehnikat, mida loomasööda kilesse sileerimisel. Ka siin kasutatakse esmaseks soendamiseks aeroobset protsessi. Edasiseks soendamiseks on võimalik täidetud kiletorud panna soendatavale betoonalusele. Soojuskadude vähendamiseks on võimalik toru täitmisel lisada ka isolatsioon. Kiletoru ülemisse ossa paigaldatakse kogumistorustik, mille kaudu saab tekkinud biogaasi tarbijale või lattu suunata. Joonisel 3-11 esitatakse näide kiletoru täitmisest.



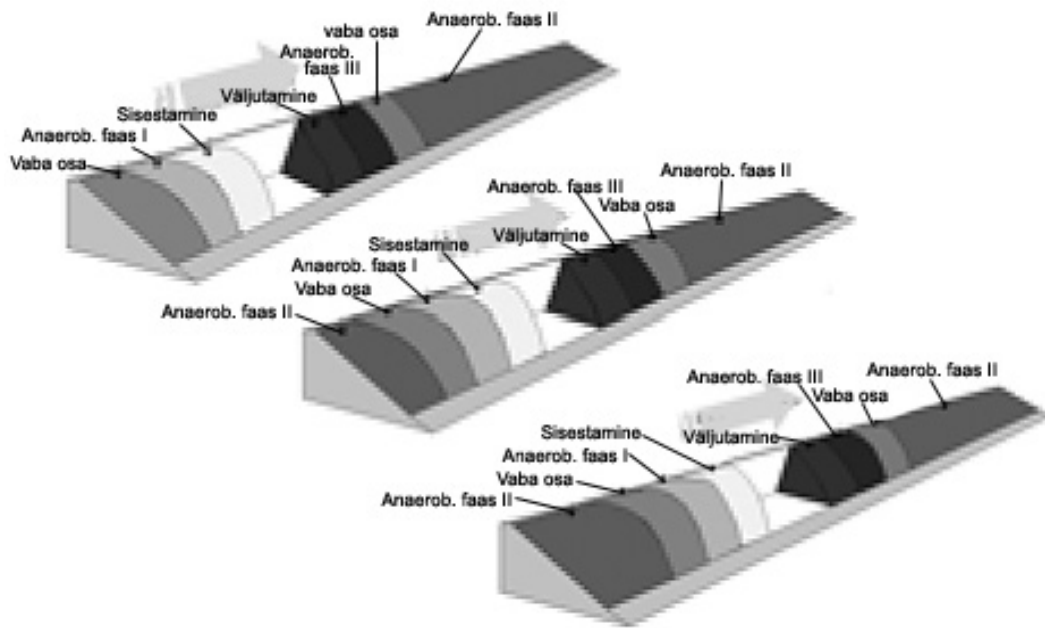
Joonis 3-11: Kiletoru täitmine; foto B. Linke, Borniumi põllumajandustehnika instituut.

### **Vann- ehk tunnelmeetod (tunnelkäätuskamber)**

Võrreldav kiletorumetodiga, toimub sarnane käärimisprotsess, kuid see toimub spetsiaalsetes vannides või tunnelites. Küll on aga siin võimalus rohkem protsessi kontrollida. Joonisel 3-12 esitatakse tunnelkäätuskamber skemaatiliselt.

### Kompogas-meetod (Toppevoolu meetod)

Jäätmekäitluse valdkonnas on viimasel ajal edukalt kasutatud kuivkääritust. Kompogas meetodi kääriteid konstrueeritakse nii vertikaalsetena (püstistena) kui ka horisontaalsetena (lamavatena), neid täidetakse kas tsükliliselt või pool-tsükliliselt. Mõnel juhul on keskele paigutatud väike segamivõll, mis kergendab gaasi eraldumist. Tekkiv biogaas juhitakse ilma vahesalvestita kohe tarbijale ja kääritusjääk pressitakse, eraldatakse vedelik ja ülejäänud on sobiv kasutada kompostiks. Süsteemi hooldus- ja investeerimiskulud on suured tänu kõrgele mehhaniseerituse tasemele, kuid see püsib nende kasutamist põllumajandusettevõtetes biogaasitootmiseks.



Joonis 3-12: Kombineeritud kuivkääritamine, skemaatiline joonis: Dr. Ing. Steffen GmbH.



Joonis 3-13: Kompogas-meetodil töötav biogaasijaam; foto: Kompogas AG.

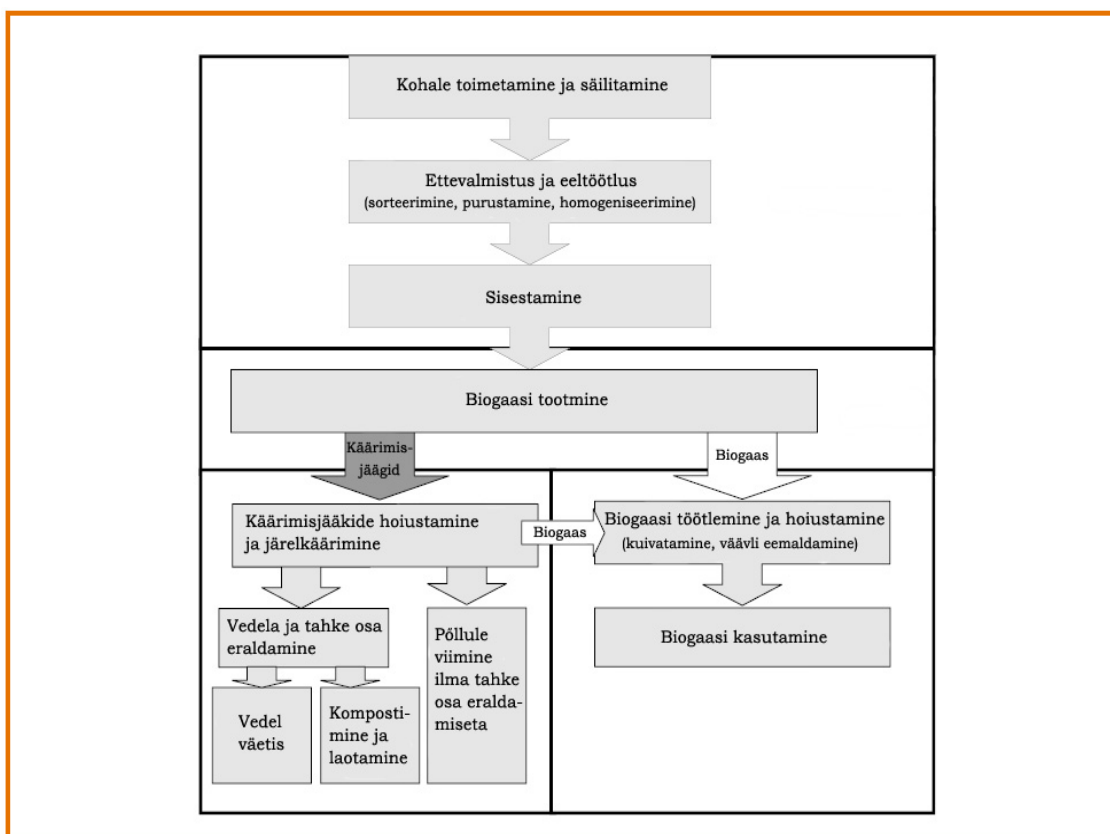


### 3.2 Biogaasi tootmise tehnoloogia (protsessid)

Põhimõtteliselt saab põllumajanduslikku biogaasi tootmist, olenemata kasutatavatest tehnilistest seadmetest, jagada neljaks erinevaks etapiks:

1. substraadi transport, hoiustamine, eeltöötlamine ja sisestamine;
2. biogaasi eraldamine;
3. kääritusjäägi ladustamine ja selle kasutamine;
4. biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine.

Üksikuid etappe kujutatakse täpsemalt joonisel 3-14.



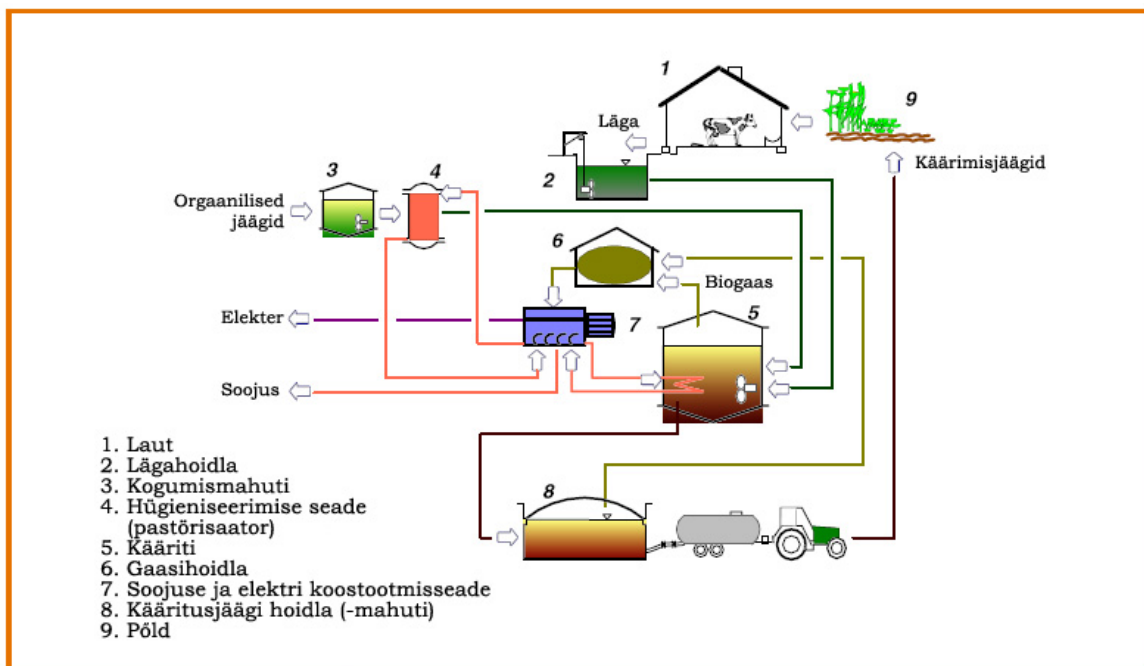
Joonis 3-14: Biogaasi tootmistehnoloogia üldskeem.

Need neli etappi ei ole üksteisest sõltumatud. Eriti just 2. ja 4. etapi vahel on väga tihe seos, sest 4. etapis tekkinud soojust kasutatakse ära 2. etapi protsessis. Neljandasse etappi kuuluv biogaasi puhastamine ja kasutamine on 5. peatüki teema ja kääritusjäädide kasutamist käsitletakse pikemalt 8. peatükis.

Milline tehnoloogia valitakse ja millised on selle tehnilised lahendused, sõltub esmajoonel kasutatavatest substraatidest. Substraadi kogus määrab tehniliste seadmete mõõdud ja käärituskambril mahulised dimensioonid. Substraadi kvaliteet (kuivaine sisaldus, struktuur, päritolu) määrab kasutatava tehnoloogia. Substraatide koostisest ja kuivaine sisaldusest sõltub ka, kas on vaja eraldada mehaanilisi lisandeid või lisada hoopis vett, et saavutada pumbatavus. Kui on substraadid, mida tuleks enne pastöriseerida (hügieeninõuetega vastavusse viimiseks), siis tuleb seegi etapp sisse planeerida. Eeltöödeldud substraat juhitakse käärituskambrisse (kääritusse), kus ta hakkab käärima ja eraldub biogaas. Märgekääritamisel kasutatakse peamiselt üheastmelisi tehnilisi lahendusi läbivoolu meetodil. Kaheastmelisele meetodile on lisatud juurde üks eelkäärituskambris. Eelkäärituskambris valmistatakse ette tingimused käärimisprotsessi kaheks esimeseks etapiks (hüdrolüüs ja happe teke). Substraat liigub siis edasi peakäärituskambrisse, kus toimub käärimise edasine kulgemine. Kääritusjääd ladustatakse tavaliselt kinnisesse järelkääritusse koos gaasi kogumise võimalusega või siis lahtisesse hoidlasse, kust seda võetakse põllumajanduskultuuride väetamiseks.

Käärimisel tekkinud biogaas hoiustatakse ja puhastatakse. Selle kasutamine toimub enamasti SEKi koosseisus olevas siseõlemismootoris (SEK, soojuste ja elektri koostootmiseseade). SEKis toodetakse

samaaegselt elektrit ja soojust. Joonisel 3-15 on toodud üheastmeline põllumajandusliku biogaasijaama skeem (koos komponentidega), milles kasutatakse ka muid pastöriseerimist vajavaid biolagunevaid jäätmeid.



Joonis 3-15: Põllumajandusliku biogaasi tootmise skeem koos substraatidega. B. Linke, Borniumi põllumajandustehnika instituut.

Biogaasi tootmisprotsessi erinevates etappides kasutatavad seadmed on järgmised: esimeses etapis (ladustamine, eeltöötlemine, transport ja sisestamine) kasutatavad seadmed on läga eelhoidla (2), kogumismahuti (3) ja pastörisaator (4). Teises etapis (biogaasi eraldumine) toimub protsess kääritis (5) ehk käärituskambris. Kolmandas etapis kasutatakse jääghoidlat (8) ja toimub jäägi viimine põllule. Neljandas etapis (biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine) vajatakse gaasihoidlat (6) ja gaasi põletamise seadet (7). Viimaseks võib olla SEK, keskküttekatel või transpordivahendi sisepõlemismootor. Järgnevalt kirjeldatakse neid etappe üksikasjalikumalt.

### 3.2.1 I etapp - substraadi käitlemine

#### 3.2.1.1 Kohaletoimetamine (transport)

Transport muutub oluliseks juhul, kui toodav substraat ei ole pärit põllumajanduslikust ettevõttest. Peale arveldamise ja saatelehtede on oluline ka substraadi kontrollimine kättesaamisel, mis toimub enamasti visuaalselt. Samaaegselt peaks ka toodava koguse kindlaks määrama ja tulemi protokollima. Eriti hoolikas peab olema selliste substraatidega, mis tulevad kui jäätmed või prügi. Sellega võib kaasnedu töestuspaberite kogumise kohustus ja vajadus esitada neid ka kontrollasutusele.

#### 3.2.1.2 Ladustamine (hoiustamine)

Hoiustamine on oluline, hoidmaks ära suuri muutusi tulenevalt erinevate substraatide kasutamisest. Erinevatel substraatidel on erinevad hoiustamisviisid. Hoiustamiseks vajalike pindade suurus tuleneb planeeritud substraatide kogustest ja nende kasutusest ajaühikus. Kui on tegemist ostetavate substraatidega, siis on olulised lepingulised suhted ja seal äratoodud kohustused, millal ja kui suures koguses tuua. Kui kasutatakse tööstusest pärit substraate, mida on vaja enne pastöriseerida, siis need vajavad eraldi ladustamist. Kindlasti ei tohi omavahel kokku puutuda sellised substraadid, mis vajavad eelnevat töötlemist (hügieeni seisukohalt).

Lõhnade leviku seisukohalt peaks selliste substraatide vastuvõtt toimuma hallis, kus on ka õhupuhastid või biofiltrid. Nii on ka tehnika kaitstud ja töid saab teha olenemata ilmastiku kapriisidest. Tabel 3-5 annab ülevaate substraatide hoiustamisest.



Tabel 3-5: Substraatide hoiustamine enne kääritamist

<b>Mõõtmeliskus</b>	– Sõltuv substraadi päritolust, käärituskambri jõudlusest, substraadi saabumise tähtaegadest, põldude asukohast, sisseostetavate substraatide tarnelepingutest – Igasugused hälbepiirid peavad olema tasandatud
<b>Erisused</b>	– Ei tohi tekkida tehniliste osade külmumist hoiustamisel, nt isolatsiooni puudumisel paigaldada hoidlad ruumidesse või kasutada maaaluseid lägahoidlaid – Tuleks vältida käärimisprotsesse, mis vähendavad gaasi teket, – Mitte kasutada segamini hügieeniliselt puhtaid ja musti substraate. – Ehitada nii, et lõhnade levik oleks piiratud.
<b>Ehitusvormid</b>	– Sarnased siiani põllumajanduses kasutatavate silohoidlate, sõnnikuhoidlate ja lägahoidlatega. – Eelhoidlaid saab kasutada kuni 3 päevaste mahtude jaoks.
<b>Maksumus</b>	– Tavaliselt on sellised hoidlad juba olemas, kui aga mitte, siis maksumus sõltub loomade arvust ja liigist.

### 3.2.1.3 Eeltöötlemine

Eeltöötlemise viis ja ulatus mõjutavad otseselt käärimisprotsessi ja sellega ka substraatide energeetilise potentsiaali ärakasutamist. Eeltöötlemise eesmärgiks on ühelt poolt täita seadusest tulenevaid hügieeni nõudeid ja teiselt poolt luua võimalikult soodsad tingimused mikroorganismidele kui metaani tootjatele. Substraatide ettevalmistusel on kanda terve protsessi optimeerimises kõige suurem osa. Sealjuures opereeritakse piiril, mis eraldab ala- ja ülekoormust biogaasi tootmisel.

#### Sorteerimine ja mehaaniliste lisandite (mittevajalike esemete) eemaldamine

Sorteerimine ja mehaaniliste lisandite eraldamine sõltub substraadi päritolust. Kivid, mis on kõige sagedamini ettetulev võrkeha, vajuvad enamasti eelhoidla põhja ja neid peab sealt aeg-ajalt eemaldama. Teised võrkehad eemaldatakse käsitsi substraadi vastuvõtul või protsessi söötmisel. Kõige suurem potentsiaal protsessi häirida on bioprügil.

#### Substraadi pastöriseerimine (hügieeniseerimine)

Et täita seadusest tulenevaid fütosanitaarseid nõudeid kriitiliste substraatide kohta, on enamasti vajalik eelnev termiline töötlemine integreerituna biogaasi tootmisesse. Eeltöötlemine tähendab substraadi hoidmist (kuumutamist) vähemalt 70°C juures ühe tunni jooksul.

Tabel 3-6: Eeltöötlemismahutite tunnused ja parameetrid

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruumala – kasutatakse kuni 50 m<sup>3</sup> mahutatavusega mahuteid</li> <li>• Küte – kas topeltseineline mahuti või sisemine küttekeha (siugtoru)</li> <li>• Aeg – on vaja vähemalt 1 tunni pikkust kuumutusaega, lisaks täitmine, tühjendamine</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuumutamiseks ja transportimiseks peab substraat olema vähemalt pumbatav</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automaatne registreerimissüsteem on ette kirjutatud hügieeninormide täitmiseks</li> <li>• Kuumutatud substraati ei tohiks otse käärituskambrisse juhtida, kuna kõrge temperatuur on mikroorganismidele kahjulik</li> <li>• Kuumutatud ja samast allikast kuumutamata substraat ei tohi kokku puutuda</li> <li>• Sõltub substraadist, kuid kindlasti tuleb arvestada liiva ja muude raskete ainete väljasetamisega</li> <li>• Rõhu tasandamine (alandamine) soojendamisel peab olema võimalik</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üheseinalised roostevabast metallist koos sisemise soojendusega või kaheseinalised seinasoojendusega või siis soojusvahetitega, mis asuvad mahutist eemal.</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Igal mahutil peaks olema vähemalt üks teenindusava</li> <li>• Iga installeeritud tehnilist seadet peab kindlasti hooldama, mahuti ise saab ilma hoolduseta hakkama</li> </ul>

Tavaliselt töödeldakse aineid termiliselt enne nende ainete kokkusegamist teiste substraatidega ja selleks, et energiat paremini ära kasutada. Nii saab ka energiat kokku hoida, kui pastöriseeritud mass segatakse muu kääritamisele suunatava massiga, mis tänu sellele samuti soojeneb ning kääritusprotsess käivitub hõlpsamalt ja väiksemate kadudega.

Termilist eeltötlust on võimalik läbi viia kuumutatavates roostevabast metallist mahutites (soojusvahetites). Tihti kasutatakse söötmistehnoloogias tuntud mahuteid. Töötlemise ajal jälgitakse ja dokumenteeritakse täituvust, temperatuuri ja rõhku. Protsessi temperatuur on kõrgem kääritusprotsessiks vajalikust temperatuurist. Kui pärast töötlemist läheb substraat kohe käärituskambrisse, siis on skeemi vaja ette näha ka jahuti (jahutit võib ka mitte vaja minna, kui kääritel puudub soojendus. Siis hoiab pastörisaatorist saabuv kõrgema temperatuuriga mass käärituskambris vajalikku temperatuuri). Tabelis 3-6 esitatakse eeltötlusmahutite parameetreid.

### Peenestamine (purustamine)

Substraadi peenestamine (purustamine) suurendab pinda bioloogiliseks lagunemiseks ja suureneb ka metaani tootmine. Kindlalt võib väita, et bioloogilised protsessid peenestatud substraadiga kiirenevad, aga mitte alati ei suurene tekkiva biogaasi kogus. Tekkiva metaani kogus sõltub viibeajast käärituskambris ja substraadi peenestusastmest ning nende vahelisest seosest. Kusjuures olulisem osa on õige tehnika valikul. Purustamist saab korraldada enne substraadi sisestamist hoidlasse. Sageli on sorteerimiseks ja mehaaniliste lisandite eemaldamiseks eraldi seadet vaja. Kõigi masinate käivitamiseks kasutatakse elektriajameid, kuid paljusid saab käivitada ka traktori jõuajamilt.



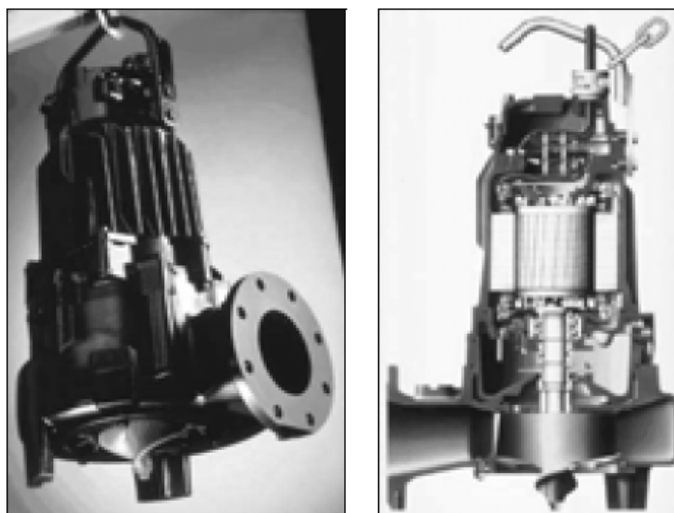
Joonis 3-16: Pastöriseerimine koos jahutamise, foto: TEWE Elektronik GmbH.



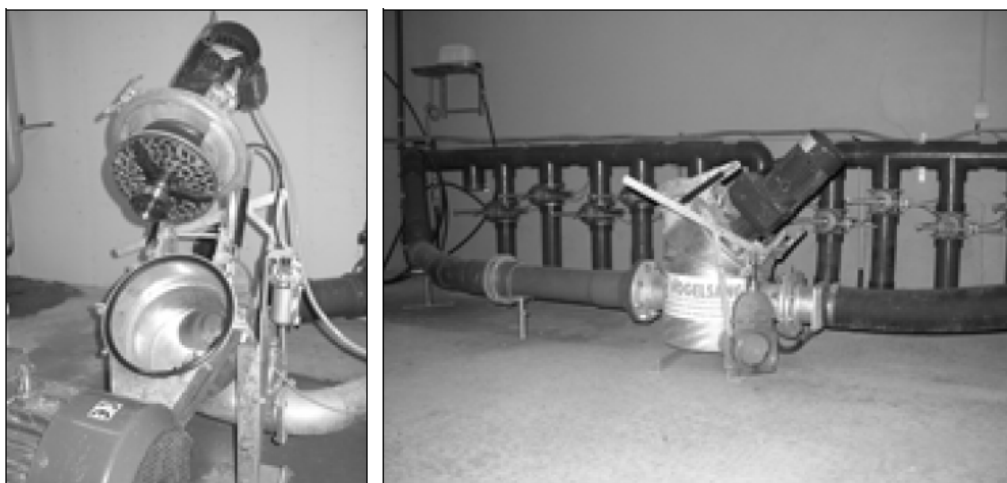
Joonis 3-17: Eelmahuti; fotod: Konrad Pumpe GmbH.

Tahkema aine lisamiseks paigaldatakse peenestusseadmed juba eelhoidla juurde. Üks näide on toodud joonisel 3-17 ja tahkete ainete otsese doseerimisega peenestusmasinate omadusi tutvustatakse kokkuvõtvalt tabelis 3-7.

Paljud pumbatavad substraadid vajavad ka enne pumpamist peenestamist, et nad ei kahjustaks seadmeid. Peenestamine toimub tihti eelhoidlates või siis torustikes enne pumpa või otse käärituskambrisse transportimisel. Erinevad peenestamise võimalused on ära toodud joonistel 3-18 ja 3-19 ja ka tabelites 3-8 kuni 3-11.



Joonis 3-18: Uputatavad pumbad koos peenestamis- ja edastamiseadmetega, foto ITT FLYGT Pumpen GmbH.



Joonis 3-19: Substraadi peenestamine transporditorustikus, foto Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH.

### **Eelsegamine ja homogeniseerimine**

Substraatide eelsegamine vee juurdelisamisega on märgkäirituse korral vajalik, et saada pumpamiseks kõlblik substraat ja selle juhtimine käärituskambrisse. Reeglina toimub see kogumismahutis natuke enne käärituskambrisse suunamist. Vedelikku, mida kasutatakse eelsegamisel, võetakse tavaliselt sealt, kust võimalik. Kasutatakse vedelsõnnikut, ka kääritatud, vedel substraat võib jälle minna uuele ringile, muud protsessis kasutatud vett või siis tavalist puhast vett. Kääritatud vedelikku on väga hea lisada, kuna see vähendab puhta vee tarbimist ja temas on juba vajalikud bakterite kultuurid uue substraadi nakatamiseks. See sobib hästi pärast hügieniseerimise etappi või siis survevoolu tehnoloogia juurde. Igal juhul tuleb jälgida käärimisvedeliku mitmekordsel kasutamisel, et ei tekiks toitainete ja soolade puudust, mis kahjustab protsessi bioloogiat. Puhta vee kasutamist peaks vältima lihtsalt selle kõrge maksumuse tõttu. Kui peaks kasutama puhastus- või loputusvedelikke, tuleb jälgida, et desinfitseerivad vahendid ei mõjutaks käärimisprotsessi, kuna need võivad mõjuda mikrobioloogilistele protsessidele hukatuslikult. Eelsegamisel kasutatavat pumpamistehnikat tutvustatakse vastavas peatükis.

Juurde lisatavate substraatide homogeensus on käärimisprotsessi stabiilsuse seisukohast hästi oluline. Kõik muutused vajavad kohe mikroorganismide poolt kohanemist ja see väljendub tekkiva gaasikoguse muutumises. Pumpatavate substraatide homogeniseerimine toimub kogumismahutis segistite abil.

Tabel 3-7: Tahkete ainete otsese doseerimisega seotud peenestusseadmete iseloomulikud suurused ja kasutusparameetrid

<b>Suurus</b>	• Kuni 50 t võib päevas purustada masinatega, mis turul saadaval
<b>Sobivus</b>	• Enamik rohtse biomassi silosid, sõnnik loomakasvatusest (ka linnusõnnik), vana leib, kõõgivili • Pikakiulistele (-tükilistele) materjalidele sobivad valtspurustid kõige paremini
<b>Eelised</b>	+ Suur läbilaskevõime + Lihtne täita tõstukiga või traktori kopaga + Võimalus paigaldada suur eelmahuti mehhaniseeritud etteandmiseks ja purustamiseks + Võimalik kasutada lihtsat tehnikat
<b>Miinused</b>	- Võimalik materjali võlvi moodustumine purustis (purusti tööelemendi kohal mahutis), mis on aga tihedalt seotud eelmahuti geomeetriaga - Avari puhul tuleb täielikult käsitsi tühjendada
<b>Erisused</b>	• Segamisvõllid vähendavad silla tekke võimalust purustusmehhanismidega
<b>Ehitusvormid</b>	• Söödasegistid, millele on paigaldatud tahkete substraadide lõikeaparaat • Eelmahutid, millel on lõiketeod purustamiseks ja transportimiseks • Eelmahutid rebivate labidatega purustamiseks ja transportimiseks • Eelmahutid freesiga purustamiseks ja transportimiseks
<b>Hooldus</b>	• Tootjate poolt pakutakse vähese hooldusvajadusega seadmeid ja hooldust pakuvad ka masinate müüjad • Hooldust on võimalik läbi viia täitmise vaheaegadel

Tabel 3-8: Peenestusseadmete (paigaldatakse enne eelmahutit) iseloomulikud suurused ja kasutusparameetrid

<b>Suurus</b>	• Tootlikkus nt 1 m <sup>3</sup> tunnis ja varustatud ühe kilovatise veskiga
<b>Sobivus</b>	• Kartulid koos kividega, peedid, vilja jäägid • Enamik silosid, sõnnik loomakasvatusest (ka linnusõnnik), vana leib, kõõgivili ja pikakiulised materjalid on valtspurustiga paremini purustatavad (söödamikserid)
<b>Eelised</b>	+ Avariide puhul lihtsamini käsitletavad + Saab ette purustada ja hoiustada väikeses koguses peenestatud materjali
<b>Miinused</b>	- Ummistuste korral on vaja masin käsitsi tühjendada - Masina käsitsi täitmine
<b>Erisused</b>	• Võimalik installeerida erineva suurusega eelmahuteid • Eelmahuti kõrgus peab sobima olemasoleva tehnikaga
<b>Ehitusvormid</b>	• Eraldiseisev tahkete ainete purusti (veski) • Võimalik kasutada lõikevate või rebivate tööorganitega söödamiksereid
<b>Hooldus</b>	• Hoolduse saab tootjaga kooskõlastada ja mõne substraadi puhul vajalik väikesi materjal koguseid ette teha hoolduse ajaks

Tabel 3-9: Purustamine eelmahutites

<b>Suurus</b>	• Võimsus üldises suurusjärgus 6 kW, segamistehnikal vahemikus 5-15 kW
<b>Sobivus</b>	• Tahke sõnnik, toidujäägid, roheline taimemass, põhk
<b>Eelised</b>	+ Otsene ainete lisamine kogumismahutisse + Ei ole vaja lisaseadmeid
<b>Miinused</b>	- Kuivaine sisalduse suurenemine käärituskambris võimalik ainult teatud piirini, sõltub substraadi pumbatavusest - Oht nii ujuvkihi tekkeks kui ka erinevate settekihtide tekkeks olenevalt substraadist
<b>Erisused</b>	• Otsesel substraadide lisamisel käärituskambrisse on võimalik purustid ka otse käärituskambrisse ehitada
<b>Ehitusvormid</b>	• Üldiselt on segistid labadega ja nende külge on lisatud lõikenoad massi peenestamiseks
<b>Hooldus</b>	• Olenevalt segisti tüübist on võimalik hooldust teostada väljaspool kogumismahutit või käärituskambrist

Tabel 3-10: Purustamine etteandetorustikus

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purusti tootlikkus kuni 150 m<sup>3</sup>/h 5% kuivainesisaldusega massi korral (võimsus 1,5 kuni 11 kW)</li> <li>• Agregaatide parameetrid tihedalt seotud kuivainesisaldusega, jõudlus väheneb tugevalt kuivaine sisalduse suurenedes</li> <li>• Rootorpumbad: peenestusvõimsus kuni 350m<sup>3</sup>/h</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peenesti: substraadid ei tohi sisaldada kive, metalli, aga muidu sobilik tahketele ja kiulisele substraatidele</li> <li>• Rootorpumbad on sobilikud suuremate kivideta massile</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Avariide puhul kerge agregaadini jõuda</li> <li>+ Ummistuste korral kerge avada ja puhastada</li> </ul>
<b>Miinused</b>	- Ainult teatud pumbatava kuivainesisalduseni kasutatav
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregaat peab olema eraldatav siibritega üldisest torustikust</li> <li>• Avariijuhtumiks on mõttekas paigaldada siibriga eraldatav avariitorustik</li> <li>• Osakeste suurus saavutatakse löike- või rebimistehnika valikuga</li> <li>• Peenestid võib varustada väävli eraldamiseks mõeldud vahenditega</li> <li>• Enne agregaati peaks olema üks raskete osakeste eemaldaja</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peenesti pöörlevate teradega enne löikevõrku</li> <li>• Rootorpumbad: tööorganid võivad olla nii löike kui rebivad</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iseseisvad agregaadid on lihtsad ja kergesti hooldatavad, uputatavad pumbad saab kiiresti substraadist välja võtta</li> <li>• Puhastusavad hõlbustavad tööd</li> </ul>

Tabel 3-11: Peenestid, mis moodustavad etteande tehnikaga ühise seadme

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etteande tootlikkus kuni 350m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Etteande kõrgus kuni 25m</li> <li>• Tarbitav võimsus 5,5–15 kW</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Pumbatavad substraadid, milles on pikakiulisi osiseid
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kerge ligipääs avariide korral</li> <li>+ Ummistumistel kerge avada ja hooldada</li> <li>+ Pole vaja lisatranspordivahendeid</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pumbatava substraadi kuivainesisaldus võib tõusta ainult teatud tasemeni</li> <li>- Ainult teatud osa laseb ennast purustada, purustuse osakaalu saab tõsta mitmekordse pumpamisega</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregaat peab olema siibriga eraldatav üldisest torustikust</li> <li>• Avariijuhtumiks on mõttekas paigaldada siibriga eraldatav avariitorustik</li> <li>• Osakeste suurus saavutatakse löike- või rebimistehnika valikuga</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Pöörlevad pumbad; ringlevad rattad koos löikeservadega kui kuivalt seisev pump või uputatav pump
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iseseisvad pumbad on kiiresti hooldatavad, uputatavad pumbad on kergesti substraadist eraldatavad</li> <li>• Hooldusavad vähendavad tühjalt seismist märgatavalt</li> </ul>

### 3.2.1.4 Substraadi transport ja sisestamine

Stabiilseks bioloogilise protsessi toimimiseks oleks ideaaljuhul vajalik pidev substraadi juurdevool. Kuna seda on aga praktikas peaaegu võimatu täita, siis on täna reeglina levinud pool-tsükliline täitmissüsteem. Substraadi lisamine toimub väikeste kogustena ühtlaselt kogu ööpäeva jooksul. Kõik transpordiga seotud agregaadid ei pea seega pidevalt töötama. Seda on väga oluline teada biogaasi ja selle sõlmede ehitamise planeerimisel.

Tehnika substraadi transportimiseks (edastamiseks) sõltub peamiselt sellest, millist võimsust on vaja saavutada edastamiseks. Eristatakse seadmeid tahketele ja pumbatavatele substraatidele.

Substraadi edastamisel käärituskambris peab jälgima ka substraadi temperatuuri. Suurte temperatuurierinevuste puhul, juurde lisatava ja käärituskambris oleva substraadi vahel (nt pärast pastöriseerimist või siis talvel) toimub ka koheselt käärimisprotsessi häirimine, mis võib viia biogaasi koguse vähenemiseni. Probleemi tehniliseks lahendamiseks on välja pakutud soojustusvahendeid ja koetavaid kogumismahuteid.

### Pumbatavate substraatide edastamine (transport)

Enamalt jaolt kasutatakse pumbatavate substraatide edastamiseks elektrimootoriga pumpasid. Neid saab kas täielikult või ka osaliselt automatiseerida või siis ka programmikelladega varustada või arvutiga juhtida. Paljudel juhtudel lahendatakse kogu substraadi transportimine biogaasijaamas ühe või kahe pumba abil pumbajaamas või juhtimiskeskuses. Vajaliku torustiku vedamine peab olema korraldatud nii, et kõik tootmises ettetulevad situatsioonid (nt ummistumine, täielik tühjendamine, avariid) on võimalik lahendada torustike ja siibrite avamise ja sulgemise teel. Ühe sellise pumbajaama näide on toodud joonisel 3-20.

Pumpade juures peab olema ka piisavalt ruumi hoolduseks ja remondiks. Vaatamata kasutatavatele ennetusabinõudele ja heale substraadi ettevalmistamisele, võivad pumbad siiski ummistuda, mida peab olema võimalik kiiresti ja lihtsalt likvideerida. Ka on pumpades palju kuluvaid detaile, mis vajavad väljavahetamist nii, et püsiks biogaasi katkematu tootmine. Seega peavad pumbad olema nii hoolduseks kui ka remondiks üldisest torustikust siibritega eraldatavad. Kasutatakse enamasti neid pumpasid, mis on kasutuses ka läga käitlemisel – tsentrifugaal- ja mahtpumbad.

Pumpade valikul on peamiseks kriteeriumiks nende tootlikkus ja substraadi kuivaine sisaldus. Pumpade kaitseks on tihti noad või muud peenestusaparaadid, võõrkehade eemaldaja enne pumba või kasutatakse pumpi, mis toimivad ka purustina.



Joonis 3-20: Pumbad ühes biogaasijaamas.

Foto: WELtec BioPower GmbH.

#### Tsentrifugaalpumbad

Tsentrifugaalpumpades pöörleb enamasti üks tööratas konstantsete pööretega. Pöörleva töörataga abiga antakse edastatavale massile kiirendus, tekib rõhk ja massi on võimalik edastada teatud kõrgusele. Tsentrifugaalpumbad on levinud läga transportimisel. Üks selline pump on ära toodud joonisel 3-19 ja tema iseloomustamiseks on andmed tabelis 3-12.

Tabel 3-12: Tsentrifugaalpumpade parameetrid

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rõhk kuni 20 bar</li><li>• Tootlikkus alates 2m<sup>3</sup>/min ja sealt ülespoole</li><li>• Mootori võimsus nt 3 kW tootlikkusel 2 m<sup>3</sup>/min, 15 kW tootlikkusel 6 m<sup>3</sup>/min; sõltub substraadist</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vedelatele substraatidele vähese kuivainesisaldusega, põhuosad on lubatud</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Lihtne, kompaktne ja robustne ehitus</li><li>+ Suur jõudlus</li><li>+ Liikuv kasutusvõimalus</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ei suuda imeda substraati sisse, vajalik šaht allpool substraadinivood</li><li>- Ei ole mõeldav substraadi doseerimiseks</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Edastusvõime sõltub oluliselt kõrgusest, kuhu pumbatakse</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Saadaval nii peenestiga, uputatud kui ka kuivas oleva mootoriga</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uputatava pumba puhul raskendatud, kuigi tühjendusava kaudu küllaltki kergesti teostatav</li><li>• Käärituskambris töötades peab ohutustehnika nõudeid järgima</li><li>• Tootmise katkestused pole oluliselt pikemad kui teiste pumpade kasutamisel</li></ul>

#### Ekstsentrump (krvivump, ekstsentrigitump)

Kõrge kuivaine sisaldusega ja nn paksude vedelike edastamiseks kasutatakse ekstsentrumpasid. Sellel pumbal on võimalik pöörete arvu muutmisega reguleerida pumbatava massi kulu. Sellega saavutatakse täpsem doseerimine ja parem pumba juhtimine. Nende rõhk on stabiilsem, võrreldes tsentrifugaalpumpadega ja nad hakkavad ise pumbatavat substraati imema. Transportitava massi kõrguste vahe ei ole siin enam nii oluline, kuna rõhk on stabiilsem. Ekstsentrumpi võib substraat küllaltki kergesti kahjustada, mistõttu on neid mõttekas varustada purustitega ja võõrkehade eemaldajatega, mis siis pumpasid kaitsevad.



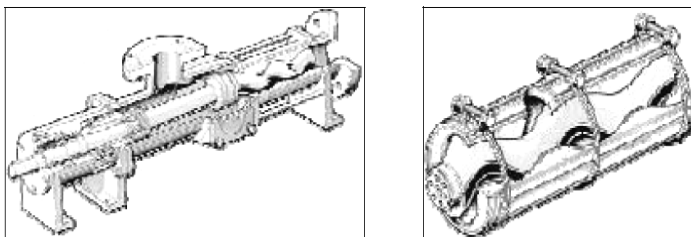
Ekstsentrumpumba näide on ära-toodud joonisel 3-21 ja iseloomustavad parameetrid on tabelis 3-13.

Tabel 3-13: Ekstsentrigitupumpade parameetrid (krvivipump)

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rõhk kuni 25 bar</li> <li>• Tootlikkus alates 0,055 m<sup>3</sup>/min ja sealt ülespoole</li> <li>• Mootori võimsus nt 7,5 kW tootlikkusel 0,5 m<sup>3</sup>/min ja 55 kW tootlikkusel 4 m<sup>3</sup>/min; sõltub substraadist</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Paksudele pumbatavatele substraatidele, milles on vähe võõrkehi
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Imeb ise substraadi ette</li> <li>+ Lihtne, robustne ehitus</li> <li>+ Sobiv substraadi doseerimiseks</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Väike tootlikkus</li> <li>- Tühjalt käimisele tundlik</li> <li>- Võõrkehadele tundlik (kivid, metalloosad)</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jõudlus oluliselt sõltuv viskoossusest, stabiilne jõudlus kõikuva rõhu puhul</li> <li>• Tühjalt käimise kaitse on paigaldatav</li> <li>• Tihti kasutatav reoveepuhastusjaamades</li> <li>• Kruvi valikuga saab vähendada sõltuvust jõudlusest ja substraadist ja seda saab pärast kulumist asendada</li> <li>• Ette näha rõhu väljalaskmise võimalus</li> <li>• Erinevate ehitusvormide korral võimalikud tehnika muutused</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Pump peaks kuivas seisma
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väga pikaealine</li> <li>• Ehitusest tulenevalt hooldussõbralik, on olemas ka töökehade (ekstsentriliste kruvide, rootorite) kiirvahetusüsteemid, mis teevad pumba töös väga lühikese katkestuse</li> </ul>

#### Rootorpumbad

Rootorpumbad on ovaalses kapslis kahe vastastikku pöörleva kahe- või neljatiivalise pöörleva kolviga pump. Kolvide vahel on väike aksiaalne ja radiaalne lõtk, kusjuures mõlemad kolvid puutuvad üksteise vastu nii, et nad sulgevad igas asendis vahe imi- ja survepoole ruumi vahel. Substraadi edastamisel tekivad imipoolel tühikud, mis täituvad substraadiga ja kolvide edasisel pöörlemisel kantakse substraat portsjonite kaupa survepoolele. Töötamis põhimõte on ära toodud joonisel 3-22 ja iseloomustavad omadused tabelis 3-14.

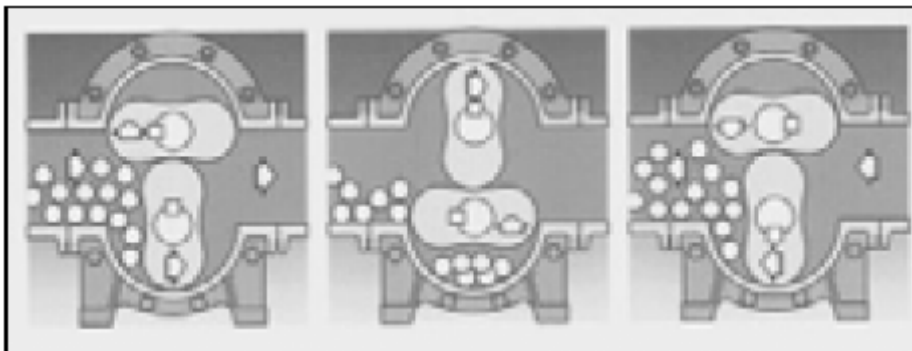


Joonis 3-21: Ekstsentrigitupump (vasakul), reguleeritav staator (paremal), foto: Armatec-FTS-Armaturen GmbH.

Tabel 3-14: Rootorpumpade parameetrid

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rõhk kuni 16 bar</li> <li>• Tootlikkus alates 0,1m<sup>3</sup>/min ülespoole</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Paksudele ja vedelatele pumbatavatele substraatidele
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Lihtne, robustne ehitus</li> <li>+ Imeb ise substraadi kuni 10m sügavuselt</li> <li>+ Doseerimiseks sobilik</li> <li>+ Võimeline edastama ka suuremaid võõrkehi nagu ekstsentrigitupumbad</li> <li>+ Tundlik tühjalt töötamisele</li> <li>+ Väike ruumivajadus</li> <li>+ Tehnika muutused seeriatootmises</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõrge pöörete arv kuni 1300 p/min on sobilik jõudluse optimeerimiseks</li> <li>• Reguleeritavad poolkausid optimeerivad jõudlust ja töö kiirust</li> <li>• Ette näha rõhu väljalaskmise võimalus</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Pump peaks kuivas seisma
<b>Hooldus</b>	• On vajalikud ainult lühiajalised seisakud hoolduseks, hooldussõbralik tänu oma ehitusele





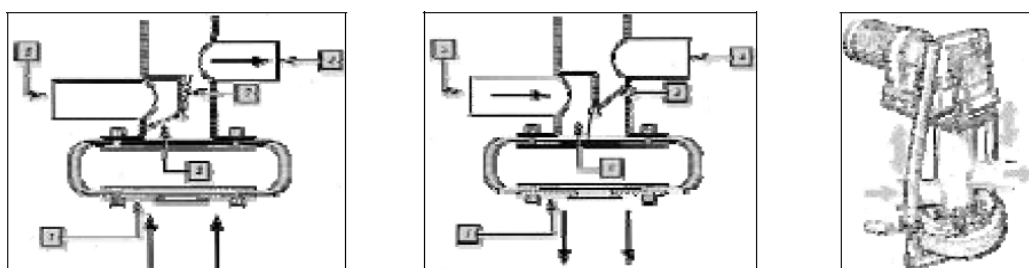
Joonis 3-22: Rootorpumba tööprintsip; joonis: Vogelsang GmbH.

### Lõõtspumbad

Lõõtspumpasid saab kasutada paksemate vedelike transportimiseks, milles on sees ka suuremaid võõrkehi. Pumba käivitab elektrimootor, mis liigutab ekstsentrikut ja kepsu. Keps liigutab kambri alumist äärikut üles ja alla. Tänu vahelduvale imemisele ja rõhu tekkimisele liiguvad ka klapiid automaatselt nii, et substraat imetakse sisse ja surutakse välja. Liikuma panemiseks on hooratas. Ei vaja palju jõudu ja väheste liikuvate osade pärast vajab ka vähest hooldust. Lõõts töötab kulumiseta. Kaks rõhku reguleerivat klappi töötavad tööseisaku ajal tagasilöögiklapina. Tabelis 3-15 on toodud peamised parameetrid.

Tabel 3-15: Lõõtspumpade parameetrid

<b>Suurus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rõhk kuni 5 bar</li> <li>• Tootlikkus alates 1 m<sup>3</sup>/min</li> <li>• Mootori vajalik võimsus nt 3 kW tootlikkusel 0,25 m<sup>3</sup>/min ja 55 kW tootlikkusel 4 m<sup>3</sup>/min; sõltub tugevalt substraadist</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Paksudele pumbatavatele substraatidele, milles on palju võõrkehi
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Imeb ise substraadi kuni 3 m sügavuselt</li> <li>+ Lihtne, robustne ehitus</li> <li>+ Sobiv substraadi doseerimiseks</li> <li>+ Kannatab suuremaid võõrkehi</li> <li>+ Pole tundlik tühjalt käimisele</li> </ul>
<b>Miinused</b>	- Väike tootlikkus
<b>Ehitusvormid</b>	• Pump peaks kuivas seisma
<b>Hooldus</b>	• Kuna sel on vähe liikuvaid osi, siis hooldust palju ei vaja



Joonis 3-23: Lõõtspumba tööprintsip; pildid: Armatec-FTS-Armaturen

### Hunnikus (kuhjas) ladustatavate substraatide edastamine

Märkääritamisel kasutatavaid substraate tuleb transportida ka enne eelmahtis kokkusegamist ja käärituskambrisse juhtimist. Enamalt jaolt tehakse seda olemasolevate tõstukitega. Kuid täisautomaatsetes biogaasijaamades tulevad mängu kraapsöötjad, kolb- ja kruvitransportöörid. Kraapsöötjad ja kolbtransportöörid on võimelised kõiki selliseid substraate edastama horisontaalselt või ka väikese kallakuga ülespoole. Kahjuks ei saa neid aga doseerimiseks kasutada. Need võimaldavad kasutada hästi suuri eelmahteid. Kruvitransportöörid on võimelised substraate igasse suunda edastama. Üheks eelduseks on aga suurte kivide puudumine ja eelpeenestatud substraat, et tigu seda edastada saaks. Kuhjas ladustatavate substraatide automaatsed edastussüsteemid on enamasti juba kokku ehitatud sisestamisseadmetega.

Kuivkäärimisel kasutatavate tahkete substraatide transpordiks kasutatakse tõstukeid.

### **Pumbatavate substraatide sisestamine**

Tavaliselt juhitakse pumbatavad substraadid maa sees olevasse eelmahutisse, kus vahel hoiustatakse ja homogeniseeritakse ka läga. Eelmahutid peaksid olema nii suured, et sinna mahuks 1–2 päevaks vajalik substraadikogus. Tihtilugu kasutatakse eelmahutiks just põllumajanduslikus ettevõttes olevaid lähahoidlaid.

Kui kaas-substraatidele pole loodud eraldi sisestamisvõimalust otse käärituskambrisse, siis lisatakse ka tahked substraadid eelmahutisse, peenestatakse, homogeniseeritakse ja kui vajalik, siis ka muudetakse seal pumbatavaks substraadiks. Selleks ongi eelmahutid varustatud segistitega ja kui vajalik, siis ka peenestitega (purustitega). Kui kasutatakse tahkeid substraate, milles on võõrkehi, siis on eelmahuti ka nende eraldamise kohaks. Eelmahuti saab võõrkehade eemaldamiseks varustada põhjakraabiga ja kruvitranspordõõriga. Õhusaaste (lõhn) vältimiseks peavad eelmahutid olema tihedalt suletavad. Sulgemine peaks olema selliselt lahendatud, et eelmahutit saaks kergesti tühendada. Tabelis 3-16 on ära toodud eelmahutite tähtsamad omadused. Joonisel 3-24 on fotod eelmahutitest.

*Tabel 3-16: Eelmahutite parameetrid*

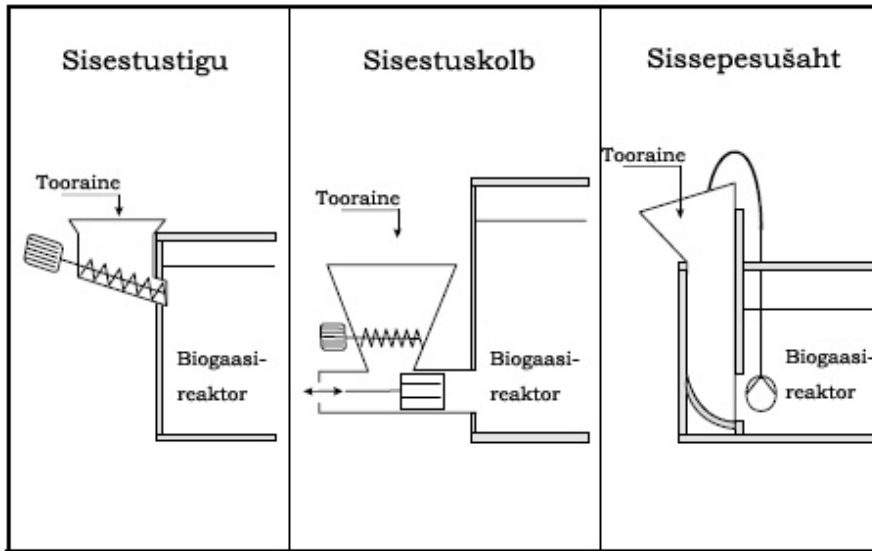
<b>Suurused</b>	– Veekindlad betoonist mahutid, tavaliselt raudbetoonist – Peaks mahutama 1-2 päeva substraadi vajaduse
<b>Sobivus</b>	– Pumbatavad ja segatavad substraadid – Kui on olemas purusti, siis sobivad ka tahked substraadid
<b>Erisused</b>	– Võimalik hea segamine ja homogeniseerimine – Võimalik põhjasette teke kividest – Peaks olema võimalus põhjakihi eemaldamiseks (pumbapesa, kogumissüvend) vastavate seadmetega – Eelmahuti peaks olema pealt suletud, et vähendada lõhna levikut – Tahkete ainete sisestamine võib viia ummistusteni, ujuvkihi või põhjakihi tekkeni
<b>Ehitusvormid</b>	– Silindrilised või nelinurksed maasisesed suletavad mahutid, mille täitmine on ka tõstukiga võimalik (kõrguse poolest) – Head oleksid käärituskambrist kõrgemal-seisvad mahutid, saaks osa täitmiseseadmeid ära jätta – Ringvoolu saab korraldada sama tehnikaga nagu käärituskambriski
<b>Hooldus</b>	– Kui puuduvad seadmed põhjakihi eemaldamiseks, tuleb seda aeg-ajalt käsitsi teha – Tehnikale sarnane hooldus üldiselt puudub



Joonis 3-24: Täitmiseks kasutatav kogumismahuti; fotod: Loick Bioenergie, ENR; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH.

### Tahkete substraatide sisestamine

Tahkete substraatide lisamine eelmahutisse ja sellega seonduvad probleemid teevad väga raskeks pideva söötmise ja söötmise automatiseerimise. Selle saavutamiseks on vaja palju lisatööd. Seetõttu lisatakse tahked ained enamasti otse käärituskambrisse. Lisaaineid saab ka sõltumata läga koostisest ja iseloomust kindlate vaheaegade järel otse käärituskambrisse lisada. Nii on võimalik tõsta kuivaine sisaldust käärituskambris ja ka gaasi väljatulekut suurendada. Joonisel 3-25 on skemaatiliselt ära toodud erinevad võimalused tahkete ainete lisamiseks.



Joonis 3-25: Tahkete substraatide lisamine, joonis FAL Braunschweig.

### Sisselaskešahtid

Sisselaskešahtid võimaldavad ka tahkete ainete suuremaid koguseid otse kopaga või tõstukiga käärituskambrisse viia. Tabel 3-17 annab ülevaate šahtidest.

Tabel 3-17: Sisselaskešahtide omadused

<b>Suurused</b>	•Ava suurus sõltub ainult kasutatava tõstuki tööorgani suurusest
<b>Sobivus</b>	•Kasutada saab substraati, mis on tõstukiga tõstetav
<b>Eelised</b>	+ Vähene ehituslik koormus + Vähene investeeringu ja jooksvate kulude vajadus
<b>Miinused</b>	- Laialdane lõhnade levik - Ei toimu doseerimist ja väike juurdelisamiste arv ööpäevas - Praktikas on tulnud ette ummistusi - Ei ole võimalik lisada eelsoojendatud substraate - Hapniku juurdevool sööteprotsessi käigus
<b>Erisused</b>	•Laadimiskõrgus peab sobima tõstuki kõrgusega •Kui puudub eelpeenest, on vaja kindlasti peenestit käärituskambrisse
<b>Ehitusvormid</b>	•Terasplekk, roostevaba konstruktsioon, mis võimaldab tahkeid aineid substraadi tasapinna alla viia. Järelepsu toimub käärituskambris oleva substraadiga ja tsentrifugaalpumpadega •Šahti on võimalik paigaldada segisteid
<b>Hooldus</b>	•Pole vajalik, ummistuste puhul tuleb käsitsi tühjendada •Jooksev hooldus raskendatud šahtis oleva substraadinivoo tõttu •Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid

### Kolbsöötjad (kolbtransportöörid)

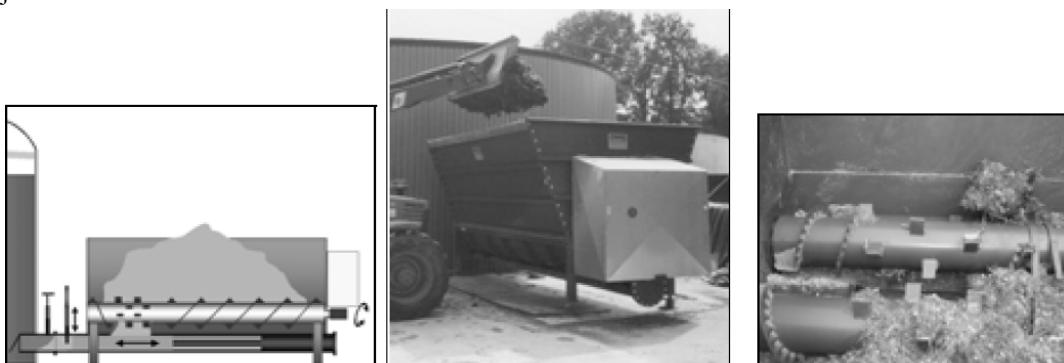
Hüdraulilise kolviga sisestamisel surutakse substraat käärituskambrisse spetsiaalse ava kaudu. Kui sisestusava on sügaval, siis sisestatav mass seguneb lägaga ja ennetab kihistumist. Selline süsteem on varustatud kahe vastastiku pöörleva segamisvaltsiga, mille abil toimub kaas-substraatide lisamine ja suurte taimeosade peenestamine. Tabelis 3-18 on iseloomustavad andmed ja joonisel 3-26 pildid kolbsöötjast.

Tabel 3-18: Kolbsöötja omadused

<b>Suurused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eelmahuti suurus kuni 15 m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõik sobivad kaas-substraadid koos kividega</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Lõhnava</li> <li>+ Väga hea doseerida</li> <li>+ Automatiseeritav</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oht kihistumiseks</li> <li>- Oht substraadi jäämiseks klompi, mis takistab mikroorganismide ligipääsu</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sisestamine peab olema vedelikutihe</li> <li>• Sisestuskõrgus ja seadmete suurus on võimalik olemasoleva täitetechnikaga kooskõlla viia</li> <li>• Sisestussilinder peab olema käärituskambri siibriga eraldatav</li> <li>• Sisestamine läbi nügade on mõttekas, et vältida klompide teket</li> <li>• Vajab ruumi kohe käärituskambri kõrval</li> <li>• Kaalu järgi doseerimine oleks võimalik vastava kaalu paigaldamisel</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hüdrosilinder elektrilise või hüdraulilise ajamiga</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seadmete liikuvate osade nõuetekohane hooldus</li> <li>• Eelmahutid tuleb avarii korral tavaliselt käsitsi tühjendada, seepärast pole suurtel eelmahutitel alati eeliseid</li> <li>• Kolvi hooldus on pikaajaline ja võimalik, et seotud kogu käärituskambri tühjendamisega</li> </ul>

#### Sisestamine söötevõttega (kruvisöötjaga)

Substraati ja kaas-substraate saab sisestada käärituskambri sobilikku sügavusse kruvisöötjatega. Nii on kindlustatud, et sisestuse ajal ei saa käärituskambri gaasid väljuda. Kõige lihtsamatel juhtudel on ainult üks kruvisöötja (söötevõtte), mis toimib ka dosaatorina. Kruvisöötja täitmiseks kasutatakse purustiga varustatud (või ilma) eelmahuteid. Andmed ja iseloomustus on tabelis 3-19 ja näitlik pilt joonisel 3-27.



Joonis 3-26: Tahkete substraatide sisestamine kolbsöötjaga; foto PlanET Energietechnik.

#### Biomassi peenestamine

Kaas-substraatide (nt peedid) peenestamine (töötlemine) pumbatavasse olekusse toimub tavaliselt juba peeditöötlemise tehastes. Seejuures jääb kuivaine sisalduseks ikkagi 18%. Vedeldatud ained hoiustatakse vastavates mahutites ja viiakse eelmahutitesse ning pumbatakse, kasutades eelpool kirjeldatud tehnoloogiaid, käärituskambri. Sel juhul ei saa läga kui põhisubstraadi kuivaine sisaldus käärituskambri liiga kõrgeks tõusta.

#### Tahkete ainete sisestamine kuivkääritisse

Kuivkäärituskatsetel on seni kasutatud väga lihtsat seadmestikku ja seepärast pole ka olulist automatiseerimist siiani ette nähtud. Nii käärituskambrite täitmine kui tühjendamine on toimunud põllumajanduslike tõstukitega.



Joonis 3-27: Materjali sisestamine.

Tabel 3-19: Kruvisöötjate (söötevtigude) omadused

<b>Suurused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eelmahuti suurus kuni 40 m<sup>3</sup>, söödamikser kuni 16 m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kõik sobivad kaas-substraadid koos kividega, mis on väiksemad kui teo raadius</li> <li>Eelmahuti koos segamiskäppadega ei võta vastu pikakiulisi substraate</li> <li>Söödamikseritega võimalik edastada ka väga põhulist sõnnikut ja suurpakke</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Transportimise suund pole oluline</li> <li>+ Automatiseeritav</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tigude kulumine</li> <li>- Võimalik materjalivõlvi teke eelmahutis teo kohal (materjal ei vaju alla), kui mahutis puuduvad segamislabad</li> <li>- Tundlik kividele</li> <li>- Söödamikseri kasutamisel vajatakse suurt võimsust</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On võimalik segamine käärituskambrist pärit lägaga</li> <li>• Gaasi väljumine teo kaudu tuleb välistada</li> <li>• Vastava kaalu olemasolul on võimalik kaalu järgi doseerimine</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eelmahutist tigu risti käärituskambrisse</li> <li>• Eelmahutist tigu horisontaalselt käärituskambrisse</li> <li>• Söötsüsteemid, et ületada käärituskambri kõrgust ja mass sisestada käärituskambrisse allpool vedelikupiiri</li> <li>• Eelmahutis valgub materjal raskusjõu abil teole</li> <li>• Eelmahuti sileda põranda ning avatud ja segamiskäppadega teoga</li> <li>• Eelmahutiks söödamikser põrandaketiga ning vertikaalsegistiga ja vastulõike mehhanismiga</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seadmetel palju liikuvaid osi ja palju hooldust</li> <li>• Eelmahuteid tuleb avarii korral tavaliselt käsitsi tühendada, mistõttu suurtel eelmahutitel puuduvad sageli eeliseid</li> <li>• Materjali kääritisse edastava söötevteto seiskamine ja hooldus on väga pikk protsess</li> </ul>

### Armatuur ja torustikud

Kasutatavad torustikud ja toruarmatuur peavad olema kemikaalide ja roostekindlad. Armatuuri elemendid, nagu sidurid, siibrid, tagasivooluklapid, puhastusavad ja manomeetrid, peavad olema kergesti kättesaadavad, teenindatavad ja roostevabad. Põllumajanduslike biogaasijaamade torustikele ja armatuuridele on ka omad ohutusnõuded. Nõuetes kirjeldatud materjalide omadustest, kaitseabinõudest, materjali tiheduskatsetustest kui miinimumnõuetest tuleb kinni pidada. Väga tähtis faktor, mis on ennast praktikas näidanud, on see, et kõikidest gaasitorudest peab olema võimalik kondensvett eemaldada. Torustik ehitada nii, et see oleks alati kaldega ja kerge hooldada. Kuna gaasitorustikus on väga madal rõhk, siis võib ka väike kogus kondensvett viia torustiku ummistuseni. Tähtsamad rajamistingimused on toodud tabelis 3-20.

Tabel 3-20: Armatuuri ja torustike rajamistingimused

<b>Tingimused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torustiku materjal PVC, HDPE, metall või roostevaba metall olenevalt rõhust ja voolavast ainest (substraadist)</li> <li>• Torustikud ei või olla sette tekkimise vältimiseks valumalmist</li> <li>• Substraaditorustikud peavad olema vähemalt 300 mm läbimõõduga</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamedad kiisiibrid tihendavad väga hästi, kuid on tundlikud võõrkehade suhtes</li> <li>• Lõikesiibrid lõikavad läbi kiulised ained</li> <li>• Kiiresti avanevate toruühenduste saamiseks peaks kasutama kuulkraane</li> <li>• Kõik torud ja armatuuri osad peavad olema roostevabad ja sooja substraadi korral ka isoleeritud</li> <li>• Torustike kalle peab olema 1–2% ja tühendusvõimalusega</li> <li>• Substraadi tagasijooks käärituskambrist eelmahutisse tuleb välistada torustiku ehitusega</li> <li>• Torustiku maa sisse panemisel kontrollida enne tema lekkekindlust</li> <li>• Tagasilöögiklappide lähedusse installeerida siibrid, kui klapid millegipärast ei peaks enam töötama</li> <li>• Kondensaati peab saama gaasitorustikust välja lasta</li> <li>• Pikkade ja nurgeliste torustike puhul arvestada ka survekadudega</li> </ul>



Joonis 3-28: Mahutitevaheline töölava koos ühendustorustiku ja ülerõhuventiiliga; foto: MT-Energie GmbH.



Joonis 3-29: Väävlialdaja; foto: Institut für Energetik und Umwelt GmbH.

### 3.2.2 Biogaasi tootmine

Biogaasi saadakse substraadi käärimisprotsessi tulemusena käärituskambris. Käärituskamber on biogaasi tehase süda. Käärituskambrid erinevad üksteisest materjali ja ehitusvormi poolest. Tihti on nad sarnased põllumajanduslikele lägahoidlatele, mis on varustatud spetsiifilise biogaasi tehnikaga. Käärituskambri ruumala määrab ära vajaliku substraadi koguse ja käärimisaja. Olenevalt kasutatavatest substraati-dest, valitud kääritusmeetodist ja kohalikest tingimustest saab käärituskambreid ehitada erinevalt. Olenemata sellest, peavad käärituskambrid täitma mõningaid põhi-tingimusi:

- olema gaasi- ja vedelikutihedad;
- omama soojendamise võimalust, et saavutada nõutav käärimistemperatuur;
- vältima temperatuurikõikumisi ja soojuskadusid;
- võimaldama segamist, et vältida temperatuuride erinevusi, ujuvkihi ja muude kihtide teket, toitainete ebahühtlast jaotumist ja vähest biogaasi teket ning tagama substraadi homogeniseerituse;
- võimaldama erinevate setete ja sademete eemaldamist;
- võimaldama tekkinud biogaasi väljajuhtimist;
- võimaldama käärituskambri proovide võtmist.



Joonis 3-30: Käärituskambri sisevaade; foto Biogas Nord GmbH.

Käärituskambri juurde peaksid kindlasti kuuluma ka vaateaknad koos nende puhastusvõimalusega, et saaks jälgida protsessi ja teha revisjoni võimalike hooldus- ja parandustööde kavandamiseks, nagu ka kaitseseadmed, üle- ja alarõhuventiilid ning muud ettenähtud ettevaatusabinõud.

Tehniliste ja ehituslike nõudmiste kõrval on nõuded ka kasutatavatele ehitusmaterjalidele. Peab vaatama, et käärituskambris kasutatavad materjalid vastaksid olemasoleva keskkonna nõuetele. Eriti problemaatiline on üleminekutsoon vedelikuruumi ja gaasiruumi vahel, viimases peaksid saama nt väävelvesiniku aurud ise välja kristalliseeruda. Siin tuleks ainult selliseid materjale kasutada, mis on nii happe- kui ka korrosioonikindlad.

Ehituseaegsete vigade ja sellega seotud tulevaste kahjustuste ja käärituskambri töös tekkida võivate häirete vältimiseks või ennetamiseks tuleks biogaasijaama planeerimine, projekteerimine ja ehitamine anda professionaalsetele, valdkonda tundvatele firmadele. Mahuti staatilise kindluse tagamisel peab tagama ka ehitusmaterjalide kaitsemeetmed (korrosioonikindluse). Reeglite rikkumise või valede konstruktsioonide ehitamise tulemusena võivad tekkida ennekõike suured rahalised kaotused käärituskambri ja kogu biogaasi tootmise rekonstrueerimisel.



### 3.2.2.1 Käärituskambrite ehituslikud lahendused

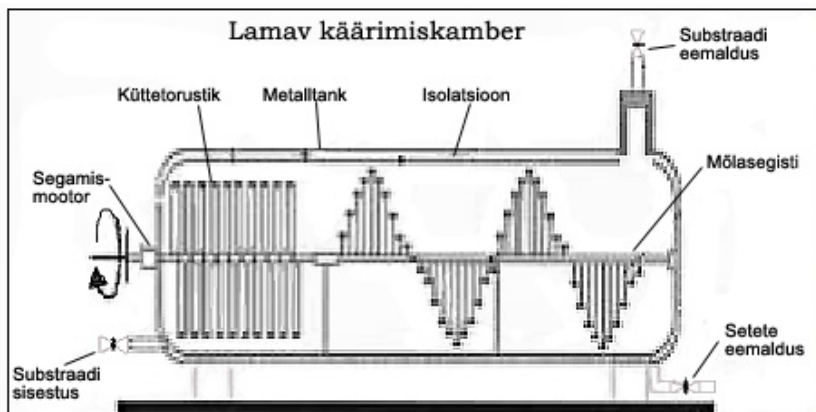
#### Märgkääritamine

Märgkääritamine toimub tavaliselt mingites mahutites (tankides). Põhimõtteliselt saab eristada horisontaalseid (lamavaid) ja vertikaalseid (püstiseid) mahuteid.

#### Horisontaalsed mahutid

Neil on silinderjas vorm ja nad on peaaegu alati piiratud mahuga, sest pole kohapeal valmistatud. Nende transport kasutuskohta on võimalik ainult teatud mahuti suuruseni. Tihti on nad ehitatud metallist ja just kasutuses väiksemates tootmisüksustes või siis ka eelmahutina või eelkäärituskambrina suuremate tootmisüksuste juures. Lamavaid käärituskambreid kasutatakse paralleelsetena, et töödelda ümber suuremat kogust substraati.

Kuna lebavad mahutid on reeglina pikemad kui kõrgemad, siis tuleb automaatselt käiku ka nn survevoolu termin. Substraat liigub aeglaselt sisestuse poolt väljutamise suunas ja tekib väike tropp, mis liigub läbi käärituskambri. See annab ka kindluse, et sisestatud substraat liiga kiiresti ei välju ja vajalik käärimisaeg suudetakse tagada. Iseloomustavad numbrid ja omadused on ära toodud tabelis 3-21 ja joonisel 3-31 esitatakse ühte lamavat käärituskambrist.



Joonis 3-31: Horisontaalne käärituskamber haspelsegistiga.

Tabel 3-21: Horisontaalset käärituskambrist iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid

<b>Suurus, materjal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Materjaliks mustmetall või roostevaba teras, aga võimalik ka raudbetoon</li><li>• Võimalik kuni 800 m<sup>3</sup> mahuga</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sobib kõigile substraaditüüpidele, mis sobivad ka seadmestikule</li></ul>
<b>Eelised</b>	+ Saab kasutada tootlikke, töökindlaid ja energiasäästlikke segisteid
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mahuti vajab suurt ruumi</li><li>- Suured soojuskadod, kuna on suur välispinna ja ruumala suhe</li><li>- Bakteritega nakatamine raskendatud või tuleb osa substraati uuele ringile saata</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vajalikud avad kõigile juurdekuuluvatele agregaatidele ja torustikele</li><li>• Ohutustehnika nõuab kaitseklappi (üleõhu ventiili) gaasiruumile</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Survevoolu reaktor ringikujulise või nelinurkse ristlõikega</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vaja vähemalt ühte hooldusava (kust inimene sisse mahub), mille kaudu saab avarii korral teenindada</li><li>• Töötamisel (hoolduse käigus) on vaja jälgida ohutusnõudeid</li></ul>

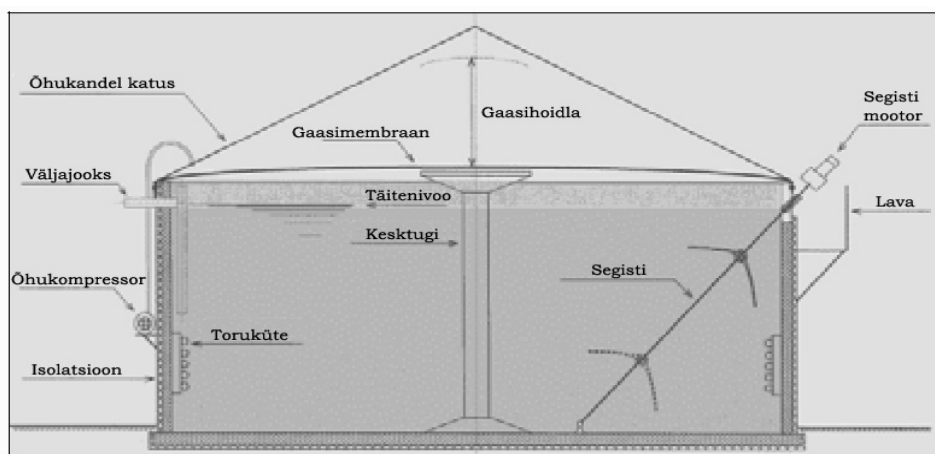
#### Vertikaalsed mahutid (püstmahutid)

Enamalt jaolt kasutatakse just seisvaid mahutid ümara vormiga, mis ehitatakse kohapeal valmis. Neid saab kasutada kui täielikult segatavaid või ka toppevoolu printsiibiga. Tabelis 3-22 on iseloomulikud omadused ja joonisel 3-32 skemaatiline pilt.



Tabel 3-22: Vertikaalset käärituskambrit iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid

<b>Suurus, materjal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materjaliks raudbetoon, mustmetall või roostevaba teras</li> <li>• Ruumala teoreetiliselt piirideta, kuni 30 000 m<sup>3</sup>, aga tavaliselt mitte üle 6 000 m<sup>3</sup>, kuna suuremates on raske segamist korraldada</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Sobib kõigile substraaditüüpidele, mis sobivad ka seadmestikule
<b>Eelised</b>	+ Väiksem välispinna ja ruumala suhe, mistõttu väiksemad soojuskaod
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Täieliku läbisegamise meetodi korral suur oht substraadi kiirele läbimisele</li> <li>- Võivad tekkida erinevad kihistumised</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaktor (käärituskamber) tuleb gaasitihedalt sulgeda</li> <li>• Läbimõtlemit vajab katusele õige kalde andmine lume mõju vähendamiseks</li> <li>• Ehitise vundament peab olema väga tugev vajumise vältimiseks</li> <li>• Vajalikud on avaused kõikidel torustikel ja agregaatidel</li> <li>• Põrand võib olla kaldega keskele või serva poole, et kergendada setete väljutamist</li> <li>• Ohutustehnika nõuab kaitseklapi (kaitseventiili ülerõhu vastu) installeerimist</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maa-alune liigutatava kattega, osaliselt maa-alune ja osaliselt maapealne või siis ainult maapealne</li> <li>• Gaasimembraaniks tugev betoonkatust, lisaks kas ilmastikukindla katusega või ilma</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaja vähemalt ühte hooldusava (kust inimene sisse mahub), mille kaudu saab avarii korral teenindada</li> <li>• Töötamisel (hoolduse käigus) on vaja jälgida ohutusnõudeid</li> </ul>



### Kuivkäärimine

Kuivkäärimise tehnilised lahendused on väga mitmekesised (peatükk 3.1.4.2). Sellepärast on tabelis 3-23 ära toodud iseloomulikud omadused ja suurused.

Tabel 3-23: Kuivkäärimisprotsessi- ja -seadmeid iseloomustavad suurused ja kasutusparameetrid

<b>Sobivus</b>	• Sobilik tahketele substraatidele
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Efekttiivne ruumi kasutus, kuna ruumis on kõrge kuivaine sisaldus</li> <li>+ Sellega seoses ka väikesed investeeringud ja väike ruumivajadus</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mittesegatavates kääritites gaasi väljatulek väheneb, kuna substraat vajub kokku</li> <li>- Oht erinevate tsoonide tekkeks, kus on liiga vähe või liiga palju niiskust</li> <li>- Oht tekkida happelistel tsoonidel, kus metaani ei teki</li> <li>- Kambrimeetodil ebahütlane gaasi teke</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaktor (kääriti) peab olema gaasitihe nii täitmisel kui tühjendamisel</li> <li>• Täitmine ja tühjendamine peaksid toimuma nii, et ei kahjustataks tihendeid ega muid käärituskambri olulisi osi</li> <li>• Ohutustehnika nõuab kaitseklappi gaasiruumile</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Vaata peatükk 3.1.4.2
<b>Hooldus</b>	• Töötamisel (hoolduse käigus) on vaja jälgida ohutusnõudeid

### 3.2.2.2 Käärituskambri konstruktsioon

Käärituskamber on enamasti ühemahutiline, soojustatud, soojendusvõimalusega ja varustatud segamis- ja kääritusjäägi väljutusseadmetega.

#### Mahuti konstruktsioon

Mahuteid ehitatakse kas mustast metallist, roostevabast terasest või raudbetoonist.

**Raudbetoon** muutub piisavalt gaasitihedaks, kui vesi sinna imendub, kusjuures tuleb arvestada, et vajalik veekogus peab substraati alles jääma. Betoonmahuti valatakse kas kohapeal või pannakse kokku valmisdetailidest. Betoonmahuteid võib kas osaliselt või täielikult maa sisse ehitada, kui maapind seda võimaldab. Mahuti kaane saab samuti betoonist valmistada ning maasisese variandi korral võib see olla kasutatav sõidutee osana. Gaasi peab hoiustama aga eraldiseisvas gaasihoidlas. Kui kasutada kääritit ka gaasihoidlana, peab paigaldama gaasitiheda kilekatuse. Teatud suurusega mahutite kaane keskosa peaks toetuma sambale mõrade tekkimise vältimiseks. Varem esines seda väga tihti, mis põhjustas ebetihedusi ja betooni korrosiooni ning halvemal juhul viis kaane sisselangemiseni. Seda tuleb ennetada professionaalse betoonivalu ja hea projekteerimisega. Tähtsamad nõuded betoonile esitatakse tabelis 3-24.



Joonis 3-33: Betoonist käärituskambri ehitus; foto Johann Wolf GmbH.

Tabel 3-24: Biogaasi käärituskambri betoonile esitatavad nõudmised

<b>Suurused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Käärituskambri betooni mark <math>\geq B 35</math>, eelmahutitel ja lägahoidlatel <math>\geq B 25</math></li><li>• Veetsemendi väärtus <math>\leq 0,5</math>; eelmahutitel ja lägahoidlatel <math>\leq 0,6</math></li><li>• Prao laiuse piiraja arvutuslikult <math>\leq 0,15</math> mm</li><li>• Betooni katvus seestpoolt vähemalt 4 cm</li><li>• Kuivamise aega pärast valamise lõppu tuleks kahekordistada</li></ul>
<b>Sobivus</b>	- Kõikidele käärituskambri tüüpidele (vertikaalne, horisontaalne)
<b>Eelised</b>	+ Käärituskamber ja vundament ühes tükis + Osaliselt saab kasutada valmis betoonelemente
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Võimalik ehitada ainult kevad-suvisel perioodil</li><li>• Pikem ehitusaeg, võrreldes metallmahutitega</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Põrandakütte korral peab arvestama tekkivate pingetega</li><li>• Peab olema tagatud gaasitihedus</li><li>• Tuleb ette näha täpsed vaateavade kohad</li><li>• Arvestada temperatuuri erinevustest tekkida võivate pingetega ja näha ette võimalused kahjustuste ennetamiseks</li><li>• Substraadiga mitte kokku puutuvad pinnad (gaasiruum) peavad olema korrosioonikindlad ja kaitstud hapete eest (nt kaetud epoksiidvaiguga)</li><li>• Järelevalve organisatsioonid võivad nõuda gaasilekke avastamise süsteemi</li><li>• Peab olema tagatud sulfaatide kindlus (HS tsement)</li><li>• Mahuti ehitusel arvestada asukohaga (staatika peab vältima mõranemist ja kahjustusi)</li></ul>

**Mustast ja roostevabast metallist** mahutid ehitatakse betoonist vundamendile, millega nad tihedalt seostatakse. Kasutust leiavad valtsplekktahvlid või kinnikruvitavad (needitavad) metallplaadid. Poltide paigalduskohad tuleb hiljem veel tihendada. Metallist kääritid ehitatakse alati maapealsed. Tavaliselt paigaldatakse katusele gaasikindel kile ja mahuti ülaosa kasutatakse ka gaasimahutina. Metallmahutitele esitatavad nõuded on esitatud tabelis 3-25 ja näited tuakse joonisel 3-34.

Tabel 3-25: Biogaasi käärituskambri metallile esitatavad nõudmised

<b>Suurused</b>	• Tsingitud/emaileeritud ehitusmetall St 37 või roostevaba teras V2A, korrodeerivas gaasiruumis V4A
<b>Sobivus</b>	- Kõik käärituskambrite ja mahutite horisontaalsed ja vertikaalsed lahendused
<b>Eelised</b>	+ Võimalik kiire ettevalmistustöö ja montaaž + Lihtne teha vaateavasid
<b>Miinused</b>	• Vundamendi ehitus, tihendite ja teiste ehitusdetailide paigaldus tehtav ainult soojal ajal • Segistitele vaja paigaldada lisa kinnituskohad
<b>Erisused</b>	• Substraadiga pidevalt mitte kokkupuutes olev osa (gaasiruum) peab olema väga hästi kaitstud korrosiooni eest • Peab olema tagatud vundamendi ja katuse gaasitihedus • Ametkonnad võivad nõuda lekke avastamise süsteemi • Ehituse käigus ei või mahuti ehitusdetailid saada mehhaanilisi vigastusi



Joonis 3-34: Metallist käärituskambri ehitus; foto Anlagen- und Apparatebau Lütke.

### Käärituskambri soojustamine

Käärituskamber tuleb isoleerida, et vähendada soojuse kadu ja vältida suuri temperatuuri kõikumisi. Selleks sobivad paljud turul pakutavad soojustusmaterjalid vastavalt vajalikele omadustele (võrdlus tabelis 3-26). Ülevaate parameetritest annab tabel 3-27. Soojustuseks ja kaitseks ilmastiku eest kaetakse see kas (trapets-)plekiga või puiduga.

Tabel 3-26: Isolatsioonimaterjalide iseloomustus

<b>Tunnussuurused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käärituskambrisine või maa-alune materjal: suletud pooridega materjalid nagu PU tugev vaht ja klaasvaht vähese niiskussisaldusega</li> <li>• Maapealne materjal: mineraalvill, mineraalkiust matid, tugeva vahumatid, mitmed kohapeal paigaldatavad vahud, polüsterool</li> <li>• Materjali tugevus: paksus tavaliselt 5–10 cm, alla 6 cm on aga mõju väike, praktikas usaldatakse rohkem kogemusi kui arvutusi, kirjanduse järgi kuni 20 cm</li> <li>• <math>\lambda</math>-väärtused on 0,03–0,05 W/(m·K)</li> <li>• Isolatsioonimaterjal peab maa sees kandma kogu täidetud mahuti raskust</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	Isoleerida võib nii seest kui väljast ja kumbki variant pole eelistatud
<b>Erisused</b>	Isolatsioonimaterjalid peavad olema närilistekindlad

Tabel 3-27: Isolatsioonimaterjale iseloomustavad suurused, näited

Isolatsioonimaterjal	Soojusjuhtivus, W/(m·K)	Kasutustüüp
Mineraalvaht $u$ 40–120 kg/ m <sup>3</sup>	0,03–0,04	WV, WL, W, WD
Perliit-isolatsioonimatid 150–210 kg/ m <sup>3</sup>	0,04–0,055	W, WD, WS
Polüsterool partikkelvaht EPS 15kg/ m <sup>3</sup> < toortihedus	0,03–0,04	W
Polüsterool partikkelvaht EPS 20kg/ m <sup>3</sup> < toortihedus	0,02–0,04	W, WD
Polüsterool ekstruudervaht XPS 25kg/ m <sup>3</sup> < toortihedus	0,03–0,04	WD, W
Polüuretaan kõvavaht PUR 30 kg/ m <sup>3</sup> < toortihedus	0,02–0,035	WD, W, WS
Klaasvaht	0,04–0,06	W, WD, WDS, WDH

Kasutustüübid: WV – peab vastu pidama tõmbe- ja löiketugevusele; WL, W – ei pea survet taluma; WD – peab survet taluma, WS – isolatsioonimaterjal eripiirkondade jaoks

### Käärituskambri soojendamine (kütmine)

Tõhusa käärimisprotsessi toimumiseks on vaja ühtlast temperatuuri. Tähtis ei ole mitte temperatuuri väärtuse hoidmine kümnendiktäpsusega, vaid seda tuleb hoida sobivas vahemikus ja vältida tuleks nii ajalisi kui ruumilisi temperatuurikõikumisi. Kui temperatuuri väärtused väljuvad etteantud piiridest, viib see käärimisprotsessi pidurdumiseni ja halvemal juhul isegi lakkamiseni. Temperatuuri kõikumistel on erinevaid põhjusi:

- Värske substraadi lisamine;
- Temperatuuri erinevus kihiti või tsooniti ebaühtlasest isolatsioonist, halvasti pandud; küttekehadedest ja halvast segamisest;
- Halb kütmine;
- Ekstreemtemperatuurid suvel ja talvel;
- Seadmete rikked.

Protsessi kulgemiseks vajaliku soojuste saamiseks ja soojuskadude korvamiseks on vaja substraati soojendada, mida saab teha välise või käärituskambrisese soojusvaheti abil, st soojendamise abil.

Käärituskambrisse **integreeritud küttekehaded** soojendavad substraati käärituskambris. Tabelis 3-28 antakse ülevaade kasutatavatest tehnoloogiatest ja joonisel 3-35 tuuakse näiteid.



Joonis 3-35: Metallist küttestorustik (vasakul), küttestorude montaaž seinale (keskel ja paremal); foto vasak ja keskmine: Biogas Nord GmbH; parem PlanET Energietechnik.

Tabel 3-28: Integreeritavate küttekehade iseloomustus

<b>Suurused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Materjaliks: roostevabast metallist käärituskambrisse pandud torustik, VPC või PE (kunstmaterjalid tuleb tihedalt panna, kuna juhivad halvasti soojust), betooni sisse pannakse tavalisi põrandakütte materjale</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Seinale kinnitatud küttekehaded – sobivad betoonseintele</li><li>• Põrandaküte – kõigile vertikaalsetele mahutitele</li><li>• Mahutis olev küttekeha – kõigile sobilik, aga enamasti vertikaalsetes mahutites</li><li>• Segistitega integreeritud küttekehaded – sobivad kõigile, aga enamasti horisontaalsetes mahutites</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Käärituskambris lehavatel ja segistitega seotutel on väga hea soojusvahetus</li><li>+ Põranda- ja seinaküte ei tekita substraadi kihistumist</li><li>+ Segistitega soojendamisel soojendatakse väga suurt hulka substraati</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Põrandaküte ei pruugi töötada, kui on tekkinud settekiht</li><li>- Käärituskambris olevad küttekehaded peavad olema teatud kaugusel seinast, et ei tekiks passiivseid kohti</li><li>- Põranda- ja seinaküte annavad väikese soojusvahetuse efekti</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Küttestorusid peab saama õhutada, selleks pestakse nad suunaga alt üles läbi</li><li>• Betooni pandud küttekehaded põhjustavad pingeid</li><li>• Vastavalt mahuti suurusele vaja panna kaks või enam küttesuugu</li><li>• Küttekehaded ei tohi segada teisi agregate (ka puhastamist)</li><li>• Termofiilsel protsessil ei ole sobilikud põrandas või seinas olevad küttekehaded</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Põrandaküte</li><li>• Seinast olevad küttekehaded (metallmahutitel võimalikud ka välised küttekehaded)</li><li>• Seinast eemal olevad küttekehaded</li><li>• Segamisagregaatidega integreeritud küttekehaded</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Küttekehi peab regulaarselt puhastama, et soojusvahetus toimiks</li><li>• Käärituskambris ja seinast olevad küttekehaded on väga halvasti või siis üldsegi mitte hooldatavad</li><li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li></ul>

### Välised soojusvahetid

Soojendavad substraati enne käärituskambris sisestamist nii, et sinna jõuab vajaliku temperatuurini soojendatud aine. Nii välditakse temperatuurikõikumisi käärituskambris. Välise soojusvaheti kasutamisel peab lisatavat ainet katkematult juhtima läbi soojusvaheti, vastasel juhul ei ole võimalik loobuda ühest lisa küttekehast käärituskambris, et seal saavutada ühtlase temperatuuri püsimist. Väliste soojusvahetite omadusi esitatakse tabelis 3-29.

Tabel 3-29: Väliste soojusvahetite omadused

<b>Suurused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Materjaliks on tavaliselt roostevaba metall</li><li>• Läbilaskevõime on sõltuv biogaasijaama suuruselt ja kütetemperatuurist</li><li>• Torude läbimõõt vastab üldise torustiku läbimõõdule</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõikidele käärituskambriga tüüpidele, kasutatakse tihti just survevoolu käärituskambrites</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Võimalik saada väga hea soojuse ülekand</li><li>+ Värske materjali lisamine ei vii temperatuurišokini käärituskambris</li><li>+ Kogu lisatav materjal läbib küttekeha (soojusvahetit)</li><li>+ Neid soojusvahetiteid saab hõlpsasti puhastada ja hooldada</li><li>+ Hea temperatuuripüsivus, ühtlane temperatuur</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kõigele vaatamata on ikkagi vaja ka teist küttekeha käärituskambris</li><li>- See on lisaagregaat ja sellega kaasneb lisamaksumus</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soojusvahetiteid peab saama õhutada, selleks lastakse materjalil alt üles läbi voolata</li><li>• Sobib hästi termofiilsele protsessile</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Spiraal- või toru-torus soojusvahetid</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hea ligipääs hooldamiseks</li></ul>

### Segamisagregaadid (segistid)

Käärituskambriga sisu peab hästi segama järgmistel põhjustel:

- Värsket ja vana substraati segatakse, et bakterid pääseksid kiiremini ligi värskele substraadile;
- Toitainete ja soojuse paremaks jagunemiseks kogu käärituskambriga mahus;
- Kihistumise vältimiseks;
- Biogaasi väljutamise parandamiseks substraadist.

Minimaalne segamine toimub ka värske substraadi lisamisel, termilisel konvektsioonil ja ülispoole kerkivate gaasimullide toimel. Selline passiivne segamine pole kahjuks piisav ja seega peab segamisprotsessi aktiivselt toetama.

Segamist saab teostada mehaaniliste segistitega käärituskambris, hüdrauliliselt väljaspool asetsevate pumpadega või pneumaatiliselt biogaasi pumpamisega läbi käärituskambriga. Viimased kaks on aga pigem teoreetilised võimalused, sest Saksamaal on kuni 90% segistitest mehaaniliste segistitega varustatud.

#### Mehaaniline segamine

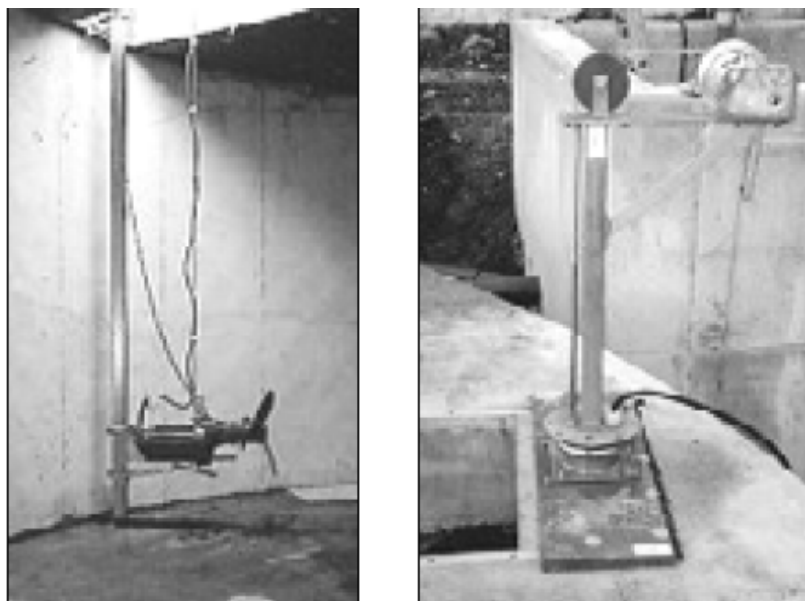
Mehaaniline segamine toimub segistitega, mis erinevad üksteisest kiiruse poolest:

- Kiiresti liikuvad ja intensiivsed;
- Keskmise kiirusega töötavad segistid;
- Aeglaselt töötavad segistid.

Segistid töötavad pidevalt või teatavate intervallide järel. Praktika on näidud, et igal biogaasijaamal leitakse oma empiirilisel optimaalne intervall vastavalt kohalikele tingimustele: substraadi omadused, mahuti suurus jne. Kui biogaasijaam tööle hakkab, siis algul segatakse kindluse mõttes poole sagedamini ja kauem, kuni töö käigus leitakse optimaalne intervall. Kasutusel on väga erinevaid segisteid.



Vertikaalsetes mahutites on tihti **kruvisegistid** uputatavate elektrimootoritega. Need peavad olema vastupidavad vee survele ja korrosioonikindlad ning nende jahutamine toimub ümbritsevas keskkonnas. Need on täielikult käärismahuti sees ja kahe- või kolmelabalise propelleriga. Paigaldatud on need nii, et väljastpoolt saab muuta sügavust ja töönurka. Iseloomustavaid suurusi tuuakse tabelis 3-30 ja joonisel 3-36.



Joonis 3-36: Uputatava mootoriga kruvisegisti ja juhtimissüsteem (paremal);  
fotod: Agrartechnik Lothar Becker.

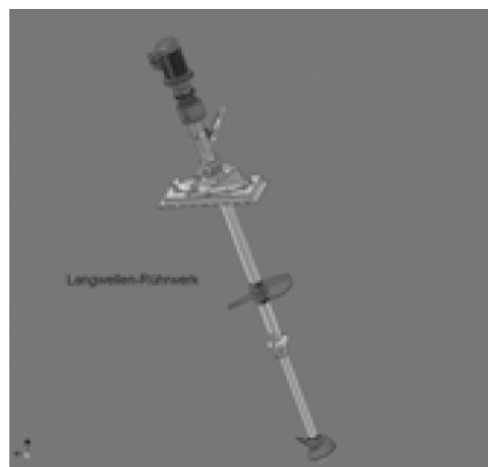
Tabel 3-30: Uputatavate kruvisegistite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiiresti töötavad segistid teatud intervalli tagant (300–1500 p/min)</li> <li>• Vajab 10 kW võimsust 1000 m<sup>3</sup> mahuti ruumala kohta, kui on tegemist suhteliselt vedela substraadiga, sõltub substraadi viskoossusest ja käärituskambriga geomeetriast.</li> <li>• Kasutatavad võimsused 0,25–35 kW</li> <li>• Töötamise aeg sõltub substraadist, töötab enamasti substraadi lisamise ajal</li> <li>• Suurematesse mahutitesse paigaldatakse sageli kaks segistit</li> <li>• Materjaliks roostevaba ja korrosioonikindel metall</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõikidele märgkäärimisprotsessidele ja enamasti vertikaalsetes mahutites</li> <li>• Mesofiilne käärimisprotsess</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Võimalik saada väga hea segamine</li> <li>+ Tänu heale reguleeritavusele võimalik segada igat piirkonda</li> <li>+ Kihistumine peaaegu välditav</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suur energiatarve, et kogu massi liikuma saada</li> <li>- Vajatakse suurt seadmete võimsust</li> <li>- Väga palju liikuvaid osi käärituskambris</li> <li>- Kuna segatakse teatud aja tagant, siis võimalik kihistumine, segisti tööle hakkamisel see kaob</li> <li>- Hoolduseks vaja jätta käärituskambrisse avad (avatavad luugid)</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segistite võllide viimine läbi mahuti lae nõuab gaasitiheduse tagamist</li> <li>• Intervallid määratavad kell-lülititega</li> <li>• Mootor peab täielikult veekindel olema</li> <li>• Mootori jahutamine peab toimuma kõrgetel käärimistemperatuuridel</li> <li>• Pakutakse ka automaatseid mootori juhtimisseadmeid</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uputatavad elektrimootorid koos propelleriga, ülekandeta või üheastmelise ülekandega</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osaliselt raske, kuna mootori peab hoolduseks käärituskambrist välja tõstma</li> <li>• Hoolduseks ja mootori vahetuseks peavad mahutis avad olema</li> <li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li> </ul>

Alternatiiviks on **pika teljega segisti**. Segamisvõll on viltu käärituskambrisse sisse ehitatud ja tema otsas on elektrimootor. Mootor on käärituskambrist väljas, aga võll viiakse läbi kaane või siis läbi seina käärituskambri ülemisse osasse. Võll võib olla ka veel põrandale kinnitatud ja on varustatud tavaliselt ühe või enama suure mõla kujulise segamisorganiga. Nende iseloomulikke omadusi esitatakse tabelis 3-31 ja joonisel 3-37.

Tabel 3-31: Pikateljeliste segistite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keskmise kiirusega töötavad (100–300 p/min) või aeglased (10–50 p/min) segistid, töötavad katkematult või intervalliga</li> <li>• Vajab 10 kW võimsust 1000 m<sup>3</sup> mahuti ruumala kohta, kui on tegemist suhteliselt vedela substraadiga, sõltub substraadi viskoossusest ja käärituskambri geometriast. Pidev materjali sisestus - väiksem energiatarve</li> <li>• Kasutatavad võimsused 2–30 kW</li> <li>• Tööaeg sõltub substraadist, töötab enamasti substraadi lisamise ajal</li> <li>• Suurmates mahutites on ka kaks segistit</li> <li>• Materjaliks roostevaba ja korrosioonikindel metall</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikidele märgkäärimisprotsessidele ja ainult vertikaalsetes mahutites
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Võimalik väga hea segamine</li> <li>+ Mahutis praktiliselt puuduvad liikuvad osad</li> <li>+ Hooldus väljaspool käärituskambrit</li> <li>+ Katkematu protsessi puhul kihistumine peaaegu välditav</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mittetäielik segunemine võib olla põhjenduseks paigaldada statsionaarne segisti</li> <li>- Kui see on nii, siis on võimalik ka kihistumine</li> <li>- Katkeva segamise puhul suur energiatarve, et massi jälle liikuma saada, selleks on vaja suurt agregaadivõimsust</li> <li>- Vahelduva segamisega võivad tekkida erinevad kihid</li> <li>- Väljas olevate mootoritega võib tekkida müraprobleeme</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segamisvõlli viimine läbi mahuti lae nõuab gaasitiheduse kindlustamist</li> <li>• Intervallid määratavad kell-lülititega</li> <li>• Segisti tööorganite kiirus on seadistatav</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väljas olev elektrimootor koos ülekandega ja võllil olevate segistitega või siis ka peenestitega</li> <li>• Võlli sisemine ots võib olla nii põrandas fikseeritud kui ka ujuv ja liigutatav</li> <li>• Võimalik ülekanne traktori jõuvõllilt</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mootori hooldus lihtne, kuna asub mahutist väljas ja ei nõua protsessi peatamist</li> <li>• Võlli ja labade remont raske, kuna need peab mahutist välja võtma</li> <li>• Hooldamiseks on mahutisse vaja ette näha avad</li> <li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li> </ul>



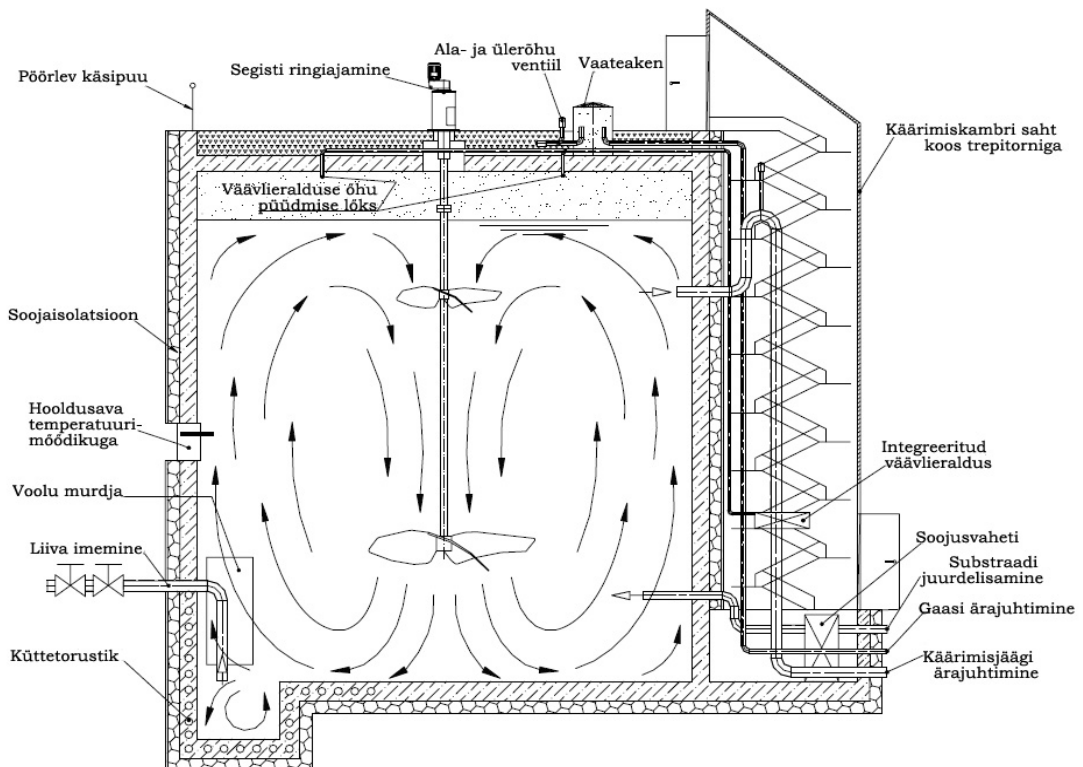
Joonis 3-37: Pikateljeline segisti koos ja ilma põrandale kinnitusega; foto; WELtec BioPower GmbH; graafika: Armatec FTS-Armaturen GmbH.



Üheks mehaanilise segamise võimaluseks on kasutada **aktsiaalset segistit**. Neid kasutatakse peamiselt pidevalt töötavate segistitena ja need on paigaldatud mahuti tsentrisse. Segamise kiirus on ülekandeseadme abil viidud väiksemaks ja elektrimootor asub väljaspool käärituskambrit. Eesmärk on saavutada pidev liikumine käärituskambris, mis on tsentris alla suunatud ja seinte ääres üles suunatud. Iseloomustamiseks on andmed tabelis 3-32 ja joonis 3-38.

Tabel 3-32: Aktsiaalsete segistite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeglaselt ja katkematult töötavad segistid</li> <li>• Vajab kuni 25 kW võimsust, kuni 22 m läbimõõduga segistid</li> <li>• Pöörete arv sõltub substraadist ja vajab kindlaks määramist biogaasijaama käivitusfaasis</li> <li>• Vajab 5,5 kW võimsust 3000 m<sup>3</sup> mahuti kohta, aga tihti ka rohkem</li> <li>• Materjaliks roostevaba ja korrosioonikindel metall</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõikidele märgkäärimisprotsessidele ja ainult suurtes vertikaalsetes mahutites</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Võimalik väga hea segamine</li> <li>+ Mahutis praktiliselt puuduvad liikuvad osad</li> <li>+ Hooldus väljaspool käärituskambrit kerge</li> <li>+ Õhukesed ujukihid substraadi pinnal suudetakse alla tõmmata</li> <li>+ Pideva töötamise tõttu on häiritud setete ladestumine põhja ja pinnale</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mittetäielik segunemine võib olla põhjenduseks paigaldada statsionaarne segisti</li> <li>- Kui tekib mingi kihistumine, siis just seinte lähedal</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segamistöõli viimine läbi mahuti lae nõuab gaasitiheduse kindlustamist</li> <li>• Segisti tööorganite kiirus on seadistatav</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väljas olev elektrimootor koos ülekandesüsteemiga ja võllil olevate propellerite või mõladega (labadega). Segistid kas ripuvad või seisavad</li> <li>• Võimalik ka ekstsentriline ehitus</li> <li>• Võllile võib vooluste tekitamiseks ka propelleri paigaldada</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mootori hooldus lihtne, kuna asub väljaspool mahutit ja ei nõua protsessi peatamist</li> <li>• Võlli ja propellerite remont raske, kuna need peab mahutist välja tõstma</li> <li>• Hooldamiseks on mahutisse vaja ette näha avad</li> <li>• Hoolduseks on vajalikud avaused</li> <li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li> </ul>



Joonis 3-38: Aktsiaalne segisti; skeem: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH.

### Mõla- ehk haspelsegisti

Horisontaalsed käärituskambrid, mis töötavad survevoolu põhimõttel, vajavad aeglaselt töötavaid segisteid. Horisontaalsele segamisvõllile on kinnitatud hasplid (mõlad), mis segavad materjali. Segamise efekt saadakse juba võlli ühe pöördega. Horisontaalne survevoolus kasutatakse ära ka uue substraadi lisamisel. Võllile ja segamismõladele on tihti ka küttekehad paigaldatud (joonis 3-31), mis samaaegselt substraati soojendavad. Need töötavad mitu korda päevas väikese pöörde arvu juures lühikese aja jooksul. Iseloomustamiseks on andmed tabelis 3-33. Põhimõtteliselt sobivad nad ka vertikaalsetesse käärituskambritesse, joonisel 3-39 on üks näide ja iseloomustamiseks ka tabel 3-34.



Joonis 3-39: Mõlasegisti (paremal);  
foto: PlanET Energietechnik.

Tabel 3-33: Horisontaalsete käärituskambrite mõla- ehk haspelsegistite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aeglaselt ja katkevvalt töötavad segistid</li><li>• Pöörde arv sõltub substraadist ja vajab täpsemat väljaselgitamist jaama käivitusfaasis</li><li>• Väga individuaalne võimsuse tarve, kuivkäärimisel veel palju suurem</li><li>• Materjaliks roostevaba ja korrosioonikindel metall</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõikidele kuiv- ja märgkäärimisprotsessidele ja ainult horisontaalsetes mahutites</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Võimalik väga hea segamine</li><li>+ Sellegipoolest lisasegamine survevoolusega</li><li>+ Hooldus väljaspool käärituskambrist kerge, ka traktori jõuvõll võimalik</li><li>+ Pideval töötamisel on häiritud setete ladestumine põhja ja pinnale</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hasplite hoolduseks peab käärituskambrist tühjendama, avariide puhul ja kuivkäärimisel vajalik käsitsi tühjendamine</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Segamisvõlli viimine läbi mahuti nõuab gaasitiheduse kindlustamist</li><li>• Segisti tööorganite kiirus on seadistatav</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Väljaspool olev elektrimootor koos ülekandesüsteemiga ja võllil olevate hasplitega, küttekeha annab mõladega integreerida</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mootori hooldus lihtne, kuna asub väljaspool mahutit ja ei nõua protsessi peatamist</li><li>• Võlli ja hasplite remont raske, kuna vajab mahuti tühjendamist</li><li>• Hoolduseks on vaja ette näha avad</li><li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li></ul>

Tabel 3-34: Vertikaalsete käärituskambrite mõla- ehk haspelsegistite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aeglaselt ja katkevvalt töötavad segistid</li><li>• Pöörde arv sõltub substraadist ja vajab täpsemat väljaselgitamist jaama käivitusfaasis</li><li>• Väga individuaalne võimsuse tarve, kuivkäärimisel veel palju suurem</li><li>• Materjaliks roostevaba ja korrosioonikindel metall</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõikidele märgkäärimisprotsessidele</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Hooldus väljaspool käärituskambrist kerge</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hasplite remondiks ja hoolduseks vaja mahuti tühjendada</li><li>- Mittetäielik segunemine võib olla põhjenduseks paigaldada statsionaarne segisti</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Segamisvõlli viimine läbi mahuti lae nõuab gaasitiheduse kindlustamist</li><li>• Segisti tööorganite kiirus on seadistatav</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Välimine elektrimootor koos ülekandesüsteemiga ja sisemine võll mõlajate tööorganitega (hasplitega)</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mootori hooldus lihtne, kuna on väljas mahutist ja ei nõua protsessi peatamist</li><li>• Võlli ja hasplite remont raskendatud, kuna vajab mahuti tühjendamist</li><li>• Hoolduseks on vaja ette näha avad</li><li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li></ul>

### *Pneumaatiline segamine*

Pneumaatilise segamise tehnoloogiat ja seadmeid pakuvad mõned masinaehitajad, aga üldjuhul ei oma selline tehnoloogia põllumajanduslikus biogaasi tootmises erilist rolli. Tekkinud biogaas juhitakse selle tehnoloogia korral käärituskambrisse tagasi põranda tasapinnal, et siis tõusvad gaasimullid ülespoole liikudes substraati segaksid.

Süsteemi eeliseks on see, et kõik vajalikud seadmed asuvad väljaspool käärituskambrit ja nende kulumine on väiksem. Korralikuks segamiseks pole aga selline tehnoloogia sobilik. Saab segada ainult väga vedelat substraati, millele õhuke vahutav pinnakiht tekib. Iseloomustamiseks esitatakse andmed tabelis 3-35.

*Tabel 3-35: Pneumaatiline segamine*

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vajab võimsust nt 15 kW 1400 m<sup>3</sup> mahuga käärituskambriga segamiseks</li><li>• Pakutavad võimsused algavad 0,5 kW ja on kasutatavad kõikides biogaasijaamades</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Väga vedelatele substraatidele vähese ujukihiga tekkega</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Võimalik hea läbisegamine</li><li>+ Hooldussõbralik, seadmestik asub väljaspool käärituskambrit</li><li>+ Välditakse settekihtide teket</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gaasi sissejuhtimistorude hoolduseks on vaja käärituskambrist tühjendada</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rõhu tekitamise aparaat (kompressor) peab sobima tekkiva gaasi koostisega</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ühtlaselt paigaldatud düüsid kogu käärituskambriga põranda ulatuses, või nn mammutpumba printsiip – biogaasi surumine käärituskambrisse vertikaalse toru kaudu</li><li>• Kombinatsioon hüdraulilisest või mehaanilisest segamisest on leidnud kasutamist</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hea hooldada, ei vaja protsessi seiskamist</li><li>• Biogaasi käärimismahutisse viiva torustiku hooldus ja remont raskendatud, vajab käärituskambriga tühjendamist</li><li>• Töötamisel on vaja jälgida ohutusnõudeid</li></ul>

### *Hüdrauliline segamine*

Hüdrauliliseks segamiseks surutakse substraat pumpade abil horisontaalselt või ka lisaks vertikaalselt läbi segamisdüüside käärituskambrisse. Substraadi imemine ja sissesurumine segab seda võimalikult hästi. Ka hüdraulilisel segamisel asuvad agregaadid väljaspool käärituskambrist ja seeläbi kuluvad vähem ja nende hooldamine on lihtsustatud. Settekihtide segamise seisukohast sobib selline meetod ainult väga vedelatele substraatidele, mille kihistumine on nagunii väiksem. Iseloomustamiseks esitatakse andmed tabelis 3-36.

*Tabel 3-36: Hüdrauliline segamine*

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vajavad suure võimsusega pumpi</li><li>• Pumpade võimsusest räägiti peatükis 3.2.1.4</li><li>• Materjal: nagu pumpadele vajalik</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Väga vedelate substraatide märgkääritamisele</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Hea segamine saavutatav käärituskambris reguleeritavate uputatavate tsentrifugaalpumpadega või ka ringvoolu torustiku abil. Saadakse ujukihiga ja settekihtide segamine</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Väliste pumpadega ja ilma reguleeritava survetorustikuta ei suudeta kihistumist vältida ja ka kihte lõhkuda</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vaata peatükist 3.2.1.4</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uputatavad tsentrifugaalpumpad või väljaspoole mahuti paigaldatud tsentrifugaal-, ekstsentrilised – ja rootorpumpad. Vaata peatükist 3.2.1.4</li><li>• Väliste pumpade puhul võimalik vahetada sissepumbatava substraadi asukohta</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vaata peatükist 3.2.1.4</li></ul>

### **Setete väljavedu käärituskambrist**

Märgkääritatava substraadi setted tekivad raskemate osakeste (nt liiva) vajumisel mahuti põhja. Raskeid osi proovitakse eemaldada võimalikult palju teha juba eelmahutites, siiski võib liiv olla väga tugevalt seotud orgaanilise ainega nt kanasõnnikuga. Eelmahutis settivad välja ainult suuremad

kivid ja muud võõrkehaded. Suurem osa liivast vabaneb alles käärituskambris lagunemisprotsessi käigus.

Mõned substraadid, nagu nt kana – ja seasõnnik, võivad settekihi tekkeprotsessi võimendada. Pikema aja jooksul võivad need kihid väga paksuks muutuda ja käärituskambriga mahtu vähendada. On ette tulnud, et käärituskambriga sisust kuni poole moodustab põhjasete. Sellised kihid võivad ka kivistuda nii, et neist saab lahti vaid mehaanilise eemaldamisega. Põhjakihi väljavedu on võimalik põranda puhastaja või väljavooluava kaudu. Liiga paksu kihi puhul võivad aga vastavate agregaatide dimensioonid väikeseks osutuda, mis tähendab käärituskambriga avamist ja settekihi eemaldamist käsitsi või masinatega. Üle 10 m kõrguste mahutite puhul võib piisavaks olla substraadi raskusjõud, mis aitab liiva, muda ja lubja välja suruda. Sette eemaldamise ja väljavedamise seadmeid iseloomustatakse tabelis 3-37.

*Tabel 3-37: Sette eemaldamise ja väljavedamise seadmed*

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vastavad seadmed on igale mahutile spetsiifilised</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Põranda puhastamine sobib ainult vertikaalsetes käärituskambrites</li> <li>• Horisontaalsetele ja vertikaalsetele käärituskambritele väljaveoteod (kruviväljutid)</li> <li>• Vertikaalsetele käärituskambritele koonilised põrandad</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esineb üksikute agregaatidel, mida hiljem iseloomustatakse</li> <li>• Kruviväljutid peavad olema toodud läbi käärituskambriga seina vedelikutihedalt või gaasitihedalt</li> <li>• Väljavedu võib põhjustada tugevat lõhnalevikut</li> <li>• Väljutiga peab olema ühendatud vann või muud sarnast</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väljaspool mahutit olevate mootoritega põrandakraabid</li> <li>• Kruviväljutid käärituskambriga põrandal</li> <li>• Kooniline põrand koos väljaveo pumbaga ja sette segamisega või väljapesu võimalusega</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statsionaarselt paigaldatud süsteemide hooldus on seotud käärituskambriga tühjendamisega, seepärast on eelistatavamad väljaspool mahutit olevad agregaadid või siis ka eemaldatavad agregaadid</li> <li>• Töötamisel on vaja järgida ohutusnõudeid</li> </ul>

### Vahulõks

Vastavalt kasutatavatele substraatidele või nende koostisele võib märgkäärimisel tekkida käärituskambrisse ka vahtu. See vaht võib ummistada gaasieraldussüsteemi, mistõttu tuleks gaasieraldustorustik võimalikult kõrgele paigutada. Paigaldatud vahupüüdjad peaksid samuti takistama vahu sattumist gaasitorustikku. Lisaks on võimalik käärituskambrisse paigaldada ka vahuandur, mis annab märku liigse vahu tekkimisest. Liigse vahu tekkimise korral on võimalik pritsida käärituskambrisse vahuvastaseid aineid (silikaatühendid, mis võivad aga kahjustada koostootmisjaama sisepõlemismootorit). Selline teguviis tähendab ka lisakulu (seadmed ja kemikaalid ja mootoririkete risk).

### Kääritatud substraadi väljutamine

Horisontaalsetest käärituskambrist juhatakse kääritatud substraat välja värske massi juurdeandmisega (värske mass surub käärinud massi välja). See korraldatakse kas ülejooksu või siis allpool substraadi nivood asetseva väljavoolutoru kaudu. Vertikaalsetel käärituskambritel on tavaliselt ülevoolutoru, mis töötab sifooni printsiibil, et vältida gaasi eraldumist selle toru kaudu. Kääritatud substraati võib ka pumpadega väljutada.

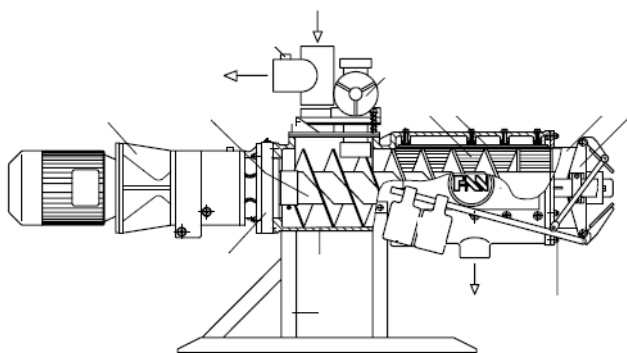
#### 3.2.2.3 Tahke ja vedela massi eraldamine

Kui suurendada tahkete substraatide osakaalu, peab täpsemalt silma peal hoidma vedela osa päritolul ja selle segamisel ning ette nägema kääritusjärgi ladustamiseks vajaliku ruumi (mahuti). Ladustamiseks mõeldud mahutid on enamasti lüüsi arvestatud ja nad ei suuda mahutada enam muud. Seepärast on vahel majanduslikult ja tehnoloogiliselt mõttekas tahke ja vedela osa eraldamine. Vedelat osa saab uuesti käärituskambrisse suunata või lämmastikväetisena põllule vedada ja tahket osa saab kompostida. Protsessivee mitmekordsel kasutamisel peab vaid jälgima, et soolade ja toitainete kontsentratsioon ei tõuseks bioloogiliste protsessidele ohtliku piirini.

Tahke ja vedela fraktsiooni eraldamiseks saab kasutada sõelaga presse, tsentrifuuge, tiguseparaatoreid. Separaatorite iseloomustamiseks on andmed tabelis 3-38 ja üks näide joonisel 3-40.

Tabel 3-38: Tiguseparaatori iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substraadid &lt;1% kuivainesisaldusega kuni <math>u</math> 20% kuivainesisalduseni</li> <li>• Produkt: üle 40% kuivaine sisaldusega</li> <li>• Võimsus 5,5 kW ja tootlikkus <math>u</math> 35 m<sup>3</sup>/h, kuivainesisaldus sisendis 5%...25%</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pumbatavatele substraatidele, mida kruvitransportöörid edastada suudavad</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisaseadmed (ostillaatorid) teevad vee eraldamise efektiivsemaks</li> <li>• Võimalik täisautomaatne töötamine</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iseseisev seade</li> <li>• Paigaldatakse pärast käärituskambrit, et tagasi suunata käärimisvedelikku eelmahutisse, et säästa segisteid lõpphoidlas.</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seade hästi ligipääsetav, võimalik hooldada protsessi seiskamata</li> </ul>



Joonis 3-40: Tiguseparaator; joonis: FAN separaator GmbH; foto: PlanET Energietechnik.

#### 3.2.2.4 Biogaasi tootmisprotsessi jälgimine ja juhtimine

Biogaasi tootmisprotsessi juhtimine ja jälgimine korraldatakse tsentraalselt, kuna kõik osad on omavahel tihedalt seotud ja protsess toimib komplekselt.

Sellepärast iseloomustatakse juhtimis- ja jälgimisseadmeid koos teiste agregaatidega peatükis 3.2.5.

#### 3.2.3 Kääritatud substraadi ladustamine (hoiustamine)

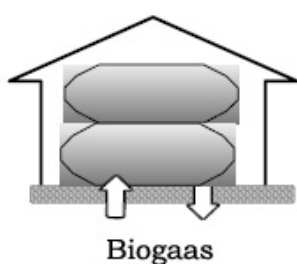
Kääritatud substraat satub käärituskambrist lägahoidlasse. Siin toimub selle mahajahutamine ja vaheladustamine, mis vastavalt ilmale võib kuni pool aastat (Eestis 8 kuud) aega võtta enne põllule laotamist. Ladustamiseks saab kasutada vanu lägahoidlaid või laguune või tuleb uued ehitada. Nende mahutatavus peab olema nii suur, et sobilikel ajavahemikel, vastavalt ilmastikule, on võimalik seda põllule laotada. Ehk siis, kui vastavat ilma pole, peab ta mahutitesse ära mahtuma. Enamasti kasutatakse silindrilisi lägahoidlaid. Tihtilugu loobutakse siin segamistehnikast, liiva eemaldamisest, soojustusest.

Kuna orgaaniline materjal igal juhul käärituskambris 100% ei lagune, siis toimub käärimine edasi ka lõpphoidlas. Kui hoidla kinni katta, siis saab ka siit veel gaasi koguda. Uute hoidlate ehitamise puhul on see nõutav. Sellisel juhul toimib jäägioidla ka järelkäärituskambrina. Selliselt on võimalik koguda 20% kogu tekkivast gaasi-kogusest. Lisaks suurenenud gaasikogusele nõrgeneb ka läga lõhn. Sellepärast on kaetud hoidlad eelistatamad.

#### 3.2.4 Tekkinud biogaasi hoiustamine

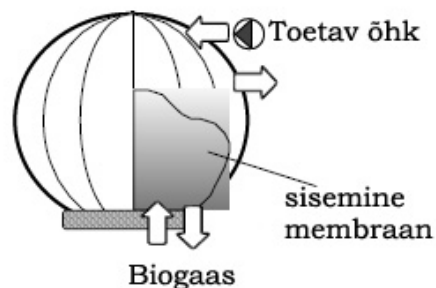
Biogaas tekkimine on ajas muutuv, aga tema kasutamine nõuab pidevalt ühtlast kogust. Sellepärast on vaja gaasi koguda vastavatesse hoidlatesse (vaheladustamine). Gaasihoidla peab olema gaasitihe, ilmastikukindel, survele vastupidav ning taluma ultraviolettkiirgust ja temperatuurikõikumisi.

Ohutusnõuded näevad ette ka üle- ja alarõhu ventiile, et vältida ohtliku surve tekkimist. Hoidla peaks mahutama vähemalt neljandiku päevasest gaasi toodangust. Sageli soovitatakse 2–3 päevatoodangu mahutavust. Eristatakse madal-, kesk- ja kõrgsurvehoidlaid.



Biogaas

### Kilepadi-hoidla



Biogaas

### Topeltmembraan-hoidla

Joonis 3-41: Kilehoidlad; joonised: Institut für Agrartechnik Bornium.

### Madalsurvehoidla

Kõige sagedamini kasutatakse madalsurve gaasihoidlad tööõhuga 0,05–0,5 mbar. Neid valmistatakse spetsiaalsest kilest. Kilehoidlad kasutatakse välihoidlatena, kuid neid võib paigutada ka suurematesse ruumidesse (sel juhul võtab kilemahuti gaasiga täitumisel ruumi sisekuju). Kilest võib olla valmistatud käärituskambril kohal olev kuppel. Väliskilehoidlad võivad välja näha kui kilest padjad või angaarid. Kilehoidla võib katta ka veel teise kattedkilega (joonis 3-41). Välisgaasihoidlate iseloomustavad suurused on tabelis 3-39. Kui käärituskambril või järelkäärituskambril kasutatakse gaasihoidlana, tulevad kasutusele nn kilekaaned. Kile kinnitatakse gaasitihedalt kääritusmahuti ülemise serva külge. Mahutisse ehitatakse kandev kinnituskoht, millele saab kile langeda, kui gaasi sees ei ole. Vastavalt gaasiga täituvusele võtab mahuti nn poolkera kuju. Tabelis 3-40 ja joonisel 3-42 tuuakse olulisemaid andmeid kilemahutite kohta.



Joonis 3-42: Gaasihoidla alumised konstruktsioonid (vasakul), kilekaanega käärituskambrid (paremal). Fotod: MT-Energie GmbH.

### Kesk- ja kõrgsurve hoidlad

Sellistes metallist hoidlates on gaasirõhk 5–250 ba. Kasutatakse ka spetsiaalseid pudelhoidlaid (gaasipudelite patarei). Nende rajamine on küllaltki tõõmahukas ja kallis. Kesksurvehoidlates on 10-baarise rõhu saavutamiseks vajalik erivõimsus 0,22 kW/m<sup>3</sup> ja kõrgsurve hoidlates on vajalik erivõimsus 0,31 kW/m<sup>3</sup> 200-300 baarise rõhu saavutamiseks. Nende keerukuse ja kalliduse tõttu ei kasutata neid üldse põllumajanduslikes biogaasi tootmisüksustes.



Tabel 3-39: Välisgaasihoidlate iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turul pakutava gaasihoidla suurus on kuni 2000 m<sup>3</sup></li> <li>• Ülerõhk 0–100 mbar</li> <li>• Kile läbilaskvus: peab arvestama 1–5% gaasi kaoga päevas</li> <li>• Materjal: PVC (mitte pika elueaga), butüülkautšuk, polüetüleen-polüpropüleeni segu</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikidele biogaasijaamadel
<b>Eelised</b>	+ Tekkiva metaani kontsentratsiooni saab mõõta käärituskambri gaasiruumis (suhteliselt väike ruum ja ühtlane gaasi koostis), see näitab mikroorganismide aktiivsust.
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Võib vajada lisa ruumi</li> <li>- Võib vajada lisa ehitist</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kui mahutile (kuplile) panna peale lisaraskusi, saab tekitada ka gaasi sisepõlemismootoris suunamiseks vajaliku rõhu (osa soojuse ja elektri koostootmisseadmest)</li> <li>• Kui hoidla paigaldada eraldi ehitisse, on kergem jälgida õhuvahetust, et vältida plahvatusohtlike gaasisegude teket</li> <li>• Sõltuvalt hoidla täituvusest saab mahtu reguleerida mootori koormusega</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaba ja fikseeritud kilepadi</li> <li>• Hoonesisene kilepadi eraldi ehitises või tankil</li> <li>• Kilepadi vahelael, ulatub üle käärituskambri</li> <li>• Kilekott rippumas tühjas, kõrvalolevas ehitises</li> <li>• Kilehoidla kandva õhkkatuse all</li> </ul>

Tabel 3-40: Kilehoidlate iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turul pakutava gaasihoidla suurus kuni 4000 m<sup>3</sup></li> <li>• Ülerõhk 5–100 mbar</li> <li>• Kile läbilaskvus: peab arvestama 1–5% gaasikaoga päevas</li> <li>• Materjal: butüülkautšuk, polüetüleen-polüpropüleeni segu, EPDM-kautšuk (<i>ethylen-prophylen-dien-copolymer</i>)</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikidele vertikaalse käärituskambri ja järelkäärituskambri biogaasijaamadele, võimalikult suure läbimõõduga
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ei vaja lisa hoonet</li> <li>+ Ei vaja lisa ruumi</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suure gaasiruumi tõttu (ebahütlane koostis) ei saa mõõta metaani kontsentratsiooni ja sellega mikroorganismide aktiivsust</li> <li>- Ilma lisakatuseeta jääb soojusisolatsioon ebapiisavaks</li> <li>- Ilma lisakatuseeta tuule- ja lumetundlik</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kahekordse kilega on soojusisolatsiooni paigaldamine võimalik. Kahe kile vahele pumbatakse õhk (kandev õhkkatus)</li> <li>• Segisteid ei saa kaanele ehitada</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilekatuse üle käärituskambri (kilekaan)</li> <li>• Gaasipidav kile teise kile all, kandev õhkkatus</li> <li>• Kile tugeva kaane all, käärituskamber on ehitatud kõrgemaks</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	• Üldiselt hooldusvaba

### Küünalpõleti (hädaabi põleti)

Sellisteks juhtudeks, kui biogaas ei mahu enam hoidlasse, on vaja hooldada sisepõlemismootorit või gaasi liiga halva kvaliteedi tõttu peab selle põletama keskkonnale kahju tekitamata. Saksamaa erinevates liidumaades on erinevad määrused biogaasi kasutamiseks. Kui tekkiva gaasi ülejääk on üle 20 m<sup>3</sup>/h, nähakse alternatiivina ette teine väiksem mootor (võib paigaldada ka näiteks 2 väiksemat ühe suure asemel). Kui aga paigaldatakse küünalpõleti, on kindel, et suudetakse tõestada gaasi alternatiivset kasutamist. Viimast võidakse ametkondade poolt nõuda. Tabelis 3-41 ja joonisel 3-43 on küünalpõleti iseloomustus.



Tabel 3-41: Küünalpõleti iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik põletada kuni 1000 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Põlemistemperatuur 800–1000 °C</li> <li>• Materjal: must- või roostevaba metall</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõikidele biogaasijaamadele</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik lahtine või ka peidetud põletamine</li> <li>• Isoleeritud põlemiskambriga vajalik õhu juurdepääs vastavalt tehnilistele andmetele – ei ole ette kirjutatud</li> <li>• Loomuliku tõmbega või juhitud ventilaatoriga</li> <li>• Ohutusnõudeid tuleb jälgida, ennekõike hoonete kaugust põletist</li> <li>• Vajalik suurendada gaasi rõhku enne põleti düüsi.</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üksikseade koos väikese vundamendiga, käsi- või automaatjuhtimisega</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üldiselt hooldusvaba</li> </ul>



Joonis 3-43: Biogaasijaama küünalpõleti, foto: Haase Umwelttechnik AG.

### 3.2.5 Protsessi jälgimine ja juhtimine

Peaks kujunema reegliks, et biogaasijaama planeeringu ja projekti teeks vastav firma ja eriala spetsialistid ning biogaasijaama ehitaja jääks seda ka hooldama. Optimaalsed käärimistingimused ja kogu protsessi kulgemise parameetrid määratakse jaama laboris (või tehnoloogia müünud ettevõtte laboris), mis kindlustab maksimaalse biogaasi toodangu ja vähendab häirete ja avariide tekkimise riske (nt suudetakse ennetada protsessi seiskumist).

Protsessi efektiivseks juhtimiseks, reguleerimiseks ja kontrollimiseks on vaja jälgida kindlaid käärimisprotsessi parameetreid. Järgnevast loetelust nelja esimese väärtusi peab registreerima iga päev:

1. substraadi kogus ja nimetus
2. protsessi temperatuur (temperatuur käärituskambris)
3. pH – väärtus
4. biogaasi kogus ja koostis
5. lühikese ahelalised rasvhapped
6. mahuti täituvus

Käärimisprotsessi pidev jälgimine ja eeltoodud suuruste väärtuste protokollimine võimaldab tehnoloogiat arendada ja standardiseerida. Protsessi parameetrite jälgimine ja registreerimine on vajalik ka stabiilselt töötava protsessi korral, et õigeaegselt märgata kõikumisi, häireid ja normaalseid näitajaid ära tunda. Ainult nii on võimalik õigeaegne sekkumine käärimisprotsessi ja seda vajadusel korrigeerida. Arvutipõhise juhtimise korral saab arvutis vastavate programmide abil süsteemi tööparameetreid jälgida ja analüüsida. Automaatse järelevalve mõte on kõikide agregaatide üheaegne kontrollimine. Automaatse juhtimise juures on võimalik andmeid edastada Interneti kaudu ka oma arvutist kaugemale (nt seadmeid ja tehnoloogiat tarninud või jaama ehitanud firmasse). Biogaasi tootmine läheb üha enam automatiseerimise suunas (joonis 3-44). Tavaline on järgmiste biogaasijaama protsesside, seadmete ja sõlmede automaatjuhtimine:

- Substraadi lisamine
- Steriliseerimine (substraadi pastöriseerimine)
- Käärituskambri soojendamine
- Segistid
- Setete kõrvaldamine
- Substraadi transport kogu protsessi käigus



Joonis 3-44: Jaama juhtimine läbi arvuti. Foto: Agrartechnik Lothar Becker.

- Tahke ja vedela massi eraldamine
- Väävli eraldamine
- Biogaasi põletamine (kui on soojuse ja elektri koostootmiseseade, siis ka selle töö juhtimine)

Automatiseerimine algab lihtsate aegreleede kasutamisest ja ulatub kuni arvuti toetusega visualiseeritud kaugjalgimissüsteemideni. Tootmise juhtimine toimub individuaalselt ja on igale biogaasijaamale eraldi projekteeritud. Joonisel 3-45 on mõned pildid protsessi visualiseerimisest ja mõõdetavate suuruste väärtustest. Praktikast on mõõtmis- ja reguleerimisseadmed küllaltki lihtsad just põllumajanduslikes biogaasijaamades. Siit võib teha järelduse, et vaevalt enam odavamaid, lihtsamaid ja vähemat hooldust nõudvaid biogaasijaamade agregate turul on.



Joonis 3-45: Protsessi visualiseerimine ja keskne mõõteandmete salvestamise seade. Fotod: Awite Bioenergie GbR..

#### **Pumbatavate substraatide koguste mõõtmine (vooluhulkade mõõtmine)**

Pumbatavate substraatide koguseid saab mõõta voolu kulumõõturiga (sarnane veekulumõõturiga). Kuna seda tüüpi seadmed on tundlikud saastumise suhtes, tuleks kasutada mittekontaktseid mõõtureid nagu induktiivkulumõõtur. Kasutust on leidnud ka ultrahelil ja soojusjuhtivusel töötavad mõõturid. Mõõdetavaid suurusi iseloomustatakse tabelis 3-42.

#### **Tahked lisandid**

Põhisubstraadile juurde lisatavate tahkete ainete (silo, biolagunevad jäätmed jne) kaalumiseks peavad olema vastavad võimalused. Siis on võimalik neid vastavalt doseerida. Iseloomustamiseks tabel 3-43.

Tabel 3-42: Substraadi koguse mõõtmine

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõikides tootmisüksustes vooluhulkade mõõtmiseks</li> <li>• Korrosioonikindluse eesmärgil tehtud roostevabast metallist</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikidele pumbatavatele substraatidele
<b>Erisused</b>	• Ilma mehaaniliste osadeta ja ei sega läbivoolu. Sellegipoolest täpsed mõõtmistulemused
<b>Ehitusvormid</b>	• Torustikesse integreeritavad sensorid
<b>Hooldus</b>	• Väga lihtne väljastpoolt hooldada ilma vooluse kulgemist segamata

Tabel 3-43: Tahkete lisandite mõõtmine

<b>Suurused, omadused</b>	• Surveandurid sobivad kõikidele kaaluklassidele, võimalik paigaldada kõigile tuntud biogaasijaamade eelmahtutitele
<b>Sobivus</b>	• Kõik tahked substraadid, mida agregaatidega edastatakse ja mis ei pea olema otseselt käärituskambriga seotud
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaalumisel peab alati olema mingi lüli vabalt kõikuv (nt nagu kaalukauss), survesensorid ei tohi olla määrduvad</li> <li>• Käärituskambriga täitmise ajal ei või substraate eelmahtutisse juurde lisada</li> <li>• Tõstukil olevad kaalumismehhanismid ei võimalda automaatset andmete edastamist protsessijuhtimisseadmetesse</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rõhuanuritega varustatud eelmahtutid tahkete ainete lisamiseks</li> <li>• Kaaludega tõstukid</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	• Väljastpoolt teostatav, seotud väikeste tööseisakutega

### Käärimisvahuti täituvus

Käärimisvahutis kääriava substraadi nivoo mõõtmiseks kasutatavad süsteemid, mis registreerivad staatilist rõhku vahuti põrandal, kasutatavad ultraheli või radarit nivoo mõõtmiseks. Iseloomustamiseks on toodud tabel 3-44.

Tabel 3-44: Käärituskambri täituvuse mõõtmisvõimalused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kuni 10 cm kõrguse vedelikusamba hüdrostaatilist survet saab mõõta 1 cm täpsusega kõikide tuntud käärituskambrite kõrguse juures</li><li>• Vedelikupeegli mõõtmist käärituskambri laest on võimalik teha alla 1cm täpsusega kõikide kõrguste juures</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõikidele käärituskambri tüüpidele märgkääritamise korral</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gaasiruumis olevad andurid võivad korrodeeruda ja määrduda, mis toob kaasa mõõtmisvead ja anduri rikkumise</li><li>• Käärituskambris olevaid sensoreid on halb hooldada või on nad hooldamatud</li><li>• Jälgida plahvatusohtu tekkimist</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hüdrostaatilise rõhu andurid käärituskambri põrandal</li><li>• Radari või ultraheliga mõõdetav vedelikutasapind käärituskambri ülemisest servast</li><li>• U-toru manomeeter kui lihtne käsitsi loetav mõõteseade</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sensorite hoolduseks ja väljavahetamiseks on vaja käärituskambrisse jätta ava või halvemal juhul tühjenda vahuti</li><li>• Tunduvalt lihtsamini teostatav väljaspool asetsevatele anduritele</li><li>• Tuleb täita ohutusnõudeid käärituskambri tööde juures</li><li>• Üksikutel juhtudel kaalutakse ka tervet käärituskambrit</li></ul>

Tabel 3-45: Gaasihoidla täituvuse mõõtmine

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Võimalik mõõta gaasi rõhku suure täpsusega (millibaarides)</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sobilik kõikidele madalrõhu gaasihoidlatele</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Andurid peavad olema korrosioonikindlad ja taluma kõrget õhuniiskust</li><li>• Arvestada plahvatusohtu tekkimisega</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gaasirõhu mõõtmine rõhuanduritega</li><li>• U-toru manomeeter käsitsi mõõtmiseks</li><li>• Mõõtelatt kilehoidlas rõhu visuaalseks hindamiseks</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Väljaspool gaasihoidlat olevaid rõhuandureid on lihtne hooldada</li><li>• Tuleb täita ohutusnõudeid käärituskambri tööde juures</li></ul>

### Gaasihoidla täituvuse mõõtmine

Gaasihoidla täituvuse järgi reguleeritakse gaasi põletamist mootoris. Kui gaasi tootmine väheneb, seisatakse mootor, kui seda on piisavalt juurde tekkinud, käivitatakse mootor taas. Täituvust mõõdetakse rõhuandurite või mõõtelatiga. Gaasihoidla rõhku saab kasutada ka mootorisse antava gaasihulga automaatregulaatori juhtimiseks. Iseloomustamiseks on toodud tabel 3-45.

### Protsessi temperatuur

Käärituskambri temperatuur peab olema konstantne ja pidevalt mõõdetav mitmest erinevast kohast käärituskambris. Võib kasutada PT100- või NTC-tüüpi andureid. Mõõtmistulemused tuleb kindlasti dokumenteerida või arvutis salvestada, kus temperatuurikõverat on mugav visualiseerida või hiljem on hea koostada analüüse. Automaatjuhtimisega ventiilide olemasolul saab reguleerida ja hoida hästi käärituskambri soojendust. Tabelis 3-46 iseloomustakse temperatuuri mõõtmist.

### pH väärtus

Käärimisprotsessi toimumise kohta annab vajalikku teavet ka pH (vesinikioonide kontsentratsioon) väärtus. pH-meetritega võetakse käärituskambrist kindlate ajavahemike tagant proove ja mõõtmistulemused dokumenteeritakse. Hilisemal analüüsil saab näha trende. pH-mõõtmist kirjeldatakse tabelis 3-47.

Tabel 3-46: Temperatuuri mõõtmine

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatuuri saab mõõta termopaaridega (temperatuurianduritega), mis on täpsusega <math>\pm 1,5^{\circ}\text{C}</math>. NTC-termopaarid võimaldavad täpsust <math>\pm 0,2^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobivad kõikidele käärituskambri tüüpidele</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termopaarid peavad olema ühendatud mõõteseadmega (lihtsaim millivoltmeeter)</li> <li>• Nad ei tohi paikneda liiga lähedal küttekehadele ja välisseinale</li> <li>• Käärituskambris ei ole temperatuur alati ühtlane, mistõttu peab mõõtmiskohti olema rohkem</li> <li>• Muud mõõtmiskohad: küttekehad ja soojuse kasutajad</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enamasti manteltermopaarid, hülssides olevad NTC termoandurid</li> <li>• Käärituskambril ja torustikel peavad olema ka näitavad temperatuurimõõteriistad</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termoandureid ja termopaare peab regulaarselt kalibreerima</li> <li>• Tuleb täita ohutusnõudeid käärituskambri tööde juures</li> </ul>

Tabel 3-47: pH väärtuse mõõtmine

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik mõõta pH väärtusi vahemikus 0–12. Eeldatavalt jäävad väärtused vahemikku 5–8</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobilikud kõikidele pumbatavatele substraatidele</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIE DRIFT liikuvad andurid vajavad sagedast kalibreerimist</li> <li>• Sondid tuleb hoiustada alati soolalahuses</li> <li>• Mõõtmine peab toimuma koheselt pärast värsket proovi võtmist</li> <li>• Käärituskambril peab olema proovivõtukoht</li> <li>• Kui pH väärtus on liiga madal (keskkond happeline), ähvardab kääritusprotsessi „kollaps”. Kui mõõtmine näitab väikesi pH väärtusi, tuleb kiiresti protsessi sekkuda</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tavaliselt kasutatakse substraati torgatavat klaasist pH-meetrit</li> <li>• Käärituskambrisse on võimalik paigaldada ka stacionaarseid sonde</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibreerimine peab toimuma enne iga mõõtmist</li> <li>• Tuleb täita ohutusnõudeid käärituskambri tööde juures</li> </ul>

### Rasvhapete määramine/substraadi koostisained

Rasvhapete jälgimine võimaldab käärimisprotsessi hinnata. Mõõtmisel jälgitakse lühikese ahelaga rasvhapete spektrit ja kontsentratsiooni, mis tekivad käärimisprotsessil. Pideva mõõtmise ja keerulise analüüsitehnika tõttu on seda kohapeal raske teha. Kui aga analüüsida laboris, siis on proovivõtmist kuni tulemuste saamiseni väga pikk aeg. Sellepärast on raske öelda midagi käärimise hetkeolukorra kohta. Paljud seadmete tootjad ja ka biogaasi tootmise nõustajad pakuvad rasvhapete määramist jätkuvalt tootmisprotsessi jälgimise käigus.

Alternatiiviks või lisaks rasvhapete määramisele määratakse pidevalt või teatud intervalli tagant keemiline hapnikutarve (KHT). Eeliseks on siin selle automatiseerimisvõimalus ja kohapealne teostatavus. Tabelis 3-48 võetakse kokku substraadi koostisosade määramine.

Tabel 3-48: Meetodid ja tingimused substraadi koostisosade määramiseks

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On võimalik mõõta rasvhapete kontsentratsiooni kuni väärtuseni 10 000mg/l ja keemilist hapnikutarvet</li> <li>• KHT mõõtmised on võimalikud vahemikus 10 kuni 50 000mg/l</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik mõõta kõikide pumbatavate substraatide korral</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proovi transport peab toimuma võimalikult kiiresti ja lähedale, sest protsess jätkub proovimahutis</li> <li>• Käärituskambril peab olema proovivõtmise koht</li> <li>• Proovide analüüsimiseks on vaja kemikaale</li> <li>• Mõõtetehnika on väga kallis</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rasvhappeid määratakse laboris gaaskromatograafia</li> <li>• KHT määramiseks pakutakse <i>on-line</i> mõõtmisvõimalusi</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibreerimine peab toimuma regulaarselt</li> <li>• Hooldustöid teeb biogaasijaama käitaja</li> </ul>

Tabel 3-49: Gaasikulumõõturid

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mõõteriistu on olemas kõikide voolavate ainete mõõtmiseks</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik kasutada kõikides biogaasijaamades</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulumõõõtjad ei ole tundlikud gaasi korrosiivsele toimele</li> <li>• Kulumõõõtjad on sageli niiskuse suhtes tundlikud</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rootorkulumõõõturid, tiivikkulumõõõturid</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lihtne hooldada, sest paigaldatud gaasitorustikule</li> <li>• Hooldustöödeks peab soojuse ja elektri koostootmisseedme seiskama</li> </ul>

### Gaasi kogus

Tekkivat biogaasi kogust on vaja samuti mõõta. Ebakorrapärane biogaasi tekkimine viitab protsessi häiretele, millele peaks reageerima. Gaasikulumõõõturid (gaasi kulumõõõtjad) paigaldatakse kohe pärast käärituskambrit olevale gaasitorule. Mõõtmistulemuste alusel saab jälgida trende. Tabelis 3-49 on vajalikud meelepead.

### Gaasi koostis

Gaasi koostist saab vastavate mõõteseadmetega (gaasianalüsaatoritega) määrata pidevalt. Tulemusi saab kasutada käärimisprotsessi juhtimiseks või siis sellele järgnevates protsessides nt gaasi puhastamisel. Gaasi koostise määramiseks saab kasutada soojusjuhtivusel, infrapunase kiirguse neelamisel, keemilisel sorptsioonil või elektrokeemilisel protsessil töötavaid gaasianalüsaatoreid, mis on soojuslikult isoleeritud. Vastava meetodika valikul peab jälgima mõõtmistäpsust, selektiivsust, linearsust, mõõtmisvahemikku ja andurite tundlikust. Metaani ja ka süsihappegaasi määramiseks on parimad infrapunasel kiirgusel töötavad, kuid vesiniku, hapniku ja väävelhappe määramiseks elektrokeemilised gaasianalüsaatorid.

Mõõtmised toimuvad kas käsitsi või ka statsionaarsete mõõteriistadega. Käsitsi teostatavate mõõtmiste põhjal on palju raskem teha järeldusi kui statsionaarsete mõõtmistulemuste ja arvutipõhise analüüsi alusel. Ühe mõõteriista iseloomustus on tabelis 3-50.



Joonis 3-46: Gaasianalüsaator; foto: Schmack Bioogas AG.

Tabel 3-50: Gaasi koostise mõõteseadme (gaasianalüsaatori) iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõik kontsentratsiooni vahemikud on mõõdetavad</li> <li>• Täpsus sõltub mõõteriistast ja mõõtevahemikust</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Võimalik kasutada kõikides biogaasijaamades</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaasianalüsaatorid võivad olla niiskustundlikud, mistõttu tuleks niiskus gaasist eemaldada (adsorbeerida, jahutada)</li> <li>• Gaasianalüsaatorid võimaldavad mõõta kord tunnis</li> <li>• Elektrokeemilised gaasianalüsaatorid on kõige odavamad ja kõige sagedasemat kalibreerimist vajavad, vahetada välja iga 1–2 aasta tagant</li> <li>• Mõõtmisel peab arvestama, et võetakse proovi nn keskmisest gaasist, mitte värskelt mahutisse (hoidlasse) tulnust</li> <li>• Kõik osad, mis biogaasiga kokku puutuvad, peavad olema ka biogaasikindlad</li> <li>• Käsitsi mõõdetavate tulemuste alusel on väga raske gaasi koostise muutumist jälgida</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metaani, vesiniku, hapniku ja väävelhappe määramiseks elektrokeemilised gaasianalüsaatorid</li> <li>• Metaani ja ka süsihappegaasi määramiseks infrapunasel kiirgusel töötavad gaasianalüsaatorid</li> <li>• Mõõteriistad on nii käsitsi juhitud kui ka statsionaarselt paigaldatavad</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On vajalik pidev kalibreerimine ja kontrollimine</li> <li>• Tuleb täita ohutusnõudeid käärituskambril tööde juures</li> </ul>



### 3.3 Ohutusreeglid

Biogaas on gaaside segu ja koosneb põhiliselt metaanist (50–80%, mahuprotsenti), süsihappegaasist (20-50%), väävelvesinikust (0,01–0,4%) ja muudest gaasidest. Tabelis 3-51 võrreldakse biogaasi koostist teiste gaaside koostisega. Tabel 3-52 annab ülevaate biogaasi komponentide omadustest. Õhuhapnikuga kokkupuutel on biogaasi segu teatud piirides plahvatusohtlik, mis tähendab, et peab alati arvestama selle ohuga ja jälgima kõiki ohutusnõudeid.

Töötavas biogaasijaamas eksisteerib ka teistsuguseid ohte, nagu nt lämbumine gaasis või gaasimürgitus ja muidugi mehaanilised vigastused.

Ohutusnõudeid kirjeldatakse mitmetes eeskirjades. Siinne peatükk peaks lugejale näitama biogaasi tootmise käigus ettetulevaid potentsiaalseid ohuallikaid ja andma näpunäiteid ohtude vältimiseks.

Tabel 3-51: Gaaside omadused

Parameeter	Ühik	biogaas	maagaas	propaan	metaan	vesinik
kütteväärtus	kWh/m <sup>3</sup> n	6	10	26	10	3
tihedus	kg/m <sup>3</sup> n	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
gaasi- ja õhutiheduse suhe	-	0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
süttimistemperatuur	°C	700	650	470	600	585
plahvatusohu piirid	mahu%	6-12	4,4-15	1,7-10,9	4,4-16,5	4-77

Tabel 3-52: Biogaasi komponentide omadused

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	H
tihedus	kg/m <sup>3</sup> n	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
gaasi- ja õhutiheduse suhe	-	0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
süttimistemperatuur	°C	600	-	270	605	585
plahvatusohu piirid	Mahu%	4,4-16,5	-	4,3-45,5	10,9-75,6	4-77
MAK väärtus*	ppm		5000	10	30	

\* MAK – maksimaalne töökohtadel olev kontsentratsioon

#### 3.3.1 Mürgitus- ja uppumisoht

Biogaasi tekkimine on looduslik protsess ja pole seepärast erandlikult piirangutega. Põllumajanduslikus loomakasvatuses on ka varem ette tulnud surmajuhtumeid seoses biogaasiga (nt lägahoidlad, silohoidlad). Kui õhus on teatav biogaasi kontsentratsioon, võib selle sissehingamisel tekkida mürgitus või saabuda surm lämbumise tagajärjel. Ohtlikem biogaasikomponent on väävelvesinik (H<sub>2</sub>S). Sellest mitte puhastatud biogaas mõjub juba väga väikeses kontsentratsioonis toksiliselt (vt tabel 3-53).

Eriti ohtlikud on kinnised või sügavad mahutid, kus tuleb ette lämbumist, kuna sealt on hapnik välja tõrjutud. Biogaasi relatiivne tihedus on  $u$  1,2 kg/Nm<sup>3</sup>N, see on kergem kui õhk, kuigi see kaldub segunema. Põrandale koguneb raskem süsihappegaas ( $\rho=1,85$  kg/m<sup>3</sup>N) ning metaan ( $\rho=0,72$  kg/m<sup>3</sup>N) tõuseb kõrgemale. Sellepärast peab kinnistes ruumides olema kindlustatud piisav õhuvahetus. Tööd sellistes potentsiaalselt ohtlikes kohtades (käärituskamber, šahtid, gaasihoidla) tuleb läbi viia vastavas kaitseriietuses.

Tabel 3-53: Väävelhappe toksiline mõju

Kontsentratsioon õhus	Mõju
0,03–0,15 ppm <sup>a</sup>	Mädamuna lõhn
15–75 ppm	Silmade ja hingamisteede ärritus, südamepööritus, oksendamine, peavalu, teadvuse kadu
150-300 ppm (0,015–0,03%)	Haistmisnärvi halvatus
> 375 ppm (0,038%)	Surm mürgituse tagajärjel (mitme tunni pärast)
> 750 ppm (0,075%)	Teadvuse kadu ja surm hingamispeetuse tagajärjel 30–60 min jooksul
Alates 1000 ppm (0,1%)	Kiire surm hingamispeetuse tagajärjel

ppm - parts per million (1 ppm = 0,0001%)

### 3.3.2 Plahvatus- ja tuleoht

Nagu juba enne mainitud, võib teatud tingimuste juures biogaasi segunemisel õhuga tekkida plahvatusohtlik segu. Lahtise tule, elektriliste seadmete lülitustest (sädelahendus) või ka äikesest võib tekkida tulekahju.

Seega tuleb biogaasijaamades vältida tuleohtliku olukorra ja õhu-gaasi segu tekkimist. Plahvatusohtu määratakse ära erinevate tsoonidega:

#### 0 tsoon

Selles tsoonis on pidevalt või pikemate perioodide vältel plahvatusohtlik atmosfäär. Biogaasijaama normaalsel käitamisel selliseid piirkondi üldjuhul ei eksisteerigi. Käärituskamber ei ole selline tsoon.

#### 1. tsoon

See on ala, kus võib tekkida tegelik plahvatusoht. Nendeks on gaasihoidla sisendid, samuti üle- ja alarõhu reguleerimise kohad ja muidugi küünalpõleti ümbrus (kui seal gaas põleb). Nendest kohtadest 1 m raadiuses (vabas õhus). Kinnistes ruumides on see 4,5 m raadiuses.

#### 2. tsoon

See on piirkond, kus normaalses tööolukorras õhu ja gaasi segu ei saa tekkida, aga juhul kui tekib mingil põhjusel, siis see olukord ei kesta kaua (nt hooldustöödel või häirete puhul).

Häiringud võivad tekkida substraadi sisestamisel, käärituskambris, gaasihoidla õhutuskohtades. Nendes kohtades peab vastavaid ettevaatusabinõusid rakendama 1–3 m raadiuses.

### 3.4 Kasutatud kirjandus

- /3-1/ Schulz, H.; Eder, B.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, 2001
- /3-2/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie und Systemtechnik/Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001
- /3-3/ Jäkel, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- /3-4/ Neubarth, J.; Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien in Österreich - Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Wien, 2000
- /3-5/ Hoffmann, M.: Trockenfermentation in der Landwirtschaft – Entwicklung und Stand, Biogas – Energieträger der Zukunft, VDI-Berichte 1751, Tagung Leipzig 11 und 12. März 2003
- /3-6/ Aschmann, V.; Mitterleitner, H.: Trockenvergären: Es geht auch ohne Gülle, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-7/ Beratungsempfehlungen Biogas, Verband der Landwirtschaftskammern e.V., VLK-Beratungsempfehlungen 2002
- /3-8/ Block, K.: Feststoffe direkt in den Fermenter, Landwirtschaftliches Wochenblatt, S. 33-35, 27/2002
- /3-9/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse; DBU Projekt 15071; Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt GmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- /3-10/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben, Bauberatung Zement
- /3-11/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft, Bauberatung Zement
- /3-12/ Gers-Grapperhaus, C: Die richtige Technik für ihre Biogasanlage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-13/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14: Beton für Behälter in Biogasanlagen, Bauberatung Zement
- /3-14/ Kretzschmar, F.; Markert, H. (2002): Qualitätssicherung bei Stahlbeton-Fermentern; in: Biogasjournal Nr. 1/2002



- /3-15/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- /3-16/ Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen (Arbeitsunterlage 69); Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2002
- /3-17/ Falbe, J. et al. (Hrsg); Römpf Chemie Lexikon; Georg Thieme Verlag; 9. Auflage; Stuttgart, 1992
- /3-18/ Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 900); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Download vom 17.09.03; <http://www.baua.de/prax/ags/trgs.htm>
- /3-19/ „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1); Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Download vom 28.08.03; [http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv\\_bera/vsg/index.html](http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv_bera/vsg/index.html)
- /3-20/ BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln; Carl Heymanns Verlag KG; Köln, 2002

# 4

## Substraatide omadused

Selles peatükis iseloomustame lähemalt neid substraate, mida saab kasutada biogaasi tootmiseks. Räägime nii nende päritolust kui ka nende omadustest, nagu kuivaine (KA), orgaaniline kuivaine (oKA), toitained (N,P,K) või ka orgaanilised kahjulikud ained. Pakume välja ka arvvaartusi võimaliku gaasikoguse ja gaasi kvaliteedi ning substraatidega ümber käimise kohta. Kuna ei ole võimalik kõiki võimalikke aineid kirjeldada, siis ei pürgi see peatükk absoluutselt kõikide andmete esitamisele. Kuna substraatidel esinevad olenevalt aastast kvaliteedi kõikumised, siis ei saa siinseid arve absoluutsetena võtta.

### 4.1 Põllumajanduslikud substraadid

#### 4.1.1 Sõnnik

Aluseks on võetud statistilised arvud Saksamaa loomakasvatusest, mis näitavad, et väga suur potentsiaal biogaasi tootmiseks on veise- ja seakasvatuses. Eriti just majandustingimustes, kus ettevõtted suurenevad ja karmistuvad ka keskkonna ohutuse tagamise nõuded, on vaja tekkinud vedelsõnnikule või sõnnikule leida ka alternatiivseid ümbertöötlemise võimalusi. Sõnnikute toitainete sisaldus on toodud tabelis 4-1.

2002. aastal leiti ühes uurimuses, kui palju on raskemetalle põllumajanduslikes sõnnikutes, mis huvitab ka meid seoses biogaasi tootmisega. Need andmed on toodud tabelis 4-2.

Veise vedelsõnnikust tekib 20–30 m<sup>3</sup> iga tonni kohta vähem biogaasi kui seavedelsõnnikust (tabel 4-3). Veisevedelsõnnik näitab ka tunduvalt väiksemat keskmist metaanisaldust, võrreldes seavedelsõnnikuga. See on sellepärast nii, et veiste magu töötab nagu biogaasi tehas ja vedelsõnnik on juba enne osaliselt käärinud.

Veise vedelsõnnikut ja sea vedelsõnnikut saab väga hästi segada teiste substraatidega (lissubstraadid), kuna neil on madal kuivaine sisaldus. Vastupidi on tahke sõnnikuga ja tema kuivainesisaldusega, kuna seda tuleb enne lahjendada, et pumbatavasse konsistentsi saada, ja lisaks tuleb seda ka homogeniseerida. Võimalikeks lissubstraatideks sobivad kõrge vee või energiasisaldusega substraadid (rasvad, praak).

Veise ja sea vedelsõnniku käitlemine ja hoiustamine pole tavaliselt problemaatilised. Tavaliselt saab vedelsõnnikut kas otse või siis läbi eelmahuti kohe kääritsesse suunata.

Tabel 4-1: Sõnniku koostis

Substraat	KA %	oKA %	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% KA)	K <sub>2</sub> O	Mg
Veise vedelsõnnik	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10	0,3-0,7
Sea vedelsõnnik	u. 7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5	0,6-1,5
Veise tahesõnnik	u. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5	1,3
Sea tahesõnnik	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	2,5-3	n.a
Linnusõnnik	u. 32	63-80	5,4	0,39	n.a	n.a	n.a

n.a – andmeid ei anta

Tabel 4-2: Sõnnikus sisalduvad raskemetallid

Substraat	Cd	Cr	Cu	Hg (mg/kgKA)	Ni	Pb	Zn
Veise vedelsõnnik	0,3	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Sea vedelsõnnik	0,4	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Veise tahesõnnik	0,29	12,9	39	0,03	5,2	30	190
Sea tahesõnnik	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1068
Linnusõnnik	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

Tabel 4-3: Sõnnikust tekkinud gaasi kogus ja metaani sisaldus

Substraat	Biogaasi kogus		CH <sub>4</sub> - sisaldus- mahu%
	(m <sup>3</sup> /t substraadist)	(m <sup>3</sup> /toKA)	
Veise vedelsõnnik	20-30	200-500	60
Sea vedelsõnnik	20-35	300-700	60-70
Veise tahesõnnik	40-50	210-300	60
Sea tahesõnnik	55-65	270-450	60
Linnusõnnik	70-90	250-450	60

#### 4.1.2 Energiakultuurid

##### 4.1.2.1 Mais

Mais kui taastuv materjal annab hektari kohta kõrge energeetilise saagi ja on sobilik taim biogaasi tootmiseks. Eriti loomakasvatusevõtetes on tekkinud maisile tihe konkurents nii söödana kui biogaasi tootmiseks kasutamise vahel. Saagid erinevad olenevalt aastast, kuid on keskmiselt 45 t/ha haljasmassi. Tabelis 4-4 on iseloomustamiseks maisist saadava biogaasi kogus ja metaanisaldus. Kahjulikke orgaanilisi aineid ja raskemetalle praegusel ajal maisis ei ole. Ka võõrkehi ei tule maisisilos peaaegu kunagi ette. Toitainete sisaldus on esitatud tabelis 4-5. Maisisilo hoiustamine on lihtne, kuna tavaliselt tehakse seda silohoidlas ja pärast 4-6 nädalast käärimist saab teda otse biogaasi tootmiseks kasutada.

Maisisilo või käärimisel kasutada ainsa substraadina. Siiski soovitatakse teda lisasubstraadina kasutada vedelsõnnikule lisamiseks, sest siis on käärimine stabiilsem ja võib esineda ka sünergiaefekt – tekkiva metaani kogus võib suurenda.

Tabel 4-4: Maisisilo omadused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi kogus		CH <sub>4</sub> - sisaldus
	%	%KA			(m <sup>3</sup> /t VM-s) (m <sup>3</sup> /t oKA)		Mahu%	
Maisisilo	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55

Tabel 4-5: Maisisilo mineraalide sisaldus

Substraat	Ca	P	Na	Mg	K	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
	%KA					mg/kg KA							
Maisisilo	0,18	0,24	0,03	0,12	1,13	0,2	0,5	4,5-5	5	2	35-56	31	67

##### 4.1.2.2 Rukkisilo (tervest taimest – villis)

Järgnevatest võimalikest terve taime silodest peaks esitlema rukist. Rukis esitab väga madalaid nõudmisi mullale, kliimale mistõttu on võimalik teda kasvatada ka kergetel muldadel ja külmemates piirkondades. Rukkitera saak on keskmiselt 5-6 tonni/ha. Põhu ja terade vahekord on 1,6:1, mis annab kogusaagiks 13-15 t/ha värsket massi.

Kuna rukist koristatakse vaid kord aastas, siis on mõttekas teda sileerida, et saada terveks aastaks suhteliselt ühtlase kvaliteediga substraati. Tabel 4-6 annab tähtsamad arvulised väärtused rukkisilo kohta. Raskemetallide sisaldus on rukkiterasaagis madal ja peaaegu alati allpool lubatud eeskirju. Aastane hoiustamine on võimalik ja ei esine võõrkehi.

Tabel 4-6: Rukkisilo omadused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi saagis		CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA			(m <sup>3</sup> /t värskes massis)	(m <sup>3</sup> /t oKA)	Mahu%
<b>Rukkisilo</b>	3035	92-98	4	0,57	0,71	170-220	550-680	u. 55

#### 4.1.2.3 Peedid

Tänu suurele saagile sobivad ka suhkru- ja söödapeedid energiakultuuride nimistusse. Vastupidiselt rukkile on peedikasvatases oluline just kliima ja mullastik. Neile sobib pehme kliima ja sügava humuskihi mullastik.

Saagid on olenevalt mullastikust suhteliselt erinevad. Suhkrupeedil jäävad nad 50 – 60 t/ha. Söödapeedil on olenevalt sortidest suured erinevused. Massiivsed peedid moodustavad kuni 90 t/ha ja tavalised söödapeedid 60 – 70 t/ha. Ka lehemassis on olenevalt sordist suured erinevused. Suhkrupeedil on juure ja lehe suhe 1:0,8 ja massipeedil 1:0,5. Ülejäänud arvulised väärtused on tabelites 4-7 ja 4-8.

Kahjuks puuduvad andmed raskemetallide sisalduste kohta, aga siin võib arvestada, et ka need on väga madalad. Ka laguneb peet väga hästi, kui ta on enne hästi purustatud.

Probleeme on aga peetide puhastamisega, kuna võimalikult palju mulda peaks saama eraldada, sest muidu settib see kääriskambri põhja ja läheb kaduma väärtuslik käärimisruum. Ka peavad enne purustamist olema kivid eraldatud. Ka siin on koristamine aastaajaline ja sellepärast on vajalik hoiustamine, et terve aasta jooksul oleks substraat saadaval. Selleks kasutatakse purustatud peedimassi sileerimist. Siin aga peab jälgima, et peenestatud peedimass ei võimalda sileerida tavalises silohoidlas.

Tabel 4-7: Peetide ja peedilehtede koostis

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi saagis	Biogaasi saagis	CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA			(m <sup>3</sup> /t värskes massis)	(m <sup>3</sup> /t oKA)	Mahu%
<b>Suhkrupeet</b>	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
<b>Söödapeet (kasvatatakse massi)</b>	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
<b>Söödapeet</b>	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
<b>Peedileht</b>	16	75-80	0,2-0,4		0,7-0,9	u. 70	550-600	54-55

Tabel 4-8: Raskemetallide sisaldus peedi lehtedes (mg/kg KA)

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Peedileht</b>	0,2	< 1	10	5	0,5	28

#### 4.1.2.4 Rohusilo

Rohu kasvatamine ja temast silo valmistamine on niisama hästi mehhaniseeritav nagu ka maisi puhul ning on seotud väheste probleemidega. Olenevalt ilmastikust ja kliimatingimustest on võimalik arvestada kuni 3 niitega aastas. Kui palju massi on võimalik saada biogaasi tootmiseks, sõltub erinevatest faktoritest. Nendeks on mulla viljakus, kliima, taimeliik ja -sort, kasvufaas koristamisel, konserveerimine ja hoiustamine. Faktorite paljususe tõttu ei ole võimalik anda usutavaid saake. Siin saab vaid tuua spetsiifilisi andmeid sisalduste kohta nagu raskemetallid (tabelid 4-9 ja 4-10).

Siinkohal peaks vaid märkima, et rohusilo on ka piimatootmises üks peamine talvine sööt. Seega saab kasutada vaid seda rohusilo, mis loomade söödaks ei lähe.

Tabel 4-9: Rohusilo koostis

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi saagis	Biogaasi saagis	CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA			m <sup>3</sup> /t värskes massis	m <sup>3</sup> /t oKA	Mahu%
<b>Rohusilo</b>	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

Tabel 4-10: Raskemetallid rohusilos

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rohusilo	0,2	1,4	8,1-9,5	2,1	3,9	38-53

## 4.2 Põllumajandustoodangu töötlemine ja sealt pärinevad substraadid

### 4.2.1 Õlle tootmine

Õlle tootmisel tekib erinevaid kõrvalprodukte, millest õlleraba on 75% osakaaluga. Iga hektoliitri õlle kohta tekib u. 19,2 kg õlleraba, 2,4 kg pärimi, 1,8 kg kuuma õlle setet, 0,6 kg külma õlle setet, 0,5 kg liiva setet ja 0,1 kg linnase tolmu.

Siin vaatame ainult õlleraba osa, kuna seda tekib massi poolest kõige rohkem. Kuid ka teised osad, välja arvatud liiva sete, on sobilikud biogaasi tootmiseks. Tegelikult on täna ainult teatud osa tekkinud kõrvalproduktidest kasutatavad, kuna neil on ka teisi kasutamise võimalusi, nagu nt toiduainetööstus (õllepärm) ja loomasööt (õlleraba). Tabelis 4-11 on iseloomustavad numbrid õllerabale.

Hoiustamine ja käsitlemine on suhteliselt probleemivabad, kuigi pikemal hoiustamisel tekib energiakadu ja hallituse levimine, mida annab sileerimisega ennetada.

Tabel 4-11: Õlleraba sisaldused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi saagis (m <sup>3</sup> /t värskes massis)	Biogaasi saagis (m <sup>3</sup> /t oKA)	CH <sub>4</sub> -sisaldus mahu%
	%	%KA	%KA					
Õlleraba	25-50	70-80	4,5	---	1,5	105-130	580-750	59-60

Tabel 4-12: Raskemetallid õllerabas

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Õlleraba	0,1-0,2	0,5	15	0,5	0,3	76

### 4.2.2 Alkoholi tootmine (piirituse)

Praak on kartulist, teraviljast ja puuviljast piirituse tootmise kõrvalprodukt. Piirituse tootmisel tekib iga liitri alkoholi kohta umbes 12-kordne kogus praaka, mida kasutatakse loomasöödana või väetisena. Tabelis 4-13 on erinevate praakade ainelised sisaldused ja nendest tekkiv gaasikogus ja metaani sisaldus. Peab aga ütlema, et kasutada on mittetäielikud analüüsiandmed.

Tabel 4-13: Piirituspraaka iseloomustavad arväärtused

Substraat	KA	oKA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis m <sup>3</sup> /t värskes massis	Biogaasi saagis m <sup>3</sup> /t oKA	CH <sub>4</sub> -sisaldus Mahu%
	%	%KA	%KA				
Teraviljapraak	6-8	83-88	6-10	3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartulipraak	6-7	86-95	5-13	0,9	36-42	400-700	58-65
Puuviljapraak	2-3	u. 95		0,73	10-20	300-650	58-65

### 4.2.3 Kartuli töötlemine (tärglise tootmine)

Tärglise tootmisel kartulitest tekib orgaaniliselt saastunud jääkvee kõrval ka nn. kartulipulp. See koosneb peamiselt koortest, rakuseintest ja tervetest tärgliserakkudest, mis ei ole avanenud ja tärglise tootmisest üle jäänud. Iga tonni kartuli töötlemisest jääb järele umbes 240 kg pulpi ja 760 liitrit kartulivett ja veel 400-600 l protsessivett.

Täna kasutatakse osa pulbist ka loomasöödana ja suurem osa kartuliveest läheb tagasi põllule kui väetis. Söödana kasutatakse sellest ainult väikest osa ja kuna väetisena kasutamisel on oht üleväetamisele ja põhjavee sooldumisele, siis ka siin on pikas perspektiivis vaja leida

ümbertöötlemiseks uusi võimalusi. Üheks selliseks võimaluseks ongi biogaasi tootmine, sest tegemist on hästi käärivate substraatidega. Nende omadused on tabelis 4-14.

Tabelis 4-15 on mineraalelementide sisaldused. Jälgida tuleks kõrget kaaliumi ja kloriidide sisaldust, mis võib viia protsessi pidurdumiseni.

Võõrkehi ja segavaid aineid ei esine, kuna need eraldatakse eelneva töötlemise käigus. Erilisi hügieeni- ja hoiustamisnõudeid ei ole. Peale hoiustamist on vaja aga ilmselt seda massi eelsoojendada, mis on küllaltki energiamahukas.

Tabel 4-14: Tärglise tootmise kõrvalproduktide omadused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis	Biogaasi saagis	CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA			(m <sup>3</sup> /t värskes massis)	(m <sup>3</sup> /t oKA)	Mahu%
<b>Pulp</b>	u. 13	u. 90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
<b>Kartulivesi</b>	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
<b>Protsessi vesi</b>	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60

Tabel 4-15: Mineraalide sisaldus tärglise tootmisjäädikes

Substraat	K <sub>2</sub> O	Ca	Cl	Na	Mg	NO <sub>3</sub> -N
	(mg/kg värskes massis)					
<b>Pulp</b>	1814	19,3	4,8	262,5	154,1	0,56
<b>Kartulivesi</b>	5557,8	34,2	1320	39,9	222,1	85,93
<b>Protsessi vesi</b>	2196	18	235,5	60,1	66,1	14,48

#### 4.2.4 Suhkru tootmine

Suhkrupreedist kristallsuhkru tootmisel tekivad mitmed kõrvalproduktid, mida peamiselt loomasöödana kasutatakse. Üheks produktiks on märg šnitsel, mis pärast peetide purustamist ja ekstraheerimist järele jääb. Teiseks produktiks on melass, mis tekib pärast suhkrukristallide eraldamist suhkrusiirupist. Mingi osa šnitslist ja melassist segatakse ja pressitakse vesi sealt välja – tekib melassišnitsel, mida kasutatakse ka loomasöödana.

Melassi kasutatakse peale loomasööda veel toorainena pärmivabrikutes või viinatööstuses, kõrge suhkrusisalduse tõttu on melass huvipakkuv lisasubstraat ka biogaasi tootmiseks. Üldiselt on suhkrutööstuse kõrvalproduktid head substraadid biogaasi tootmiseks, ainult et oma kõrge kuivaine sisalduse tõttu mitte üksi kasutatuna, vaid vedelsõnniku lisasubstraadina.

Tabel 4-16: Šnitsli ja melassi omadused

Substraat	KA	oKA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis		CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA		m <sup>3</sup> /t värskes massis	m <sup>3</sup> /t oKA	Mahu%
<b>melassišnitsel</b>	22-26	u. 90			60-75	250-350	70-75
<b>melass</b>	80-90	85-90	1,5	0,3	290-340	360-490	70-75

Tabel 4-17: Raskemetallide sisaldus

Substraat	Cd	Cr	Hg	Mn	Zn	Sn	Ni	Cu	Fe
<b>melassišnitsel</b>	0,35	4,4	0,01	25,6	22,4	0,16	2,0	4,31	194
<b>melass</b>	0,12	0,2	<0,01	29,6	32	0,18	2,99	2,69	32,3

Suhkrutööstuse eripärast tulenevalt ei esine ka võõrkehi ega segavaid aineid. Ka hoiustamisele ja kasutamisele ei ole erilisi tingimusi. Šnitslit sileeritakse, et teda kauem säilitada, ja melassi saab hoiustada vastavates anumates, mis on kindlasti vajalik, et suuta varustada terve aasta läbi nende ainetega.



#### 4.2.5 Puuviljatööstuse kõrvaltooted

Viinamarjade ja puuviljade töötlemisel veiniks ja mahlaks tekib kõrvalprodukt – pressimisjääd, mida kõrge suhkruisalduse tõttu kasutatakse alkoholi tootmiseks. See leiab kasutust nii loomasöödana kui pektiini tootmise toorainena. Iga hektoliitri veini või mahla kohta tekib u 25 kg pressimisjääke, ja iga hektoliitri viljalihanektari kohta 10 kg pressimisjääke.

Ka siin ei esine tänu eelnevatele tootmiskäikudele võõrkehi ja kahjulikke aineid. Pikemaks hoiustamiseks on ka sileerimine võimalik.

Tabel 4-18: Pressimisjääkide omadused

Substraat	KA	oKA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis		CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA		m <sup>3</sup> /t värskes massis	m <sup>3</sup> /t oKA	Mahu%
Õunajääk	25-45	85-90	1,1	0,3	145-150	660-680	65-70
Puuviljajääk	25-45	90-95	1-1,2	0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Viinamarjajääk	40-50	80-90	1,5-3	0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

Tabel 4-19: Raskemetallide sisaldus

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Õunajääk	0,3	1,6	7,8		3,4	6,7
Puuviljajääk		0,06	7,8	3	0,7	25
Viinamarjajääk	0,5	5	150	2,5		75

#### 4.3 Orgaanilised jäätmed kodumajapidamisest ja prügikäitlusest

Selles peatükis on vaadeldud bioloogilist massi, mida üldiselt käsitletakse orgaaniliste jäätmetena, mis aga on huvitavad ained biogaasi tootmiseks. Vaadeldakse järgnevaid jäätmeliike: bioloogiliselt lagunevad olmejäätmed, toidujäätmed ja realiseerimistähtaja ületanud toiduained suurköökidest, turult ning tapajäägid ja rasvaeralduse jäägid.

Et vältida haiguste ja taudide levikut, peab selle tootegrupi juures jälgime eriliselt hügieenieeskirju. Need on ettekirjutatud biojäätmete eeskirjades ja EL-i määruses nr. 1774/2002. Ka tekkiva kääritusjäagi kasutamise kohta on teised reeglid. Selliste substraatide koostised on väga muutuvad. Päritolu tõttu on nendes substraatides vähe raskemetalle.

Olenevalt oma puhtusest peavad substraatidest olema eraldatud plastikutükid, kondid, kummirõngad jms, et vältida häireid biogaasi tootmises. Eriti just selles biotünnis esineb selliseid mittesoovitud osi. Eriline on ka tapajäätmete kasutamine, sest seal esineb kõrge risk. EL on jaganud kõik võimalikud ained taudi leviku seisukohast kolme erinevasse kategooriasse. Ilma eelneva töötlemiseta ei ole selliste ainete kasutamine mõeldav. Selleks on miinimumnõuded hoiustamisele ja biogaasitehasele. Korralikuks ja kiireks lagundamiseks on vaja sellised substraadid purustada ja homogeniseerida. Kui see teostatakse korralikult, siis on ka orgaanilised jääkained head lisa-substraadid suhteliselt kõrge gaasitekke kogusega.

Tabel 4-20: Orgaaniliste jääkainete omadused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis		CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA	%KA			m <sup>3</sup> /t värskes massis	m <sup>3</sup> /t oKA	Mahu%
<b>Biokonteiner</b>	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Toidujäätmed ja realiseerimistähtaja ületanud toiduained	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
<b>Kaupluste jäägid</b>	15-20	80-90	3-5		0,8	45-110	400-600	60-65
<b>Rasvaeraldus</b>	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	u. 700	60-72

Tabel 4-21: Tapajäätete omadused

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogaasi saagis		CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%	%KA		%KA		m <sup>3</sup> /t värskes massis	m <sup>3</sup> /t oKA	Mahu%
Mao sisaldis (siga)	12-15	75-86	2,5-2,7		1,05	20-60	250-450	60-70
Vatsa sisaldis	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatsioonimuda	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72

Tabel 4-22: Raskemetallide sisaldused orgaanilistes jäätmetes

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Biokonteiner	0,3-0,6	7-25	14-21	5,5-10		88-105
Toidujäätmed ja realiseerimistähtaaja ületanud toiduained			7			67
Rasvaeraldus			44			290
Kaupluste jäägid	0,8	8,5	12,2	8,5	4,6	94
Mao sisaldis (siga)			49-53			163-190
Vatsa sisaldis	2	33	5-99	20	20	71-321
Flotatsioonimuda			39-88			281-380

#### 4.4 Muru – ja muu roheline niide parkidest

Kommunaalpindade hooldusest parkides ja tänavate ääres tekib päris suur kogus orgaanilist jääki. Et seda tekib ainult periooditi, siis tuleks seda sileerida, et saada aastaringset kasutust. Sellised pinnad on küllaltki kaugel üksteisest ja seotud suure transpordikuluga.

Sellest hoolimata on see hea lisa-substraat tänu oma kõrgele kuivainesisaldusele. Monosubstraadina kasutamiseks see ei sobi. Muru saab probleemideta sileerida, ainult tuleb eraldada võõrkehad, nagu oksad ja kivid. Ka peaks massi homogeniseerima.

Tabel 4-23: Muruniite omadused

Substraat	KA	oKA	N	P	Biogaasi saagis	Biogaasi saagis	CH <sub>4</sub> -sisaldus
	%		%KA		(m <sup>3</sup> /t värskes massis)	(m <sup>3</sup> /t oKA)	Mahu%
Muruniide	u. 12	83-92	2-3	1,5-2	150-200	550-680	55-65

Tabel 4-24: Raskemetallid niites

Substraat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Muruniide	0,7-2,1	4-9	10-21	1-9	70	8

Tabel 4-25: Substraadid kokkuvõtvalt

Substraat	KA	oKA	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogaasi kogus		CH <sub>4</sub> - sisaldus Mahu%
	%	% KA				m <sup>3</sup> /t VM	m <sup>3</sup> /t oKA	
<b>Loomakasvatusest pärit sõnnik</b>								
Veiseläga	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60
Sealäga	u. 7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	60-70
Veise sõnnik	u. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	60
Sea sõnnik	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
Kana sõnnik	u. 32	63-80	5,4	0,39	---	70-90	250-450	60
<b>Taastuvad energiataimed</b>								
Maisisilo	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Rukkisilo terveist taimest (põhk ja terad koos silos)	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	u. 55
Suhkrupeet	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Söödapeet (kasvatatakse massi)	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Söödapeet (ei kasvatata nii palju massi)	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Suhkrupeedi lehed	16	75-80	0,2-0,4	---	0,7-0,9	u. 70	550-600	54-55
Rohusilo	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
<b>Substraat töötlevast tööstusest</b>								
Õlleraba	20-25	70-80	4-5	---	1,5	105-130	580-750	59-60
Teravilja praak	6-8	83-88	6-10		3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartuli praak	6-7	85-95	5-13		0,9	36-42	400-700	58-65
Puuvilja praak	2-3	u. 95	--		0,73	10-20	300-650	58-65
Pulp (värsk)	u. 13	u. 90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Kartulivesi	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Protsessi vesi	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60
Melassišnitsel	22-26	u. 95	---		---	60-75	250-350	70-75
Melass	80-90	85-90	1,5		0,3	290-340	360-490	70-75
Õuna jääk	25-45	85-90	1,1		0,3	145-150	660-680	65-70
Puuvilja jääk	25-45	90-95	1-1,2		0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Viinamarja jääk	40-50	80-90	1,5-3		0,8-1,7	250-270	640-690	65-70
<b>Orgaanilised jäätmed kommunaalmajandusest ja tapajäätmed</b>								
Biokonteiner	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Söögijäätmed ja üle realiseerimisaja toiduained	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Kaupluste jäätmed	5-20	80-90	3-5	---	0,8	45-110	400-600	60-65
Rasvaeraldus	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	u. 700	60-72
Sigade maosisu	12-15	75-86	2,5-2,7	---	1,05	20-60	250-450	60-70
Vatsasisaldus veistelt	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatsioonimuda	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72
<b>Aiandusest pärinev roheline ja muruniide</b>								
Muruniide	u. 12	83-92	2-3		1,5-2	150-200	550-680	55-65

#### 4.5 Kasutatud kirjandus

- /4-1/ KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt 1998
- /4-2/ KTBL Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03; 21. Aufl.; Darmstadt; 2002
- /4-3/ Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzen in Düngemitteln“; Workshop, Umweltbundesamt; Berlin 2002
- /4-4/ Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 8-27; Weimar 2000
- /4-5/ Verordnung (EG) Nr. 1251/1999; der Kommission; Brüssel 1999
- /4-6/ Verordnung (EG) Nr. 2461/1999; der Kommission; Brüssel 1999

- /4-7/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe in hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-8/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe in nicht hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-9/ LUFA Oldenburg: Maissilagequalität; Download vom 17.03.2003, <http://www.lufa-oldenburg.de/maissilage.htm>
- /4-10/ Endbericht zum Projekt „Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben“ (in Vorbereitung); Umweltbundesamt; Berlin 2003
- /4-11/ Dörfler, H. (Hrsg.): Der praktische Landwirt; 4. Aufl.; BLV Verl.-Ges., München; 1990
- /4-12/ Hassan, E.: Untersuchungen zur Vergärung von Futterrübensilage; BLE-Projekt Az. 99UM031; Abschlußbericht; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2001
- /4-13/ Keymer, U.: Wirtschaftlichkeit und Förderung von Biogasanlagen; Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München; <http://www.regierung.niederbayern.bayern.de/wirfuersie/biogas/UlrichKeymer.pdf>, Download vom 29.08.2003
- /4-14/ Schattner, S.; Gronauer, A.: Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen; aus: Gülzower Fachgespräche, Band 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 28-38, Weimar, 2000
- /4-15/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1. Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2002
- /4-16/ Umweltbericht; Emsland-Stärke; Download vom 16.09.2002; <http://www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm>
- /4-17/ Schnitzel und Melasse – Daten, Fakten, Vorschriften; Verein der Zuckerindustrie; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1996
- /4-18/ Konzept zur Qualität und Produktsicherheit für Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung; Broschüre; 2. Aufl.; Verein der Zuckerindustrie; 2003
- /4-19/ Verordnung (EG) Nr. 1774/2002; Anh. VI; der Kommission; Brüssel 2002

# 5

## Gaasi ettevalmistamine ja kasutusvõimalused

Biogaasi põletatakse peamiselt sise põlemismootorites, mis on ühendatud elektrigeneraatoriga. On ka võimalus kasutada mikrogaasturbiine, kütuseelemente ja stirlingmootoreid. Kõik need seadmed on mõeldud esmajooneliseks elektri tootmiseks. Üks võimalusi biogaasi kasutamiseks on põletamine selleks kohandatud põletitega keskküttekattlas. Puhastatud biogaasi on võimalik kasutada transpordivahendite kütusena või suunata seda maagaasivõrku. Nendest erinevatest võimalikest kasutuskohtadest on täna realiseeritavad ainult osad. Sellepärast keskendume me ka siin peamiselt täna kasutatava tehnoloogia kirjeldamisele, milleks on elektri ja soojuste koostootmine sise põlemismootorite abil.

### 5.1 Gaasi ettevalmistamine

Biogaas on veeauruga küllastunud ning sisaldab peale metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ) vähesel määral ka väävelvesinikku ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Väävelvesinik on toksiline ja mürgine gaas. Biogaasis oleva veeauruga kokkupuutel tekib divesiiniksulfiidhape ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Hape kahjustab biogaasi torustikku, põletusseadmeid (katel, mootor jm) ja heitgaasi torustikku.

Sellepärast kasutatakse põllumajanduslikes biogaasijaamades tavaliselt biogaasi kuivatamist ja vääveli eraldamist. Sõltuvalt biogaasi kasutamise eesmärkidest võib tekkida vajadus veel täiendavateks ettevalmistustöödeks. Sise põlemismootorite tootjad annavad mootorikütustele ette kvaliteedinõuete miinimumi. Sama kehtib ka biogaasi põletamisel. Gaasi koostis ja omadused peavad olema sellised, et vähendada hooldustööde mahtu ja mootori kahjustumist kütuse poolt. Tabelis 5-1 on toodud põletatava biogaasi miinimumnõuded.

Tabel 5-1: Põletatava biogaasi miinimumnõuded, kui hapnikusisaldus on 5% kuivades suitsugaasides

<b>Tarbimisaine kütteväärtus (minimaalne)</b>	$Q_a$	$\geq 4 \text{ kWh/m}^3$
<b>Väävli sisaldus (kogu)</b>	S	$\leq 2,2 \text{ g/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Või <math>\text{H}_2\text{S}</math> sisaldus</b>	$\text{H}_2\text{S}$	$\leq 0,15 \text{ mahu\%}$
<b>Kloori sisaldus</b>	Cl	$\leq 100 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Fluori sisaldus</b>	F	$\leq 50 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Tahked osakesed (3...10 <math>\mu\text{m}</math>)</b>		$\leq 10 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Relatiivne niiskus</b> (madalaima sisseimetava õhu temperatuuri juures, st mitte mingit kondensaati imitorustikus ja gaasitorustikus)	$\phi$	$< 90\%$
<b>Gaasirõhk enne regulaatorit</b>	$P_g$	20...100 mbar
<b>Gaasirõhu kõikumine</b>		$< \pm 10\%$ kinnitatud väärtusest
<b>Gaasi temperatuur</b>	T	10...50 °C
<b>Süsihappegaas (<math>&gt;C_5</math>)</b>		$< 0,4 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Räni (Si <math>&gt;5 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4</math> õlianalüüsil, metalli sisaldus <math>&lt;15 \text{ mg/kg}</math> õlis)</b>	Si	$< 10 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
<b>Metaaniarv (biogaas MZ u 135)</b>	MZ	$> 135$

#### 5.1.1 Vääveli eraldamine

Vääveli eraldamiseks kasutatakse erinevaid meetodeid. Eristada saab bioloogilist, keemilist ja füüsikalist väävelieraldamist.

Gaasi koostise kõrval on oluline parameeter ka biogaasi voolamise kiirus väävlialdusseadmetes. See võib kõikuda olenevalt kogu protsessi juhtimisest üsna palju. Eriti intensiivset biogaasi tekkimist võib täheldada uue substraadi lisamisel ja segamisel, mil gaas läbib väävlialdusseadet kiiremini. On võimalikud lühiajalised kõikumised kuni 50% üle keskmise, mistõttu kindlaks ja usaldusväärseks väävli eraldamiseks on vaja väga suurt (suure jõudlusega) väävlialdusseadet, vaatamata sellele, et keskmine väävlisisaldus ei ole kõrge.

#### 5.1.1.1 Bioloogiline väävli eraldamine käärituskambris

Bioloogiline väävli eraldamine viiakse läbi käärimiskambris. Selleks on vaja bakterit *Sulfobacter oxydans* ja hapnikku. See bakter muudab väävelvesiniku hapniku juureolekul elementaarseks väävliks. Vaja on ka veel piisavalt toitaineid, mida käärituskambris jätkub. Baktereid ei pea juurde lisama, kuid vajalik hapnik juhitakse käärituskambrisse näiteks väikese kompressoriga.

Tabel 5-2: Bioloogilise väävlialduse iseloomustus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Õhu juurdevool 3-5% tekkiva biogaasi kogusest</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nendel kääritel, millel on gaasiruum kääritusmahuti kohal</li> </ul>
<b>Elised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Väga taskukohase maksumusega</li> <li>+ Seadmed vajavad vähest hooldust ja rikkeid esineb harva</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pole mingit selgust tegelikult tekkiva väävelvesiniku koguse kohta</li> <li>- Pole võimalik sihipäraselt optimeerida väävelvesiniku lagundamist</li> <li>- Hapniku juurdevooluga on võimalik käärimisprotsessi mõjutada</li> <li>- Tugevalt korrodeerivad tingimused gaasiruumis</li> <li>- Ööpäevased ja aastaegadest tingitud temperatuurikõikumised gaasiruumis mõjuvad halvasti väävli eraldamisele</li> <li>- Biogaasi muutuv tekkeprotsess (ajast muutuv gaasikogus) ei soosi väävlialdust</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väävlibakteritele peab olema piisavalt ruumi (pinda) või tuleb teha lisa kasvukohti, sest käärituskambril ristlõikepind ei ole piisav väävli eraldamiseks. Lisapinna moodustamiseks sobivad puidust konstruktsioonid, nt prussidest sarikad kilekatusele</li> <li>• Õhu juurdevoolu reguleerimisega on võimalik optimeerida väävli eraldamist, samuti on võimalik pidev väävelvesiniku mõõtmine</li> <li>• Vajalikud plahvatusklapid, kuna on võimalik plahvatusohtliku gaasisegu tekkimine</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väikesed kompressorid või akvaariumipumbad koos reguleerimisventiiliga. Kätsi juhtimiseks oleks vaja õhukulumõõturit</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei vaja erilist hooldamist</li> </ul>



Joonis 5-1: Gaasi reguleerimine õhu pumpamisel käärituskambrisse; foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH.



Joonis 5-2: Välised bioloogilised väävlialduskolonid, paremal koos gaasihoidlaga; fotod: S ja H GmbH ja CO Umweltengineering KG.



### 5.1.1.2 Bioloogiline väävli eraldamine väljaspool käärituskambrit

Et vältida eelpool mainitud puudusi, saab bioloogilist väävlieraldust teostada ka väljaspool käärituskambrit. Mõnedki firmad pakuvad selleks eraldi mahutis olevaid bioloogilisi väävlieralduskolonne. Nii on võimalik protsessi juhtida nt õhu juurdevoolu suurendamisega. Kääritusjäägi kui väetise omaduste parandamiseks võib eraldatud väävli jälle lõpphoidlasse tagasi juhtida.

Tabel 5-3: Välise bioloogilise väävlieralduse iseloomustamine

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saavutatav üle 99% väävlieraldus (nt 6000 ppm kuni &lt;50 ppm)</li> <li>Olemas seadmetik iga tüüpi biogaasijaamadele</li> <li>Olemas süsteemid gaasikulule alates 10 kuni 1200 m<sup>3</sup>N/h</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kõikidele biogaasijaamadele</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Võimalik eraldada reaalselt tekkinud väävelvesiniku koguseid</li> <li>+ Kindel ja automatiseeritud optimeerimine väävelvesiniku eraldamiseks toitaanete, õhu juurdevoolu ja temperatuuri reguleerimisega</li> <li>+ Õhk ei saa käärimisprotsessi mõjutada</li> <li>+ Tugeva korrosiooni vältimine gaasikogumisruumis</li> <li>+ Pole vaja kasutada kemikaale</li> <li>+ Piisavate mõõtmete juures ei mõju gaasikulu lühiajalised kõikumised gaasi kvaliteedile</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaja lisaseadmeid, mis teevad jaama kallimaks</li> <li>- Vaja täiendavat hooldamist</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vaja plahvatusklappe, kuna on võimalik plahvatusohtliku gaasisegu tekkimine</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metallist või plastist (vaikudega immutatud klaasplastist) kolonn, mahuti või konteiner, mis on täidetud sisemiste konstruktsioonelementidega ja mikroorganismide emulsiooniga</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pikemate perioodide järel on vaja lisada mikroorganisme ja vahetada välja sisemisi konstruktsioonelemente</li> </ul>

### 5.1.1.3 Keemiline väävli eraldamine käärituskambris

Keemilisel eraldamisel juhitakse kääritatavasse substraati keemilist ühendit (kemikaali), mis seob väävli ja ei lase tekkida väävelvesinikul. Tekkiv aine ei lähe kaduma, vaid jääb kääritatud substraati.

Tabel 5-4: Keemiline väävlieraldus käärituskambris

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lisatavateks kemikaalideks sobivad rauasoolad (raud(III)kloriid, raud(II)kloriid), aga ka FeO(OH)</li> <li>Vajadus nt 0,023 l raud(III)kloriidi ühe m<sup>3</sup> biogaasi kohta</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kõikidele märgkääritusega töötavatele biogaasijaamadele</li> </ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Väga hea väävli eraldamine</li> <li>+ Pole vaja eraldi seadet väävli eraldamiseks</li> <li>+ Ei nõua lisahooldamist</li> <li>+ Võimalik doseerida koos sisestatava substraadiga</li> <li>+ Õhk ei mõjuta protsessi</li> <li>+ Vältitakse korrosiooni gaasiruumis</li> <li>+ Tekkiva gaasikulu kõikumised ei mõju gaasi kvaliteedile</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kemikaalide kulu on raske arvestada sisestatavate ainete väävlisisalduse põhjal</li> <li>- Muutuvkulude suurenemine lisatavate kemikaalide vajaduse tõttu</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keemilist väävli eraldamist kasutatakse ka siis, kui bioloogiline eraldamine gaasiruumis hästi ei toimi</li> <li>Raudsulfidi kontsentratsioon mullas võib kiiresti tõusta, kui kääritusjääke põllule laotatakse</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Käsitsi või automaatne doseerimine väikese toiteseadmega</li> <li>Sisestamine lahusena, graanulite või teradena</li> </ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei vaja hooldust</li> </ul>

#### 5.1.1.4 Keemiline väävli eraldamine väljaspool kääriskambrit

Väline eraldamine toimub gaasi pesemise teel väljaspool kääriskambrit asuvas mahutis. Selleks kasutatakse enamasti leelist (naatriumhüdroksiid).

Tabel 5-5: Väline keemiline väävli eraldus

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Võimalik eraldada naatrium- või raudhüdroksiidiga</li><li>• Sõltuvalt tekkivast gaasikogusest ja biogaasijaama suuruselt on võimalik saavutada üle 95% väävli eraldamine</li></ul>
<b>Sobivus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõikidele biogaasijaamadele</li></ul>
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Võimalik mõõta lähtuvalt reaalselt tekkinud väävelvesiniku kogusest</li><li>+ Väävelvesiniku eraldamist saab automaatselt reguleerida leelise lisamisega ja temperatuuri abil</li><li>+ Õhu juurdevool ei mõjuta käärimisprotsessi</li><li>+ Korrosiooni vältimine gaasiruumis</li><li>+ Tekkiva gaasikoguse kõikumised ei mõjuta gaasi kvaliteeti</li></ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Jaama maksumus suureneb lisaseadme tõttu</li><li>- Muutuvkulud kasvavad lisakemikaalide vajaduse tõttu</li><li>- leelise lahendamiseks vaja lisada vett (pole vaja raudhüdroksiidi puhul)</li><li>- Vajab lisahooldust</li></ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vaja kõrvaldada kasutatud leelis, keemilisest vaatenurgast pole problemaatiline (on ainult naatriumhüdroksiidi kasutamisel)</li></ul>
<b>Ehitusvormid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Metallist või plastist (vaikudega immutatud klaasplastist) kolonn, mahuti või konteiner, mis on täidetud sisemiste konstruktsioonielementidega ja kemikaali(leelise) eraldiga</li></ul>
<b>Hooldus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kemikaale peab lisama pikema aja tagant</li><li>• Raudhüdroksiidi on võimalik õhuga mitmekordselt regenereerida, kuid protsessis eraldub palju soojust, mis võib viia süttimiseni.</li></ul>

#### 5.1.2 Kuivatamine

Biogaasi kasutatavate seadmete (mootorid, turbiinid, katlad) kaitsmiseks liigse kulumise ja rikete eest tuleb veeaur biogaasist eraldada. Biogaasis sisalduva vee (veeauru) hulk sõltub gaasi temperatuurist. Biogaasi relatiivne niiskus kääriskambri on 100%, st biogaas on veeaurust küllastunud. Jahtumise käigus kondenseerub osa vett välja. Gaasi mahajahutamine toimub sageli gaasitorustikus. Gaasitorustik ehitatakse vastava langusega ning kõige sügavamas punktis kogutakse vesi ja eraldatakse torustikust. Maa sees olevas torustikus on jahutamise efekt suurem. Biogaasi piisavaks jahutamiseks peab torustik olema ka vastava pikkusega. Maa-alustes torustikes peab jälgima, et ehituse ja eksploatatsiooni käigus ei tekiks torude läbivajumise võimalust ja hilisemat nn veelukkude teket. Vajumise vältimiseks tuleb torustiku alla jäävat pinnast (liivapatja, killustikku) piisavalt tihendada. Koos veeauruga eraldub biogaasist osa mittesoovitavaid komponente, nagu vees lahustuvad gaasid ja aerosoolid. Kondensaati tuleb regulaarselt eemaldada, seega peab väljutuskoht olema kergesti ligipääsetav ja ehitatud külmakindlana.

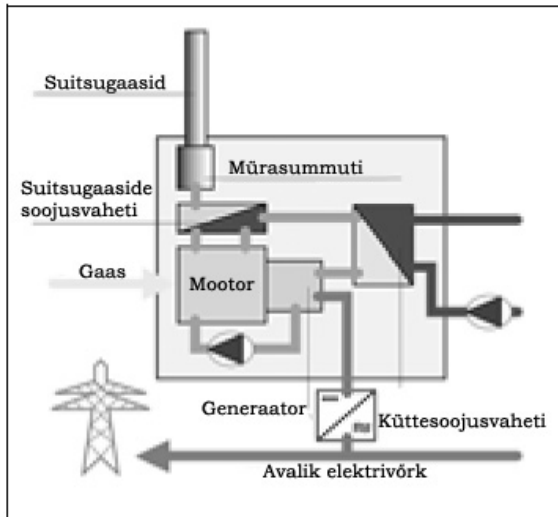
Osas biogaasijaamades toimub jahutamine elektriliste gaasijahutitega. Madalate temperatuuride juures, alla 10°C, saab enamiku niiskusest eraldada. Gaasi suhtelise mitte absoluutse niiskuse minimeerimiseks võib gaasi pärast jahutamist jälle soojendada, seejuures on võimalik vältida kondensaadi teket järgnevas gaasitorustikus.

## 5.2 Gaasi kasutamine – elektri ja soojuste koostootmine

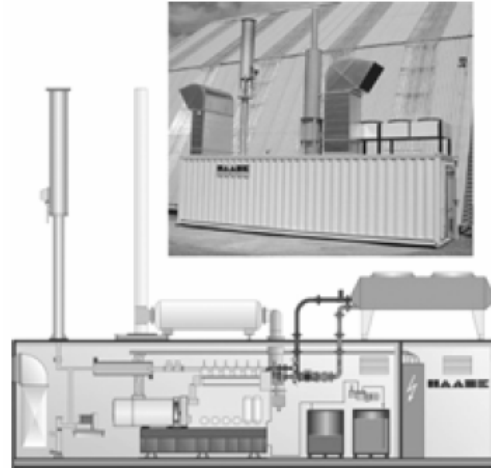
Peaaegu igas biogaasijaamas kasutatakse elektri ja soojuste koostootmiseks sisepõlemismootoreid, mis on ühendatud elektrigeneraatoriga. Mootorid töötavad kindla pöörde arvuga (1500 p/min), et sama võlliga ühendatud generaator oleks elektrivõrguga sünkroniseeritav. Generaatori käivitamiseks kasutatakse peale sisepõlemismootorite ka mikrogaasturbiine ja stirlingmootoreid. Kuna viimati nimetatud seadmed on veel arengujärgus või prototüüpide faasis, siis siin käsitletakse peamiselt sisepõlemismootoreid.

### 5.2.1 Soojuse ja elektri koostootmise seade sise põlemismootoriga (SEK, saksa k BHKW)

SEK–moodulis on lisaks sise põlemismootorile ka sobiv generaator, soojusvaheti heitgaaside, mootori jahutusvedeliku ja õlitussüsteemis tekkiva soojuse taaskasutamiseks kaugküttesüsteemis ja biogaasijaamas kääritusmahutite soojendamiseks, elektri- ja juhtimisseadmed energia juhtimiseks elektrivõrku ja ka kogu SEK automaatjuhtimisseadmed. Mootoritena kasutatakse gaas-otto-, gaas-diiselmootoreid või sädesüütega diiselmootoreid, viimast kasutatakse just kõige tihedamini viimasel ajal. Gaas-diiselmootorite ja gaas-ottomootorite juures ei kasutata lisa süüteõli. Erinevus seisneb üksnes tihendites. Edaspidi nimetatakse mõlemaid gaas-ottomootoriteks.



Joonis 5-3: SEK-i skemaatiline joonis, skeem: ASUE.



Joonis 5-4: Biogaasil töötav SEK, komplektne moodul koos küünal põletiga; Joonis: Haase Energietechnik AG.

#### 5.2.1.1 Gaas-ottomootorid

Need on spetsiaalselt gaasi põletamiseks arendatud mootorid, mis töötavad nn Otto ringprotsessil. Mootorite heitgaasides on lämmastikoksiidi sisaldus viidud minimaalseks, sest need töötavad suure liigõhuteguriga ja lahja kütusega. Mootorid kasutavad vähem kütust ja alaneb ühikvõimsus, mida kompenseeritakse heitgaasidel töötava turbokompressori kasutamisega (komprimeerib silindritesse antavat õhku). Ottomootorites põletatava biogaasi metaani sisaldus võib olla minimaalselt u 45%. Madalama metaani sisalduse juures lülitab mootor ennast välja. Väiksemate mootorite juures, umbes 100 kW<sub>el</sub>, kasutatakse ottomootori kontseptsiooniga blokke. Suuremate elektriliste võimsuste juures kasutatakse ümberehitatud ja süüteküünaldega diiselmootoreid. Mõlemad töötavad Otto ringprotsessil ja on nn gaas-ottomootorid.

Tabel 5-6: Gaas-ottomootorite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektriline võimsus kuni <math>\leq 1</math> MW, alla 100 kW harva kasutuses</li> <li>• Elektriline kasutegur 34-40% (suurema nimiväärtuse juures, kui 300 kW)</li> <li>• Töötunde kapitalremondini u 60 000</li> <li>• Kasutatav alates 45% metaani sisaldusest</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikidele biogaasijaamadele, majanduslikult mõttekam suuremates
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Spetsiaalselt konstrueeritud gaasi põletamisele</li> <li>+ Võimalik kinni pidada emissiooni piirangutest</li> <li>+ Vähene hooldusvajadus</li> <li>+ Keskmise kasutegur nagu sädesüütega diiselmootoritel</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maksumus veidi suurem sädesüütega diiselmootoritest</li> <li>- Väiksemate mootorite tõttu tootmiskulud suuremad</li> <li>- Väiksema jõudlusega töötamise korral on kasutegur väiksem kui sädesüütega diiselmootoritel</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vajab lisajahutit juhul kui heitsoojust ei saa protsessides (ka kütteks) kasutada</li> <li>• Jõudlust reguleeritakse vastavalt gaasi kvaliteedile</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Iseseisev agregaat eraldiasuvas hoones või konteineris
<b>Hooldus</b>	• Vaata peatükist „Hooldus“ (ptk. 5.2.1.8)

Kui biogaasi ei jätku või saab see mingil põhjusel otsa, võib neid mootoreid käitada ka maagaasiga. Seda võib vaja minna biogaasijaamas protsesside käivitamise staadiumis, et mootori töötamise tulemusel tekkivat soojust kasutada käärituskambri temperatuuri tõstmiseks. Selleks peab olema paigaldatud ka vastav lisatorustik (maagaasisisend).

### 5.2.1.2 Sädesüütega diiselmootorid

Elektrilise sädesüütega diiselmootorid töötavad Diesel ringprotsessil. Neid mootoreid kasutatakse tihti traktori- või autotööstuses. Need ei ole spetsiaalselt ehitatud gaasi põletamiseks, vaid sageli ainult modifitseeritud selleks otstarbeks. Biogaas segatakse õhuga vastavas segistis ja suunatakse põlemiskambrisse, kuhu lisatakse sissepritse seadme kaudu ka süüteõli (nt diislikütus), millega süüdatakse gaasisegu. Tavaliselt reguleeritakse see nii, et süüteõli energiasisaldus ei ületa 10% mootoris kütusega antavast energiast. Süüteõli vähese sisalduse tõttu võib juhtuda, et ebaõigel jahutamisel sissepritse düüsid šlakkuvad (koksistuvad). Ka siin kasutatakse suuremat liigõhutegurit. Võimsust reguleeritakse süüteõli või gaasi kuluga. Biogaasi lõppemise korral võivad mootorid ka diislikütusega või süüteõliga töötada. Reservkütusele ümberlülitamine on lihtne ja probleemidevaba. Süüteõlilis kasutatakse tänapäeval diislikütust või kerget kütteõli, aga alternatiiviks võib olla ka biodiislikütus (DME) või külmpressitud taimeõli. Viimaste kasutamisel on vaja kinni pidada mootoritootja poolt kehtestatud kvaliteedinõuetest. Kusjuures kõik mootoritootjad ei anna garantiid biodiislikütuse ja taimeõli kasutamise korral. Viimaste kasutamise eeliseks on arvestusliku süsihappegaasi emisiooni puudumine ja vähenenud vääveloksiidide heide. Ökoloogilisest vaatenurgast on mõttekas kasutada avariijuhtudel taastuvatest energiaallikatest toodetud kütuseid. Tehnilisest vaatenurgast vaadatuna peab arvestama filtri kiirema kulumisega, düüside saastumisega ja taimeõlide suurema viskoossusega. Tagajärjeks on ka suurenenud N<sub>2</sub>O (naerugaasi) heide.

Tabel 5-7: Sädesüütega diiselmootorite omadused

<b>Suurused, omadused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vajab kuni 10% süüteõli</li> <li>• Elektriline võimsus kuni u 250 kW</li> <li>• Töötunde kapitaalremondini u 35 000</li> <li>• Elektriline kasutegur 34-40% (väiksemates biogaasijaamades ainult 30%)</li> </ul>
<b>Sobivus</b>	• Kõikides biogaasijaamades, majanduslikult mõttekam väiksemates
<b>Eelised</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Soodne kasutada standardmootoreid</li> <li>+ Väiksemate tootmismahdade juures kõrgem elektriline kasutegur kui ottomootoritel</li> </ul>
<b>Miinused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sissepritse düüside koksistumine suurendab heitgaaside osakaalu (NO<sub>x</sub>) ja nõuab sagedasemat hooldamist</li> <li>- Mootoreid ei arendata spetsiaalselt biogaasi põletamiseks</li> <li>- Üldine kasutegur väiksem, võrreldes ottomootoritega</li> <li>- Peab kasutama lisakütust – süüteõli</li> <li>- Heitgaaside hulk on tihti lubatust suurem</li> </ul>
<b>Erisused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vajab lisajahutit juhul, kui heitsoojust ei saa protsessides (ka kütteks) kasutada</li> <li>• Jõudlust reguleeritakse vastavalt gaasi kvaliteedile</li> </ul>
<b>Ehitusvormid</b>	• Iseseisev agregaat eraldi asuvas hoones või konteineris
<b>Hooldus</b>	• Vaata peatükist „Hooldus” (ptk. 5.2.1.8)

### 5.2.1.3 Kahjulike ainete vähendamine ja heitgaaside puhastamine

Alates 1 MW võimsusest vajavad statsionaarsed biogaasijaamad (CHPga) seaduse järgi ametlikku luba. Sellest tulenevalt on ka ettekirjutused õhu saastamise kohta. Tabelis 5-8 on ära toodud õhuheitmete arvvaartused. Erinevatele mootoritüüpidele on kehtestatud erinevad heitnormid (heitmete piirvaartused). Väiksemaid biogaasijaamu ei peeta õhu saastamise kohalt nii oluliseks ja nende käitamiseks saastelubasid ei nõuta. Küll aga peavad nemadki heitmenormidest kinni pidama, sest aeg-ajalt toimuvad kontrollimised.

Tabel 5-8: Emisiooni piirväärtused aastast 2002

Saasteaine	Mõõtühik	Gaas-ottomootorid		Sädesüütega diiselmootorid	
<b>Võimsus kütuse järgi</b>	MW	<3	≥3	<3	≥3
<b>Vingugaas</b>	mg/m <sup>3</sup>	1000	650	2000	650
<b>Lämmastikoksiidid</b>	mg/m <sup>3</sup>	500	500	1000	500
<b>Vääveloksiidid</b>	mg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350
<b>Tahked osakesed</b>	mg/m <sup>3</sup>	20	20	20	20
<b>Lenduvad orgaanilised ühendid, nt formaldehüüdid</b>	mg/m <sup>3</sup>	60	20	60	60

Õhu saastamise vältimiseks on võimalik lisada heitgaaside puhastaja. Vääveldioksiid moodustub näiteks kääritamisel tekkinud väävelvesiniku põlemisel. Kui väävelvesiniku kontsentratsioon on madal, siis ei teki oluliselt vääveldioksiidi.

Lämmastikoksiidi emisiooni minimeerimiseks lastakse mootoritel töötada madalamal võimsusel. Tänu sellele saab mootori töötemperatuuri alandada ja lämmastikoksiidide teket vähendada.

Biogaasi põletamisel tavaliselt katalüsaatoreid ei kasutata. Biogaasis sisalduvad lisaained (nagu väävelvesinik) vähendavad katalüsaatori aktiivsust ja halvendavad nende tööd.

Gaas-ottomootorid täidavad tavaliselt heitmete etteantud piirväärtusi.

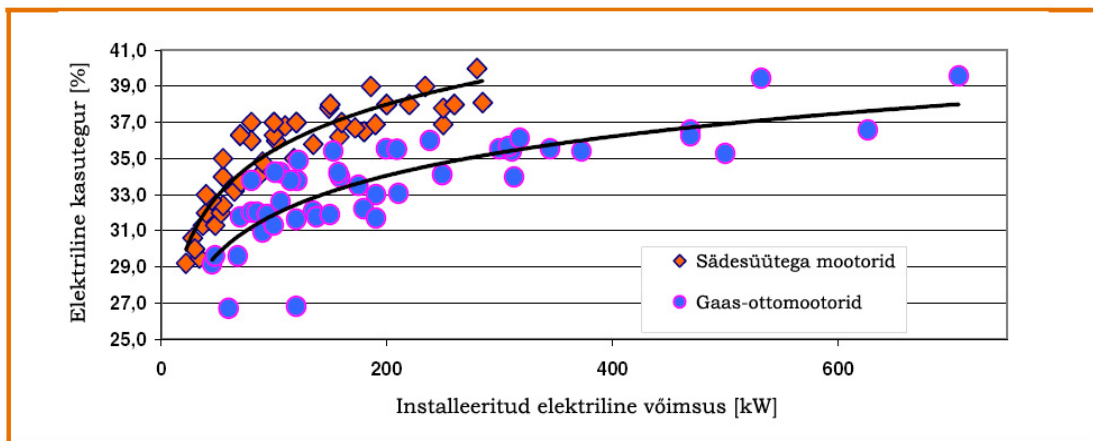
Sädesüütega diiselmootoritel on heitmete piirväärtustega raskem toime tulla. Sageli ületatakse lämmastikoksiidide ja vingugaasi (CO) piirväärtusi. Sädesüütega diiselmootorites kasutatava süüteõli tõttu on ka heitgaasides tahkeid osakesi (tahma).

#### 5.2.1.4 Generaatorid

Soojuse ja elektri koostootmisjaamades kasutatakse kas asünkroon- või sünkroongeneraatoreid. Asünkroongeneraatoreid kasutatakse väiksemates, umbes 100 kW, jaamades. Suuremate biogaasijaamade soojuse ja elektri koostootmise seadmetes kasutatakse tavaliselt sünkroongeneraatoreid.

#### 5.2.1.5 Elektriline kasutegur ja tootlikkus

Kasutegur iseloomustab soojuse ja elektri koostootmisel kasutatud kütuse kasutamist ja selle alusel hinnatakse seadme efektiivsust. Üldine kasutegur iseloomustab nii elektrilist kui ka soojuslikku efektiivsust ja on tavaliselt 80-90%. Ottomootorite ja sädesüütega diiselmootorite puhul kehtib tavaliselt rusikareeglid, et elektriline kasutegur on 1/3 ja soojuslik kasutegur on 2/3 üldisest kasutegurist.



Joonis 5-5: Biogaasil töötava SEKi elektriline kasutegur vastavalt tootja andmetele.

Elektriline kasutegur koosneb mehaanilisest ja generaatori kasutegurist. Sädesüütega diiselmootorite elektriline kasutegur on 30-40% ja on väiksematel koormustel sama elektritoodangu juures parem, kui gaas-ottomootoritel. Gaas-ottomootoritel on see 34-40% ja suuremate elektriliste võimsuste juures suureneb ka kasutegur. Kuna mootorite tootjad on katsetused läbi viinud maagaasiga, siis on biogaasi kasutamisel tootlikkus madalam ja kasutusiga lühem. Praktikas juhtub harva, et masinad töötavad pikaajaliselt täisvõimsusel, aga osalisel koormusel töötades langeb kasutegur kohe. Selline



seos on kindlasti sõltuv seadmetest ja nende tehnilistest parameetritest. Siin tuleb jälle arvestada, et seadme tehnilised parameetrid on määratud maagaasiga katsetuste tulemusel.

### 5.2.1.6 Soojuse eraldumine

Elektritootmise juures tekkivat soojust on võimalik kasutada soojusvaheti vahendusel. Soojuskandjate temperatuurivahemik võib olla väga suur. Kõige suurema soojushulga saab mootori jahutussüsteemist. Sobiva temperatuuri tõttu saab seda ka kohe kasutada kääritusmahutis toimuva käärimisprotsessi soojendamiseks. Joonisel 5-6 on näidatud ühte soojuse jaotussõlme. Soojuse ülekande jahutussüsteemis ringlevalt vedelikult sekundaarsüsteemis (nt mahutite soojendusvesi) ringlevale vedelikule toimub plaatsoojusvahetis. Ülekantud soojus jagatakse ära erinevate küttekontuuride vahel.

Mootori heitgaaside temperatuurivahemik on u 460-550°C. Soojuse ülekandmiseks heitgaasidelt kütteveele kasutatakse peamiselt roostevabast terasest toru-torus soojusvaheteid. SEKist saadakse kiiresti kogu biogaasijaama tööks vajalik soojus. Tavaliselt jääb talvel soojust vähem üle ja suvel on kindlasti vaja lisajahutit liigest soojusest vabanemiseks (seda pehme talvega maades, kus kasutatakse vähe soojust hoonete kütmiseks). Käärituskambris vajatakse üldjuhul 25-40% kogu tekkinud soojusest. Ülejäänud soojust saab kasutada näiteks substraatide pastöriseerimiseks või ka lähedalasuvate elamute kütteks. Soojuse ja elektri koostootmisjaamad on varustatud vastavate seadmetega ja lihtsalt ühendatavad küttesüsteemidega (nt kaugküttevõrguga). Kui aga biogaasi tekkeprotsess peaks seiskuma, siis on kütmiseks vaja tagavaravarianti. Ülejäänud soojuse kasutamiseks on oluline arvestada põllumajandusliku ettevõtte struktuuri (nuumasigala, nuumalindla). Soojust saaks kasutada sigalate ja lindlate põrandaküttes, et vältida sõnniku külmumist talvel. Kahjuks ei ole lautades ja lindlates võimalik aastaringiselt soojust pidevalt ja stabiilselt kasutada.

See on ka põhjuseks, miks paljudele ettevõtetele on soojustarbija leidmine just majandusliku tasuvuse võtmeks. Tuleks parandada käärituskambri soojustust ja soojust käärituskambris efektiivsemalt kasutada. Soojuse müümise juures peab ka seda arvestama, et biogaasijaama (ka SEK-i) hooldusperioodidel ja avariide korral ei ole midagi pakkuda, juhul kui ei ole kasutada reservkütust ja –seadmeid (nt vedelkütuse katelt). Potentsiaalsed kasutajad on lähedal olevad tööstuspiirkonnad, elamupiirkonnad ja ka kasvuhooned, kalakasvatused, piimatöötlemine, puidu kuivatamine jne. Suurt potentsiaali omavad erinevad tehnoloogilised protsessid (nt kuivatusprotsessid) oma suure energiavajadusega. Üheks võimaluseks on ka jahutuse (külma) tootmine (vaata peatükk 5.3).

Soojuse kasutamises nähakse Lääne-, Lõuna- ja Kesk-Euroopas tänapäeval suurt potentsiaali. Siiski on praegu majanduslikult tasuvad projektid pigem erandid. Kuid tegelikult on võimalik leida ettevõttele lisa sissetulekuallikaid ja saavutada suuremat majanduslikku tõhusust.

Mootori jahutamine peab toimuma ka ilma, et seda soojust järgnevalt kasutatakse, eriti suvisel ajal, et vältida ülekuumenemisest tekkivaid kahjusid. Mootori jahutussüsteemis eraldunud soojus kantakse üle ümbritsevasse keskkonda nn avariijahutite abil.

### 5.2.1.7 Gaasi reguleerimise teelõik

Mootorite töö efektiivsuse kindlustamiseks on biogaasi füüsikalistele parameetritele kehtestatud piirnõrmed. Olulisim on gaasi



Joonis 5-6: Soojuse jaotussõlm; foto MT-Energie-GmbH



Joonis 5-7: SEK koos gaasi reguleerimissõlmega (hele torustik); foto: MT-Energie GmbH.



rõhk, mille juures biogaas juhitakse mootorisse, ja ka gaasi kulu. Kui neid parameetreid ei suudeta täita ehk ei teki piisavalt biogaasi, siis lülitatakse mootor välja või reguleeritakse tööle madalama võimsusega. Konstantsete parameetrite hoidmiseks on vaja paigaldada vastavad seadmed, mis reguleerivad gaasi kulu ja rõhku vahetult mootori ees.

Gaasi reguleerimissõlm ja kogu gaasitrass peab vastama ettenähtud tingimustele. Kõik gaasitrassid peavad olema värvitud kollaseks või märgistatud kollase joonega. Reguleerimissõlm peab omama kahte iseseisvalt sulguvat ventiili (magnetventiilid): üks neist – sulgventiil (enne mootoriruumi), teine – leegisummutusventiil, lisaks ka alarõhu mõõturit. Mõistlik oleks paigaldada gaasi kulumõõtur tarbitava gaasikoguse mõõtmiseks ja filter peenosakeste eraldamiseks. Kui vaja, siis lisatakse ka veel gaasikompressor. Joonisel 5-7 on toodud näitena üks gaasireguleerimissõlm Saksamaal.

Väga oluline on paigaldada gaasitorustikule kondensvee kogumiseks ja eraldamiseks sobivad seadmed, sest isegi väike veekogus võib madala gaasi rõhu juures põhjustada gaasitorustikus ummistusi.

### 5.2.1.8 Töötamine, hooldus, teenindus ja ruumid

Biogaasi kasutamine SEKides vajab ka teatud raamtingimusi, mida peab järgima. Lisaks kogu biogaasijaama hooldamisele on SEKi agregaatidele omad hooldusintervallid mida peab järgima. Omad ohutusnõuded on mootoriruumis valitsevatele tingimustele.

#### Töötamine

SEK toimimine on reguleeritud mitmete juhistega, normatiiv- ja õigusaktidega. Reaalse igapäeva töö juhtimine toimub automatiseeritult (võimalik ka programmeerida). Töökindluse ning õigeaegse hoolduse ja ennetavate remontide tagamiseks tuleks koguda järgmisi andmeid ja kirjutada päevaraamatusse (saab korraldada ka arvutipõhiselt):

- Töötundide arv
- Käivituste arv
- Elektritoodang (kWh)
- Soojustoodang (MWh)
- Mootori jahutusvedeliku temperatuur
- Küttesüsteemi vedeliku temperatuur nii sisse- kui väljavoolul
- Jahutusvedeliku rõhk
- Õlirõhk
- Heitgaasi temperatuur
- Heitgaasi vasturõhk
- Kütusekulu (nt ööpäevas põletatud gaasikogus gaasikulumõõtja näitude alusel)
- Toodetud energia (elektriline + soojuslik)

Need andmed registreerib tavaliselt automaatjuhtimissüsteem (juhtarvuti). SEKi juhtimist saab eraldada kõikidest teistest biogaasi tootmisprotsessi lülidest juhtimisest nagu ka andmete vahetamist tsentraalse juhtimissüsteemiga. Täheleb, et biogaasijaama ja SEKi saab juhtida ning andmeid vahetada interneti teel. Kui tootjafirma on jäänud seadmete hooldajaks, saab temagi kaugjuhtimise teel välja selgitada häirete põhjusi ja mõnel juhul neid ka likvideerida. Igapäevane visuaalne kontroll on aga vaatamata elektroonilisele kontrollile siiski vajalik.

Elektrilise sädesüütega diiselmootoritega SEKide puhul on vajalik lisaks gaasikulule (-hulgale) mõõta ka süüteõli kogust. EL taastuvenergia tootmise nõuete kohaselt ei tohi süüteõli kogus olla suurem kui 10%. Seega on mõtet tulemusi vaja tõestamiseks, et saada taastuvenergiaga seotud toetusi.

Soojuse toodangu ja selle muutuste jälgimise jaoks peab üles kirjutama (või automaatselt registreerima) soojusmõõturi näite (arvutatakse soojushulgad). Nii on võimalik suhteliselt täpselt hinnata, kui suur osa soojusest on vaja suunata käärimisprotsessi käiguhoidmiseks ja kui palju saavad teised soojustarbijad (nt elanikkond).

Selleks, et mootor saaks normaalselt töötada, on vaja tõsta gaasi rõhku enne gaasi reguleerimissõlme. Kui gaasi kogumine ja salvestamine toimub atmosfäärirõhul (või väikesel ülerõhul), siis tuleb kasutada gaasikompressorit.

Mootorite juures on väga oluline roll ka määrdelil. Määrdelide abil neutraliseeritakse mootoris tekkinud happed. Õlivahetuse põhjusteks on õli vananemine, määrdumine ja nitreerumine, st väheneb hapete neutraliseerimisvõime. Vastavalt mootorile, õli tüübile ja töötundide arvule tuleb õli regulaarselt vahetada. Enne korralist õlivahetust tuleks võtta õliproov, mida analüüsitakse spetsiaalses laboris. Selle põhjal saab määrata õlivahetuste intervalli ja ka mootori kulumisastme. Õlivahetuse sageduse vähendamiseks suurendatakse sageli õlimahutit (karteri mahtu), mida ka paljud mootoritööajad pakuvad.

## Hooldus

Tootja poolt määratud hooldusintervallidest kinnipidamine on eelduseks, et biogaasil töötav mootor töötaks häireteta ja säiliks pikaajalisena. Hoolduse hulka kuuluvad õlivahetused, filtrite vahetused ja kuluvate detailide vahetused. Mittepiisav hooldus ja korrashoid võivad viia seadmete kahjustusteni ja ka väga suurte rahaliste kahjudeni.

Iga mootoritootja pakub ka inspekteerimis- ja hooldusplaani. Nendes plaanides on kirjas, milliseid tegevusi ja mis aja tagant tuleb hooldus- või korrastustööde ajal teha. Ajaline vahe erinevateks töödeks sõltub mootori tüübist. Mootorite tootjate korraldatud koolitustel õpetatakse lihtsamaid hooldustöid ise tegema. Hooldusplaanide kõrval pakutakse ka teeninduslepinguid. Enne mootori ostmist peaksid ka mõned teenindamise tingimused olema kokku lepitud. Eriti olulised on järgnevad punktid:

- Milliseid töid viib läbi mootori kasutaja?
- Millises teeninduslepingu vormis kokku lepitakse?
- Kes varustab vajalike materjalidega?
- Mis aja jooksul peab remontimine olema läbi viidud?
- Kui pikk on lepingu kestvus?
- Kas lepingu aja sisse jääb ka suur reviiis (mootori audit)?
- Kuidas lahendatakse plaanivälised probleemid?

Sellest, mida sisaldab teenindusleping ja mis tööd sinna alla käivad, sõltub see, mida mootori omanik saab ise teha.

**Inspekteerimisleping** käsitleb kõiki vahendeid ja tegevusi olukorra kindlaks tegemiseks ja selgitamiseks inspekteerimise käigus. Tasustamine võib olla inspekteerimise korra kohaselt (nt üks inspekteerimine maksab X krooni) või makstakse reaalselt kulutatud töötundide järgi. Selgeks on vaja teha ka see, kas inspekteerimine toimub ühekordselt või regulaarselt.

**Hooldusleping** sisaldab kõiki töid ja tegevusi, mida peab hooldusperioodil tegema. Koostada tuleb kõikide tegevuste nimekiri ja märkida, milliseid neist hakkab leping hõlmama. Tegevused peavad olema läbi viidud perioodiliselt või vastavalt tekkivatele olukordadele. Lepingupartnerid võivad hinna kokku leppida ühe korra kohta või vastavalt töömahule.

**Remonttööde leping** käsitleb kõiki töid ja tegevusi, et taastada seadmete korrasolek. Kohustused pannakse paika üksikjuhtumite tingimustest.

**Korrashoiuleping, ka täishooldusleping** käsitleb vahendeid ja tegevusi ettevõtte täieliku töökindluse tagamiseks (hooldus- ja remonttööd, asendamine tagavaraosadega ning vajalike kulumaterjalide (nt õli) muretsemine ja paigaldamine). Ka üks nn kapitaalremont oleks vaja lepingusse kirjutada (oleneb lepingu pikkusest, tavaliselt 10 aastat). See leping tähendab sisuliselt garantii pakkumist.

Sädesüütega diiselmootoritel on kapitaalremondieelne eluiga keskmiselt 35 000 töötundi, mis aastase 8000 töötundi juures on umbes 4,5 aastat. Seejärel vajab mootor kapitaalremonti, kusjuures paljudel juhtudel on otstarbekam mootor välja vahetada, kuna mootori odava hinna tõttu ei tasu kapitaalremonti teha. Gaas-ottomootorite puhul võib arvestada 45 000 töötunniga ehk 5,5 aastaga, siis läheb mootor kapitaalremonti. Kapitaalremondi käigus vahetatakse peaaegu kõik osad kuni mootoribloki ja väntvõllini välja. Pärast sellist remonti eeldatakse, et mootor töötab sama kaua veel. Tööiga on väga suures sõltuvuses mootori õigest ja regulaarsest hooldamisest, mistõttu erinevate mootorite hooldusjärgne tööiga erineb palju.



Joonis 5-8: Eraldiseisvasse hoonesse paigutatud konteinertüüpi SEK; fotod: Seva Energie AG.

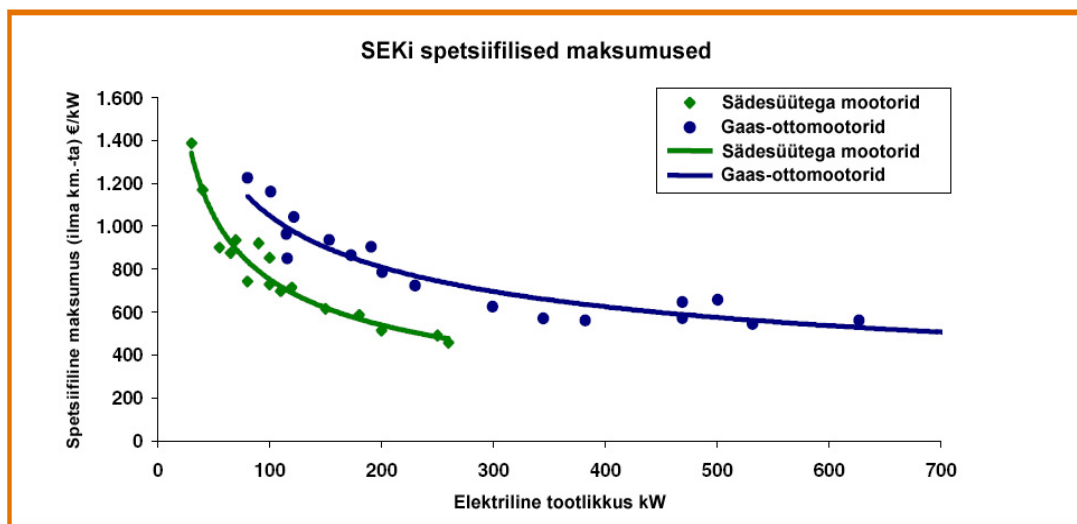
## Mootoriruumid

SEKid peavad asetsema ainult selleks ettenähtud ruumides. Et vähendada müra peaksid need ruumid olema müraisolatsiooniga. Lisaks hooldustööde tegemiseks vajalikule ruumile peab ruumis ka piisavalt õhku olema, et rahuldada mootori õhuvajadust. Siin võib vaja minna vastavaid õhuventilaatoreid.

Pakutakse ka väljapoole siseruume paigutatavaid summutatud konteinereid. Neid mooduleid pakub tavaliselt mootori tootja. Üheks konteineri eeliseks on ka kogu komplekti kokkupanek ja katsetamine juba mootoritootja poolt. Sellega hoitakse ehitusel kokku 1-2 päeva, sest mootor on juba kohale tuues töövalmis.

### 5.2.1.9 Maksumus

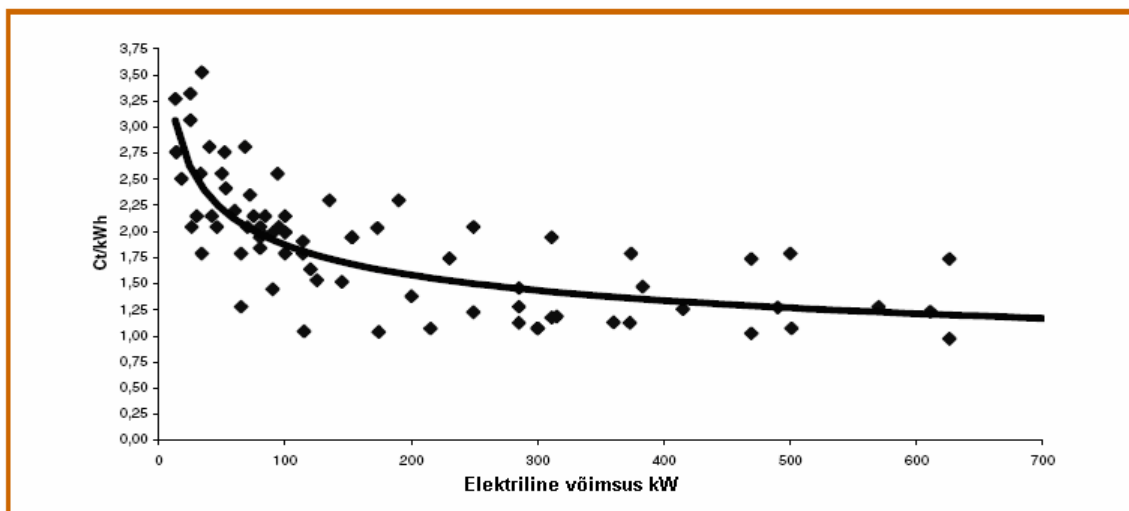
SEKi maksumus sõltub paljuski valitud mootoritüübist. Sädesüütega diiselmootorid valitakse tavaliselt seeriatootmises olevate mootorite seast, gaas-ottomootoreid mitte. Seepärast on ka sädesüütega diiselmootorid odavamad. Hinnad kõiguvad laias vahemikus. Umbes 200 kW<sub>el</sub> võimsusega SEKi sädesüütega diiselmootor võib maksta umbes 550 €/kW<sub>el</sub> ja gaas-ottomootor sama SEKi võimsuse juures 800 €/kW<sub>el</sub> (vt joonis 5-9). Erimaksumused vähenevad, kui tegemist on suuremate mootoritega. Võrdlemiseks peab alati vaatama ka kasutegurit. Suurema kasuteguriga mootorid maksavad tavaliselt rohkem, seda hinda on aga võimalik tänu suuremale toodangule (soojuse- ja elektrimüügile) tagasi teenida.



Joonis 5-9: Soojuse ja elektri koostootmisjaama erimaksumus.

Sädesüütega diiselmootorite puhul peab arvestama ka pidevalt vajatava süüteõli ja selle mahuti maksumusega. Sädesüütega diiselmootorite korral tuleb sama gaasikulu juures valida suurem mootor, sest lisaks biogaasile on ka süüteõli kogust vaja arvestada. Hinnavõrdlust erinevatele SEKidele on väga raske teha, sest üksikute pakkumiste hinnaerinevused on küllaltki suured. Et saavutada võrdlusmomenti, on vaja koostada väga täpne pakkumisküsimustik. Sellegipoolest on hinnapakumiste võrdlus väga oluline, et eristada kõige odavamat pakkumist kõige soodsamast (optimaalsemest).

Lisaks ostusummale peab arvestama ka hooldus- ja remondikuludega. Hinnad sõltuvad muidugi üsna palju ka sõlmitud hoolduslepingust. Jämedalt hinnates on sellised kulutused vahemikus 1,0-1,8 euro senti toodetud elektri kW kohta täishoolduslepingu korral. Joonis 5-10 näitab täishoolduskulusid sõltuvalt mootori elektrilisest võimsusest. Kuna mootorid ei tööta kogu aeg täisvõimsusel, mis vähendab toodetud energia hulka, siis paljud tootjad pakuvad hinnapakette vastavalt töötundide arvule.



Joonis 5-10: Täishoolduskulud olenevalt võimsusest.

SEKi ostmisel pakub müüja erinevaid lepinguid. Nendes määratakse erinev vastutuse ulatus (kes kui palju ja mille eest vastutab). Planeerimine, finantseerimine, ehitamine, hooldamine jne on tegevused, mille teostamine lepitakse omavahel kokku. Kui müüjale jääb palju kohustusi, pole sugugi ebatavaline, et temagi saab mingi osa tekkivast kasumist. See on koht, kus on palju erinevaid võimalusi hinnakokkulepeteks ja vastutuse jagamiseks.

### 5.2.2 Stirlingmootorite kasutamine

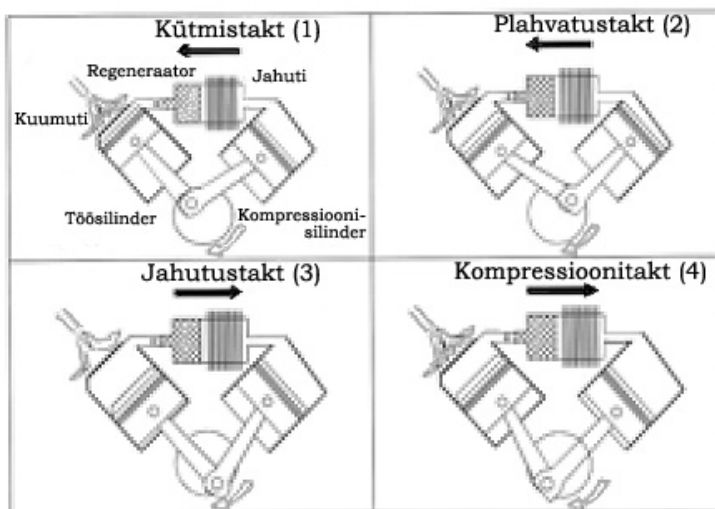
Stirlingmootor on nn välispõlemismootor ehk kuumgaasimootor. Siin ei pane kolbi liikuma silindris kütuse plahvatuslikul põlemisel tekkivate gaaside paisumise jõud nagu sisepõlemismootorites, vaid mootor asub kuumade põlemisgaaside keskkonnas ja gaasidelt mootori sees asuvale gaasile (nt heelium) ülekanduv soojushulk kuumutab gaasi ja selle paisumise jõul liigutatakse kolbi silindris. Tänu sellele, et soojusallikas on eraldatud töötavast kehast (kolb), saab kasutada ka erinevaid soojusallikaid, nagu näiteks biogaasipõleti, puitkütuse kolle jne.

Stirlingmootorite tööpõhimõte seisneb selles, et gaaside maht sõltub temperatuurist. Kui gaas (heelium) ringleb mootoris madala ja kõrgema temperatuuriga tsoonide (jahuti ja kuumuti) vahel, teeb see tööd ja paneb mootori kolvi edasi-tagasi katkematult liikuma. Joonisel 5-11 on toodud stirlingmootori tööpõhimõtte skeem.

Tänu pidevale põlemisprotsessile on stirlingmootoritel madal heitmete emissioon ja ka madal müratase ning need vajavad vähest hooldust. Viimane on tingitud sellest, et detailide koormus on väike ja gaas ringleb kinnises süsteemis. Kui koldes põletatakse tahkeid kütuseid (puit, turvas), siis võivad tekkida mootori silindri välise pinna saastumise probleemid. Elektriline kasutegur on küll väiksem kui tavalistel gaas-ottomootoritel ja jääb vahemikku 24-28%.

Stirlingmootorite elektriline võimsus jääb enamasti alla 50 kW. Kolde heitgaaside temperatuurid on vahemikus 250 kuni 300°C.

Tänu välispõlemisele (mootorivälise põlemine) ei esitata ka kõrgeid nõudmisi biogaasi kvaliteedile, mistõttu saab ka kasutada ka madala metaanisaldusega biogaasi. Maagaasil töötavaid väikese võimsusega stirlingmootoreid on turul saada. Selleks, et stirlingmootoreid



Joonis 5-11: Stirlingmootori tööpõhimõte.

muuta biogaasi põletamisel konkurentsivõimelisteks, vajavad need veel tublisti tehnilist täiustamist. Saksamaal töötavad biogaasiga mõned katselised stirlingmootorid võimsusega 40 kW<sub>el</sub>.

### 5.2.3 Mikrogaasturbiinide kasutamine

Gaasturbiinides imetakse ümbritsevast keskkonnast õhku ja komprimeeritakse see kõrge rõhuni. Õhk juhitakse põlemiskambrisse, kuhu lisatakse ka biogaasi ja kus toimub segu põlemine. Seejuures toimub temperatuuri tõus ja suureneb gaaside maht. Kuumad gaasid suunatakse turbiini labade vahele, kus nad paisudes teevad tööd ja panevad turbiini töörrattad pöörlema. Vabanev energia on tunduvalt suurem kui see, mida vajati õhu kokkusurumiseks. Ülejäänud, mida ei vajata õhu kokkusurumiseks, kasutatakse elektrigeneraatori käitamiseks ja elektri tootmiseks. Kompressor, turbiin ja generaator on paigutatud ühele võllile ja need töötavad sünkroonselt.

Mikrogaasturbiinideks või lihtsalt gaasturbiinideks nimetatakse väikseid kiirekäigulisi gaasturbiine võimsusega vähem kui 200 kW<sub>el</sub>, ja kus temperatuur ja rõhk põlemiskambris on madalad. Mikrogaasturbiinid on arendatud auto- ja lennukitööstuses ja põhinevad seal tehtavatel turbomootoritel. Praegu on vaid üksikud mikrogaasturbiinide tootjad Ameerikas ja Euroopas. Et parandada kasutegurit, oleks vaja vastupidiselt tavalistele gaasturbiinidele kasutatavat õhku ette soojendada. Mikroturbiini ehitus on toodud joonisel 5-12.

Pöörete arvu juures u 96 000 p/min toodetakse generaatoris kõrgsageduslikku vahelduvvoolu, mis muudetakse vastavas seadmes sobivaks vooluvõrku suunamiseks. Kui mikrogaasturbiinides põletada biogaasi maagaasi asemel, on vaja vahetada gaasi düüse ja teha muudatusi põlemiskambris. Mikrogaasturbiinide töötamisel tekkivat kõrgsageduslikku heli on lihtne summutada.

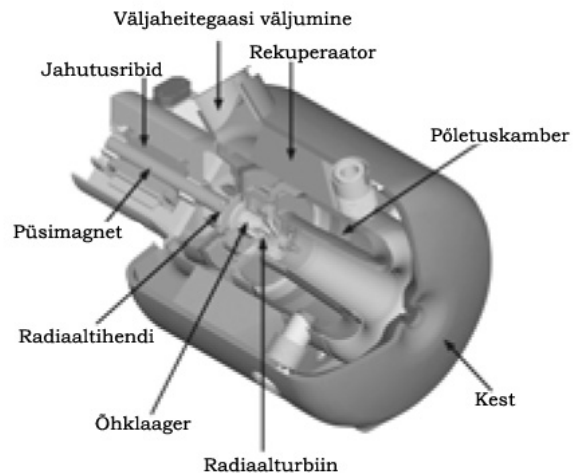
Selleks, et biogaasi suunata mikrogaasturbiini põlemiskambrisse, on vaja enne gaasi rõhku tõsta (mitmed baarid). Lisaks põlemiskambris vajatavale rõhule on vaja arvestada ka rõhukaoga düüsid, ventiilides ja torustikus. See tähendab, et gaasi rõhk peaks olema enne põlemiskambrist tõstetud kuni 6 baarini. Selleks kasutatakse gaasikompressorit. Mikrogaasturbiinidel on tunduvalt väiksemad heitgaaside kogused, võrreldes teiste mootoritega. See võimaldab heitgaaside kasutamist ka muudeks eesmärkideks, nagu nt söötade kuivatamine või kasvuhoonetes taimedele CO<sub>2</sub> andmine. Lihtne on kasutada ka suitsugaaside soojust (suhteliselt suur temperatuurivahemik) näiteks küttevee soojendamiseks. Soojust saab odavamalt ja tehniliselt lihtsamalt ära kasutada kui sisepõlemismootorite juures.

Maagaasil töötavate gaasturbiinide hooldusvälp on tunduvalt pikem kui sisepõlemismootoritel ja hooldamine on lihtsam. Maagaasil töötavate gaasturbiinide hooldust tehakse iga 8000 töötunni (õhklaagrid) või 6000 töötunni (õliga määratud laagrid) tagant. Osa tootjaid pakub mikrogaasturbiinide hooldust 4000 töötunni tagant. Praktikas ei ole mikrogaasturbiinid veel nii pikalt hooldamata töötanud ja pakutavad hooldusvälbad on hinnangulised.

Mikrogaasturbiinide üheks miinuseks on suhteliselt madal kasutegur, mis jääb 28% piiresse. Ka kogukasutegur (elekter ja soojus) on umbes 82% ning tihti madalam gaas-ottomootoritest ja sädesüütemootoritest. Tänapäeval arendatakse mikrogaasturbiine ja tulevikus loodetakse tehnilisi parameetreid parandada. Investeeringuvajadus on 15-20% suurem sama võimsuse juures, võrreldes sisepõlemismootoritega, milles põletatakse biogaasi. Kindlasti see aga väheneb, kui turule tuleb rohkem pakkujaid.

### 5.2.4 Kütuseelementide kasutamine

Kütuseelemendid (KE) erinevad põhimõtteliselt täielikult teistest energiamuundamise seadmetest. KES muundatakse kütuse (biogaas) keemiline energia otse elektrienergiaks. KESde elektriline kasutegur võib ulatuda kuni 50% ja heitmete emissioon on peaaegu olematu.



Joonis 5-12: Mikroturbiini ehitus. Joonis-G.A.S. ENERGIETECHNOLOGIE GmbH.

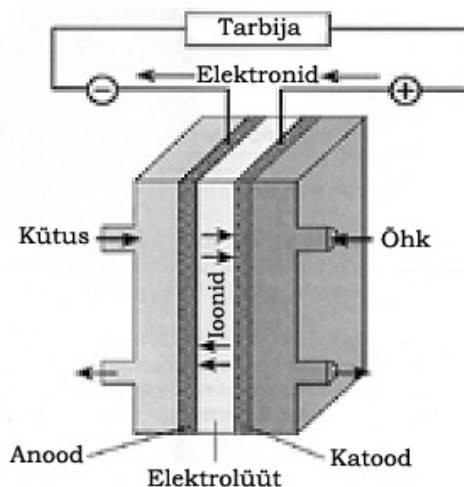
Kütuseelemendi tööpõhimõte on võrreldav ümberpööratud vee elektrolüüsi protsessiga. Elektri juhtimisel elektrolüüserisse laguneb vee molekul hapnikuks ja vesinikuks. KES aga hapniku ja vesiniku molekulid ühinevad veeks, tekib elektrivool ja soojus. Selleks elektro-keemiliseks reaktsiooniks vajatakse hapnikku ja vesiniku kui kütust. Kütuseelemendi tööpõhimõte on kujutatud joonisel 5-13.

Biogaas tuleb enne KESse suunamist ette valmistada.  $H_2S$  eraldatakse bioloogilises väävlieraldusprotsessis või aktiivsõega. Süsihappegaas eraldatakse biogaasist gaasipesuga (veega) või vahelduva rõhuga töötavate molekulaarsõeltega, kui see on vajalik lähtuvalt KE tüübist. Samaaegselt toimub ka biogaasi peenpuhustus  $H_2S$  ja teiste gaaside eraldamiseks. KESse suunatakse puhas metaan. KESid liigitatakse vastavalt kasutatavate elektrolüütide alusel ja veel madala-, keskmise- ja kõrgetemperatuurilisteks. Milline neist on kõige parem, sõltub peamiselt kasutatava soojuse vajadusest ja tootlikkusest.

Polümeer-, elektrolüüt-, membraan- (PEM) kütuseelement võimaldavad biogaasist elektrit ja soojust toota. Tänu madalale –  $80^{\circ}C$  – töötemperatuurile on kohe võimalik tekkivat soojust juhtida hoonete küttekontuuri või kaugküttevõrku.

Kuigi elektrolüüt on tundlik biogaasis sisalduva süsihappegaasi suhtes (kui osa jääb välja pesemata), on siiski lootust, et selle kasutusiga on pikk. Biogaasi puhastamine on suuremahuline ja kulukas töö. Enamlevinud on fosforhappe kütuselement - PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cell*). Seda kasutatakse maagaasi energia muundamisel üle maailma. Selle elektriline kasutegur on küll natuke väiksem, aga see pole nii tundlik süsihappegaasi ja vingugaasi suhtes.

Vedelkarbonaatkütuseelemendis - MCFC (*Molten Carbonate Fuel Cell*) - kasutatakse elektrolüüdiks vedelaid karbonaate ja need ei ole tundlikud vingugaasi suhtes ja kannatavad kuni 40% süsihappegaasi sisaldust. Töötemperatuur ( $600-700^{\circ}C$ ) põhjustab metaani molekuli lagunemise vesiniku ja süsiniku molekuliks kütuseelemendi sees. Vedeloksiidkütuseelemendi - SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*) - töötemperatuur on vahemikus  $750-1000^{\circ}C$ . Sellel on ka kõrge elektriline kasutegur ja metaani molekul laguneb vesiniku ja süsiniku molekuliks KES. See pole väävli suhtes tundlik, mis annab võimaluse biogaasi kasutamiseks. Tekkivat soojust saab kasutada edasiseks muundamiseks turbiinides. Kõikide KE tüüpide investeeringud on väga kõrged -  $12\ 000\ €/kW$  - ja kaugel ees mootoritel põhinevate SEKide investeeringuvajadustest.

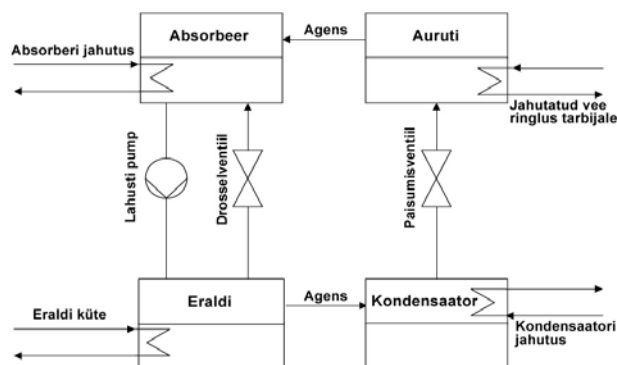


Joonis 5-13: Kütuseelemendi tööpõhimõte; joonis: FAL Braunschweig.

### 5.3 Külmatootmine

Biogaasi põletamise käigus tekkiva soojuse pidev ja täielik kasutamine on Kesk-ja Lõuna-Euroopas pigem erandlik. Tekkiva soojuse kasutamine nt kaugküttevõrgus või kuivatites on oluliseks teguriks biogaasijaama (koos SEKiga) majandusliku tulukuse saavutamiseks. Sellepärast peaks olema kohe biogaasijaama kavandamise algstaadiumis arvestatud mingi soojuse kasutamise võimalusega. Kindlasti kasutatakse ainult ühte osa tekkivast soojusest, mis läheb käärituskambri või substraadi soojendamiseks. See on aga u 25–40% kogu tekkivast soojusest, ülejäänud suunatakse lihtsalt ümbritsevasse keskkonda.

Piltlikult öeldes on võimalik tekkivast soojusest toota ka külma. Muundamiseks kasutatakse sorptsioonseadmeid (sorptsioon – neeldumine). Absorptsioonkõlmutusseade on tuntud juba ammu ajast, sellel põhimõttel töötavad külmapid. Joonisel 5-14 esitatakse põhimõtteskeem ja pildil 5-15 näeme töötavat seadet.



Joonis 5-14: Absorptsioonkõlmutusseadme põhimõtteskeem.



Külma tootmiseks kasutatakse töökehadena külmaainet (agensi) ja lahustit. Lahusti neelab külmaainet ja lõpuks eraldatakse nad teineteisest. Töökehadena (ainete paar) võivad olla vesi külmaainena ja liitumbromiid lahustina temperatuuride puhul üle 0°C või vastavalt ammoniaak ja vesi kuni -60°C.

Lahusti ja külmaaine lahutatakse (eraldis) kuumutamise teel ja soojust saadakse nt biogaasi põletamisel. Külmaaine aurustub tänu oma madalale keemispunktile ja see suunatakse kondensaatorisse, kus see jahutatakse maha ja veeldub. Vähesese külmaaine sisaldusega lahusti suunatakse aga tagasi absorberisse. Veeldunud külmaaine liigub edasi aurustisse, kus see paisutatakse soovitud temperatuuri ja rõhuni. Siin toimub tegelik jahutamine ja külm suunatakse

tarbijale (soojusvaheti kaudu külma veena). Tekkiv külmaaine aur suunatakse tagasi absorberisse, kus külmaaine absorbeerub jälle lahustis, millega ka tsükkel lõpeb ning kõik kordub uuesti. Ainuke mehhaaniliselt liikuv osa on lahusti pump, mistõttu ka seadme kulumine ja hooldusvajadus on väga väike. Eeliseks on ka madal elektritarve, võrreldes kompressorkülmutusseadmetega. Mõnes põllumajanduslikus biogaasijaamas on absorptsioonkylmutusseadmed pilootprojektidena juba kasutuses.



Joonis 5-15: Absorptsioonkylmutusseade ühes biogaasijaamas.

## 5.4 Teised kasutusvõimalused

### 5.4.1 Biogaasi kasutamine katlakütusena

Biogaasi põletamine ainult soojuse tootmise eesmärgil on täiesti võimalik ja probleemideta lahendatav. Selleks kasutatav põleti võimaldab sageli põletada mitmeid põlevgaase ja on reguleeritav vastavalt gaasi koostisele. Põleti tuleb seadistada kindla koostisega biogaasi põletamiseks. Tavaliste põletite mõned metalliosad võivad olla tundlikud biogaasis sisalduva väävelvesiniku suhtes ja need tuleks enne biogaasi kasutuselevõttu välja vahetada korrosioonikindlamast materjalist osade vastu.

Eristatakse atmosfäärirõhul töötavaid põleteid ja ventilaatoriga põleteid. Esimesed imevad põlemisõhu ümbritsevast keskkonnast. Vajalik gaasirõhk on umbes 8 mbar, mille saavutab biogaas juba kääriskambri. Vajaliku põlemisõhu annab põletile ventilaator. Gaasi rõhk ventilaatori ees peab olema vähemalt 15 mbar. Gaasi rõhu tõstmiseks on vastavad seadmed ja neist oli eespool juttu.

Mõnes põletitüübis saab biogaasi lisada ka teistele põlevatele gaasidele. Saksamaal ei ole levinud biogaasi kasutamine soojuse tootmiseks. See võib aga kindlasti muutuda, kui tekivad ja laienevad soojuse kasutamise võimalused (eriti kaugküte ja kaugjahutus). Vahemaa tarbijate ja biogaasijaama vahel väheneb.

### 5.4.2 Juhtimine maagaasivõrku

Biogaasi kasutamine maagaasivõrgus võib olla üks tuleviku kasutusvõimalus. See tähendab, et biogaasi ei kasutata tema tekkekohas (biogaasijaamas), vaid suunatakse lähedal olemasse maagaasivõrku. Selleks on vaja veel ületada õiguslikud takistused ja tehnilis-majanduslikud barjäärid. Biogaasi suunamine maagaasivõrku ei muuda biogaasijaamas põhimõtteliselt midagi peale selle, et SEK puudub. Mootori puudumisel peab leidma alternatiivi biogaasijaama elektriga varustamiseks ja soojusallika kääriskambri või substraadi soojendamiseks (vajadusel ka pastöriseerimiseks). Teiseks võimaluseks on paralleelselt töötav kütuseelement, mis varustab jaama vajaliku elektri ja soojusega ning ülejäänud biogaas suunatakse maagaasivõrku.

Enne biogaasi maagaasi hulka suunamist tuleb välja pesta CO<sub>2</sub>, eemaldada muud kahjulikud ühendid ehk viia selle kvaliteedi näitajad sarnasteks maagaasi omaga. Esmalt biogaas kuivatatakse ja vabastatakse väävelvesinikust. Järgnevalt eraldatakse metaan ja süsihappegaas. Seejärel tuleb biogaasi rõhk tõsta maagaasivõrgu rõhuni ja suunata mööda toru kuni ühenduskohani lähima maagaasivõrgu toruga.

Praktikas töötavad mõned sellised biogaasijaamad Rootsis, Hollandis ja Šveitsis, kuid puuduvad veel standardlahendused ja tõsiseks probleemiks on ka majanduslik tasuvus.



### 5.4.3 Mootorikütus

Rootsis ja Šveitsis on juba pikemat aega kasutatud biogaasi busside ja veoautode kütusena. Mootorikütusena kasutamiseks on vaja biogaasi kvaliteet viia vastavaks autodes kasutatava gaasi kvaliteedile. Korrosiooni tekitava väävelvesiniku kõrval tuleb eraldada ka süsihappegaas ja veeaur. Kuna Euroopas enamik gaasiautode mootoritest töötab maagaasiga, siis on vaja biogaasi kvaliteet tõsta maagaasi kvaliteedi tasemele.

### 5.5 Kasutatud kirjandus

- /5-1/ Heinze, U.; Rockmann, G.; Sichtung, J.: Energetische Verwertung von Biogasen, Bauen für die Landwirtschaft, Heft Nr. 3, 2000
- /5-2/ Helms, P.: Biologische Entschwefelung, Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft 2002/2003; Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für landwirtschaftliche Publikationen, Zeven
- /5-3/ Jäkel, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- /5-4/ Mitterleitner, H.: Zündstrahler oder Gasmotor: Welches BHKW kommt in Frage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /5-5/ Termath, S.: Zündstrahlmotoren zur Energieerzeugung Emissionen beim Betrieb mit Biogas, Elfte Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayrisches Technologie Transfer-Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- /5-6/ Novellierung der TA-Luft beschlossen, Biogas Journal Nr. 1/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-7/ Dielmann, K.P.; Krautkremer, B.: Biogasnutzung mit Mikrogasturbinen in Laboruntersuchungen und Feldtests, Stand der Technik und Entwicklungschancen, Elfte Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayrisches Technologie-Transfer- Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- /5-8/ Schlattmann, M.; Effenberger, M.; Gronauer, A.: Abgasemissionen biogasbetriebener Blockheizkraftwerke, Landtechnik, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 06/2002
- /5-9/ schmitt-enertec GmbH, [http://www.schmitt-enertec.de/bhkw/biogas\\_bhkw\\_beschreib.htm](http://www.schmitt-enertec.de/bhkw/biogas_bhkw_beschreib.htm), Zugriff 10.02.2003
- /5-10/ Verband der Netzbetreiber VDN e.V.: Auslegung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien vom 29.03.2000 durch den VDN; Stand: 1.1.2003
- /5-11/ Rank, P.: Wartung und Service an biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-12/ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Energierferat der Stadt Frankfurt Referat 79A.2, BHKW-Kenndaten 2001
- /5-13/ Schnell, H-J.: Schulungen für Planer- und Servicepersonal, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-14/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer-Verlag, 2001
- /5-15/ Dielmann K.P.: Mikrogasturbinen Technik und Anwendung, BWK Das Energie- Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag., 2001
- /5-16/ Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Erneuerbare Energien in der Land(wirt)schaft 2002/2003 – Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für land(wirt)schaftliche Publikationen, Zeven
- /5-17/ Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Firmenschrift PRO2
- /5-18/ Mikro-KWK Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen, ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
- /5-19/ Weiland, P.: Neue Trends machen Biogas noch interessanter, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /5-20/ <http://www.asue.de/>, Kühlen mit Erdgas, Zugriff 15.03.2003
- /5-21/ Tentscher, W.: Biogas über das Erdgasnetz direkt verkaufen?, Biogas Journal Nr. 3/2000, Fachverband Biogas e.V., 2000
- /5-22/ <http://www.umweltbundesamt.de/gasantrieb/tat/index.htm>, Zugriff 30.01.2003
- /5-23/ Wie funktioniert eine Absorptionskältemaschine, <http://www.bhkw->

info.de/kwkk/funktion.html, Zugriff 20.01.2003  
/5-24/ Raggam, A.: Ökologie-Energie; Skriptum zur Vorlesung; Institut für Wärmetechnik;  
Technische Universität Graz 1997  
/5-25/ Mitterleitner, Hans: persönliche Mitteilung 2004



# Mudeltehased

## 6.1 Eesmärk ja ülesande püstitus

Tihti on nii, et mingi nähtuse täielikuks mõistmiseks on vaja uurida tervet kompleksi või süsteemi. Abiks on mudeli moodustamine, mis süsteemi peamiste parameetrite põhjal näitaks omavahelisi mõjutusi ja vähendaks neid. Samal eesmärgil on pandud kokku tegelikkusele sarnased biogaasitehased, millel on oma spetsiifika. Välja valitud mudeltehaste ülesanded on järgmised:

- Demonstreerida protsessi bioloogiliste ja tehniliste tingimuste erinevaid koosmõjusid ning tuua välja õiguslikke, majanduslikke ja tehnilisi kokkupuutepunkte.
- Tuua välja võimalikud probleemid.

Teemast huvitatud lugejaid silmas pidades on pakutud erinev arv mudeleid, millel on erinevad tööpõhimõtted.

## 6.2 Mudeltehased – iseloomustamine ja vastuvõtmine

Valiku tegemisel tehaste iseloomustamiseks on lähtutud nende ehitamisest, olemasolevatest tehastest ja ka hindamis- ja mõõtmisprogrammist „Teaduslik mõõtmisprogramm põllumajanduslike biogaasitehaste hindamiseks”. Tulemuseks oli 6 erinevat mudeltehist Saksamaal, mis lähtusid järgnevatest märksõnadest:

- kasutatud substraadid;
- tehaste võimsus;
- tehniline lahendus;
- ettevõtte liik;
- luba, nõusolek.

Seda selgitab järgnev tabel (tabel 6-1).

Tabel 6-1: Mudeltehaste iseloomustamise kriteeriumid

<b>Substraat</b>	Valik iseloomustavaid substraate erinevatest substraadigruppidest. Arvestada tegelikkusele lähedaste segudega ja vahekordi segudes. Arvestada substraatidega ja nende gaasitekke kogusega.
<b>Tehaste võimsus</b>	Pakkuda praktikas levinud tehaste suurusklasse.
<b>Tehniline lahendus</b>	Valik standardsetest ehitusdetailidest ja komponentidest. Mõõtmete andmine ja tõlgendus e substraadispetsiifilised ja kogusespetsiifilised kokkupuutepunktid (bioloogiliste ja kogemuslike tehniliste punktide järgi).
<b>Ettevõtte liik</b>	Arvestades praktilähedaste ettevõttemudelitega.
<b>Luba, nõusolek</b>	Mudeltehased kui mudelnäited: aktuaalsetest õiguslikest raamtingimustest Saksa ja rahvusvaheliste seaduste järgi.

Mudelite koostamisel on lähtutud tehase töökindlusest ja protsessi bioloogilistest, tehnilistest, kogemuslikest, ehituslikest ja õiguslikest aspektidest.

### 6.2.1 Substraadid

Biogaasitehase jõudlust ja töökindlust mõjutavad kasutatavate substraatide kogus, kvaliteet ja liik. Substraadi omadused ja koostisained määravad tekkiva gaasi koguse. Väga tihti erinevad kirjanduslikud andmed sama substraadi kohta. Tihti on ka proovikäärinised esimeste andmete

saamiseks ja situatsiooni hindamiseks väga aeganõudvad ja rasked. Baierimaa majandusteadlased avaldasid alles 1999. aastal esmakordselt substraatide arvulised väärtused, lähtudes nende seedumusest ja üksikutest koostisainetest (toorproteiin, toorrasv, toorkiud ja NfE fraktsioonidest) ning biogaasi väärtused (gaasikogus ja metaanisaldus). Neid tulemusi kasutatakse ka kontrollitud ja tegelikkusele lähedaste tulemustena ametlikult nõustamiste juures. Mudeltehaste kokkupanemisel on kasutatud samu andmeid koos arvutuspõhimõtetega. Ülevaate annab tabel 6-2.

Tabel 6-2: Mudelites kasutatud substraadid ja nende väärtused

Substraat	Kuivaine sisaldus %	Org. kuivaine sisaldus %	Biogaasi väljatulek ln/kg oKA	Biogaasi väljatulek m <sup>3</sup> n/t värskes massis	Metaani sisaldus %
Veiseläga	8,8	85	280	21	55
Sealäga	6	85	400	20,4	60
Maisisilo (vahaküpsus)	33	95,8	586,1	185,3	52,2
Rohusilo	35	89,2	583,8	182,3	54,1
Söödajäägid (maisi- ja rohusilo)	34	92,5	585	184	53
Nisupõhk	86	91,4	369	290	51
Rukkiterad	87	97,8	701,7	597	52
Rasvajäägid	5	90	1000	45	68
Söögijäätmad (rasvased)	18	92,3	761,5	126,5	61,9

Tabeli 6-2 koostamisel ja mudeltehaste substraatide valikul oli aluseks uuring rohkem kui 30 põllumajanduslikus biogaasitehases Saksamaal. Need olid kindlalt enim kasutatavad põhi- ja juurdelisatavad substraadid. 80% tehastest olid peamiseks substraadiks loomade väljaheidete, st üle 50% kasutatavatest substraadidest. Selle tulemusena valiti ka mudeltehastele loomade väljaheidete osakaaluks 65%, kuigi uuemate tehaste ehitamisel suureneb energiataimede osakaal.

Tabelis 6-2 toodud mõistetakse söödajääkide all ainult veisepidamises tekkivaid põhi- ja jõusööda jäätmepid.

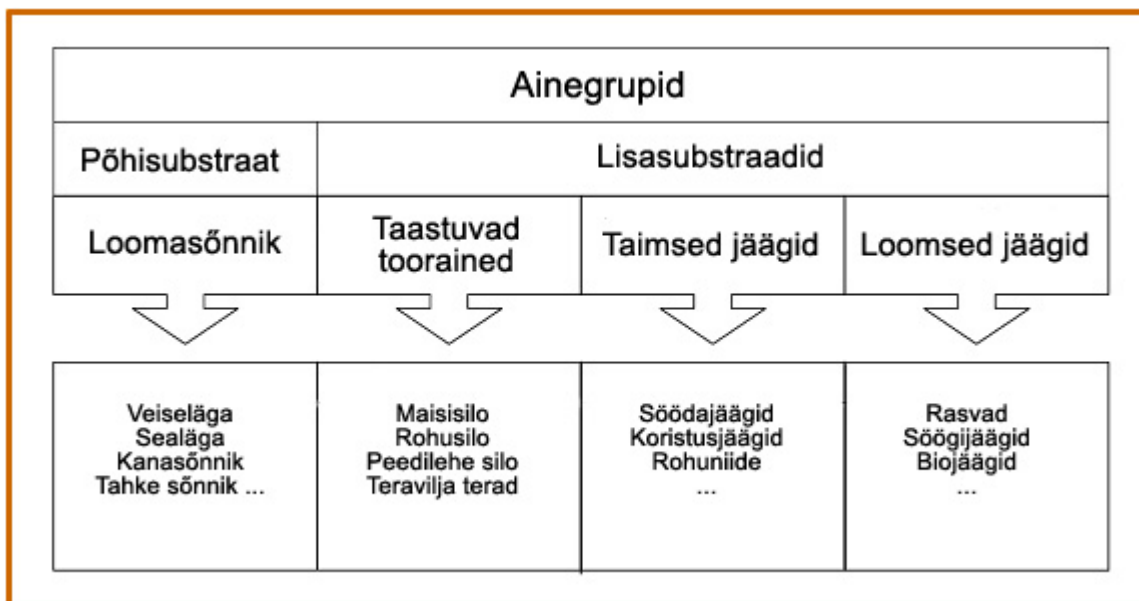
Ainult energiataimede käärimine ilma loomade väljaheideteta on võimalik ka märjal kääritamisel. Tihti puudub aga vajalik info bioloogiliste ja tehniliste andmete kohta biogaasi tootmiseks ja ka parameetrid varajaseks probleemi äratundmiseks tootmise käigus. Biomassi hindamise programmis määrati loomade väljaheidete kõrval ka muude lisasubstraatide kasutustihedus ja kogused, millest ülevaade on tabelis 6-3.

Tabel 6-3: Tihedamini kasutatavad lisasubstraadid põllumajanduslikes biogaasitehastes

Substraat	Maisisilo	Rohusilo	Rasv	Teravilja jäägid	Söödajäägid
Kasutustihedus (% tehastest)	66	47	22	28	16
Keskmine massi osa kogu substraadist %	11	4	5	5	2

Teravilja sorteerimisjäägid on mudeltehastest välja jäetud, sest need võivad olla väga erineva koostisega ja pole ka mingeid andmeid nende seedumuse ja toitainesisalduse kohta. Et mitte kõrvale jääda aktuaalsest temast, mis saab rukkist tulevikus, lisasime rukki ikkagi mudeltehases kasutatavate substraatide nimistusse.

Üldiselt on nii, et valitud substraat on üks esindaja suuremast grupist. Selliste gruppide iseloomustamiseks on joonis 6-1.



Joonis 6-1: Substraatide näited ainegruppide järgi.

Mudelil kasutatavat substraati võib võtta kui tüüpilist ainegrupi esindajat ja vajadusel on ühes grupis olevad ained teatud tingimustel asendatavad. Bioloogilistel, tehnilistel, majanduslikel ja ka seaduslikel põhjustel tuleb oma tehase jaoks sobilik substraat eraldi valida. Abiks on nõustamine ja ka vastavad planeerimisbürood.

### 6.2.2 Tehase võimsus

Tänu riiklikele toetusprogrammidele on biogaasitehaste arv Saksamaal võrreldes 1999. aastaga suurenenud 80%. Keskmine tehas on suurenenud 53 kW-lt kuni 145 kW-ni. On huvitav, et biogaasitehaste suurused on väga erinevad, vastates põllumajanduslike ettevõtete suurustele. Kriteeriumid mudeltehaste suurusklassidele on sissejuhatuseks toodud tabelis 6-4.

Tabel 6-4: Mudeltehaste suurusjärgude põhjendused

Suurusklass	Põhjendus	Mudeltehase number
≤ 70 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuni 70 kW on tingitud krediidi saamisest</li> <li>Näide väikesest võimsusest</li> <li>Minimaalsest kokkuostuhinnast sõltuvalt (11,5 euro senti)</li> </ul>	1
70 – 150 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Näide keskmisest võimsusklassist ja kõige levinumast tehasest</li> <li>Minimaalsest kokkuostuhinnast sõltuvalt (11,5 euro senti)</li> </ul>	2
150 – 500 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Näide suurest põllumajanduslikust tehasest ja erinevate ettevõtjate koostööst</li> <li>Näide investeeingu vähenemisest suurusest sõltuvalt</li> <li>Minimaalsest kokkuostuhinnast sõltuvalt (11,5 ja 9,9 euro senti)</li> </ul>	3
		4
		5
		6

## 6.2.3 Bioloogiline ja tehniline varustatus

### 6.2.3.1 Bioloogilis-tehnilised parameetrid

Biogaasitehase käärimisprotsessiks ja majanduslikult realistlikeks ennustusteks on oluline teada käärimist ja gaasi tekkeprotsessi mõjutavate parameetrite suurusjärku. Ülevaate sellistest bioloogilise protsessi parameetritest mudeltehases annab tabel 6-5.

Tabel 6-5: Mudeltehase tehnilised ja kogemuslikud parameetrid

Parameetrid	Mõõteühik	Suurusjärk
<b>Koostootmiseseade</b>		
Koostootmiseseadme kasutegur (elektr. ja term.) installeeritud elektrilise kW juures		elekter tootjapoolne    elekter reaalne    termiline tootjapoolne    termiline reaalne
≤50		33    30    50    40
51-75	%	35    32    49    39
76- 150		36    33    48    38
151-200		37    34    47    38
201-330		39    35    50    40
331-500		40    36    53    43
Koostootmiseseadme jõudlus	%	---
Koostootmiseseadme tööaeg (täisvõimsusel 100%)	h/aastas	8000
Koostootmiseseadme ehitus		Alates 250kW primaarenergia kasutuse järgi: gaas-ottomootor
Süüteõli osa sädesüütega diiselmootoritel	%	10
Metaani kütteväärtus	kWh/m <sup>3</sup> N	10
<b>Kasutatav tehnika</b>		
Gaasihoidla mahutatavus	h/päevas	Vähemalt 5
Substraadi pumbatavus KA ≥16%	% KA	Maksimaalselt 16
Kääriti mahukoormus	Kg oKA/m <sup>3</sup> ·päev	Maksimaalselt 3,5
Kääriti viibeag	päeva	Minimaalselt 30
Kääriti brutoruumala	m <sup>3</sup>	Netoruumala + 10% Netoruumala: substraadi kogus päevas x käariti viibeag
Kääritusjäagi hoiustusruumala (perioodi pikkus korda päevane toodangu maht)	Päeva	Eestis 8 kuud (Veeseadus §26)
Käärimistemperatuur	°C	38 (mesofiisel)
Keskmine temperatuur juurde lisataval substraadil	°C	12

### 6.2.3.2 Ehituslik-tehnilised parameetrid

Mudeltehase tehniline varustatus jaotatakse ehituslike osade järgi ja võetakse kokku funktsionaalseteks ehitusgruppideks.

#### Ehitusgrupid

Mudeltehase kokkupanemisel selgus tehniliste andmete juures, et kõik mudelid on üheastmelise protsessiga. Ka enamiku ehitusosade juures on kasutatud võrreldavaid materjale. Kasutatud ehitusgrupid on esitatud koos iseloomustusega tabelis 6-6. Ühe grupi peamiste ehitusosade kasutamisel peab näitama ühtset toimimist süsteemis. Kui on alamjaotatud baas- ja täiendavaks osaks, siis see tähendab, et kuivainerikka substraadi puhul või võõraste substraatide kasutamisel on vajalikud täiendavad tehnilised agregaadid. Ja seega suurenevad vajalikud investeeringud ja mehhaniseerituseaste ning kogu tehase maksumus suureneb.

Tabel 6-6: Mudelis kasutatavad ehitusgrupid ja nende iseloomustus

	Ehitusgrupp	Iseloomustus ja peamised ehitusdetailid
<b>Baasvarustus</b>	<b>Läga ja lisasubstraatide vastuvõtt</b>	Betoonmahuti või eelmahti Segamis-, peenestus- ja pumpamistehnika, täitmisšaht, substraaditorustik, täituvuse mõõdik, lekke äratundja, ruumala mõõdik
	<b>Kääriti</b>	Maapealne vertikaalne betoonmahuti Küte, isolatsioon, segamistehnika, gaasitihe katus, substraadi- ja gaasitorustik, bioloogiline väävlialdus, mõõdetehnika, ohutustehnika, lekkek kontroll
	<b>Koostootmisseade</b>	Sädesüütega või gaas-ottomootor Mootori blokk, generaator, soojusvaheti, soojuse jaotussõlm, hädaabi jahuti, juhtimine, gaasitorustik, mõõdetehnika, ohutustehnika, soojusemõõtja, elektrimõõtja, sensorid, kondensaadi eraldamine, kompressor, õlimahuti, mürasummuti, konteiner
	<b>Kääritusjäägi hoidla</b>	Betoonmahuti Segamistehnika, substraaditorustik, tühjendustehnika, mahuti katus, lekke avastaja, (gaasitihedate puhul ka veel mõõdetehnika, sensorid, gaasitorustik)
	<b>Ohutus põleti</b>	Tavaline ehituslik lahendus, lisagaasivarustus
<b>Vajadusel</b>	<b>valitakse tehnika sõltuvalt kasutatavate substraatide omadustest ja päritolust</b>	
<b>Lisa-varustus</b>	<b>Tahkete ainete lisamine</b>	Tigu- või kolbpumbad Täitmistrehtel, kaalud, kääriti täitmine
	<b>Steriliseerimine</b>	Käärimisprotsessi režiimi tagamine Eraldi isoleeritud mahuti, kütmissvõimalus, segamis- ja peenestustehnika, pumpamistehnika, mõõte- ja reguleerimistehnika, sensorid

## 6.2.4 Andmed investeeringu suuruse arvutamiseks

### 6.2.4.1 Ehitusgruppide investeeringuvajadused

Ülevaate vajalikest investeeringutest annavad peatükk 6.2.4.3 ja tabel 6-16. Seal esitatud hinnad sisaldavad materjalide ja ülesmonteerimise maksumust. Esitatud arvude puhul peab kääritusjäägi ladustamise, tahkete ainete sisestamise ja steriliseerimise juures arvestama järgnevate mõttekäikudega.

#### Kääritusjäägi ladustamine

Ühele ettevõttele kuuluva mudelتهase puhul arvestatakse juurde ainult lisahoiustamisvajadus, mis tuleneb lisasubstraatide kasutamisest, sest loomade läga hoiustamiseks oli hoidla juba varem valmis. Mitmele ettevõtjale kuuluvate mudelتهaste puhul arvestatakse investeeringuga sellisesse kohta, kus loomakasvatus juba olemas on. Ka seal lisanduvad investeeringud ainult lisasubstraatide kasutamisest tulenevalt. Kui kohapeal on hoiutingimused olemas või hoiustatakse sõnnikukogused teiste koostööd tegevate ettevõtete juures, ei ole lisainvesteeringuid juurde arvestatud. Arvestatud on aga lisahoiuruumi vajadusega, mille tingib lisasubstraatide orgaanilise kuivaine lagundamine 50% võrra.

Läga hoidla lauda juures on kasutatav kas hoidlana kääritusjäägi ladustamiseks või kääritina. See on igal juhul lisapuhvriks eelmahti kasutamisel.

#### Tahkete ainete sisestamine

Tehnikat tahkete ainete sisestamiseks on vaja, kui

- kasutatakse kõrge kuivainesisaldusega substraate,
- lisatakse eelmahtu tahkeid aineid ja segu ei ole enam pumbatav (KA sisaldus üle 16%),
- vastuvõtumahutisse on tekkimas suur ujukihid või vahekihid.

Investeeringud sõltuvad otseselt tahkete ainete kogusest, mida kasutatakse.

#### Steriliseerimine

Mudelتهaste substraadi puhastamise protsess näeb ette enne käärimisprotsessi nende substraatide steriliseerimist, mida seadus nõuab. Vastavad investeeringuvajadused sõltuvad just selliste substraatide kasutamisest ja nende päevasest kogusest. Kui sellised substraadid on juba enne steriliseeritud, siis muidugi ei ole vaja vastavaid investeeringuid teha. Vahel aga esineb selliseid materjale ja siis oleks mõttekas selline investeering teha, kuna selliste substraatide steriliseerimine kuskil eemal on seotud alati suurte rahaliste väljaminekutega.



#### 6.2.4.2 Mudeltehase investeringuvajadused

Mudeltehase jaoks arvestati keskmiste investeringuvajadustega optimaalsetes tingimustes:

- Ei ole vaja teha lisaväljaminekuid eriliste või spetsiaalsete ehituslike tingimuste täitmiseks.
- Nagu ka teiste põllumajanduslike hoonete juurde rajatavate juurdeehitiste puhul, ei arvestata ehitusplatsi soetamise maksumusega. Rajatava tehase ja mittepõllumajandustootja tehase vahelises koostöös peab ilmselt sellise väljaminekuga ehitamise juures arvestama
- Mudeltehaste juures arvestati gaasipõleti suuruse valikul väga täpselt kasutatavate substraatide gaasikoguse ja gaasipõleti võimsuse kokkulangevust. Sealjuures arvestati põleti aastaseks töötundide hulgaks 8000 tundi sajabrotsendilise koormusega töötamisel. Ülejäänud 760 tundi arvestatakse hooldus- ja väiksemate remonditööde teostamiseks. Pikemaid, kahe- kuni kolmepäevalisi seiskamisi peaks tehnilistel ja majanduslikel põhjustel vältima.

Praktikas on tihti varuks lisasubstraati. See saab aga ainult siis majanduslikult mõttekas olla, kui need tagavarad pole liiga suured, mis tähendab kindla lisasubstraadiga arvestamist. Liiga suure varu hoiustamine on kulukas.

Teine võimalus on laienemisperspektiive arvestades jätta tehnikakonteinerisse või tehnikaehitisse lisaruumi veel teisele mootorile. Selline reservi jätmine maksab vähem kui alakoormusel töötav mootor. Mudeltehaste juures ei ole selliste reservidega arvestatud.

#### 6.2.5 Mudeltehase töötamine

Biogaasitehase planeerimise käigus on põllumehele vaja otsustada, kas majandada tehas üksi või koopereeruda teiste põllumeestega. Sellise otsuse langetamisel oleks kindlasti vaja ka sõltumatu nõustaja arvamust. Mudeltehastes on arvestatud nii ühele mehele kuuluva ettevõttega kui ka mitme peale tehtud tehasega. Mudeltehased 1 ja 2 on ühe mehe ettevõtmised ja tehased, mille elektriline võimsus on  $\geq 200$  kW, on ühissetevõtmised. Ühiselt veetava tehase kontsepti valgustatakse mudelites 3, 5 ja 6. Mõistet *põllumajanduslik ühistehas* defineeritakse järgmiselt:

Ühistehas on selline tehas, mis on rajatud rohkem kui ühe põllumehe poolt, et oma ettevõttes tekkinud sõnnikut ja muid lisasubstraate ära kasutada ja tekkinud kääritusjäätisega oma põlde väetada.

Vastupidiselt on mudel nr 4 ühistuline. See on üks eriline põllumajandusliku ühistehase vorm, kus põllumajanduslikke põlde kasutatakse kui ettevõttesiseid põlde. Põldude kuuluvus on seega üks oluline kriteerium ühistehaste rajamisel.

Tabel 6-7: Ettevõtlusvormid mudeltehastel

Ettevõtte vorm	Mudeltehase number
Üksik ettevõtja	1 ja 2
Põllumajanduslik ühistehas	3, 5 ja 6
Ühistuline tehas	4

### 6.3 Mudeltehaste esitlus ja kirjeldus

Pärast biogaasitehase mudeli tutvustamist ja asjakohaseid selgitusi on jäänud veel esitada mudeltehaste põhilised andmed (tabel 6-8).

Edasi tuleks arvestada sellega, et mudeltehased ei ole reaalselt eksisteerivad. Need on kokku pandud eesmärgiga selgitada selliste tehaste bioloogilist, tehnilist, õiguslikku ja majanduslikku olemust võimalikult praktiliselt, et teemast huvitatutele meelde tuletada ja sensibiliseerida peamisi küsimusi ning pakkuda võimalikke lahendusteid.

Tabel 6-8: *Mudeltehaste iseloomustus*

Tehas	Iseloomustus
<b>Mudel 1</b>	Ühe ettevõtja tehas, 120 lü veisekasvatust, lisaks veel oma kasvatatud maisi- ja rohusilo
<b>Mudel 2</b>	Ühe ettevõtja tehas, 160 lü nuumikuid, kasutatakse veel oma toodetud maisisilo, 40% rukkiteri ja juurde ostetud rukist
<b>Mudel 3</b>	Ühisettevõtte, 250 lü veiseid ja 160 lü nuumsigu, lisaks veel enda kasvatatud maisi- ja rohusilo, 40% rukkiteri ja juurde ostetud rukist
<b>Mudel 4</b>	Põllumajandusühistu tehas, veisekasvatus 2000 lü
<b>Mudel 5</b>	Ühisettevõtte veisekasvatusega, 520 lü ja nuumikutega 320 lü, lisaks veel enda kasvatatud maisi- ja rohusilo, 40% rukkiteri ja juurde ostetud rukist
<b>Mudel 6</b>	Ühisettevõtte veisekasvatusega, 520 lü ja nuumikutega 320 lü, lisaks veel enda kasvatatud maisi- ja rohusilo, 40% rukkiteri ja juurde ostetud rukist, kasutatakse ka biojätmeid (söögiäägid ja rasvaeraldus)

### 6.3.1 Mudeltehase sisendid ja väljundid (input ja output)

Tabel 6-9 annab ülevaate kuue mudeltehase juurde kuuluvatest sisenditest ja väljunditest, bioloogilistest ja tehnilistest tunnusnumbritest, andmed biogaasi tekke ja kasutamise kohta.

### 6.3.2 Mudeltehase kirjeldus kogemuste põhjal

Selles osas kirjeldatakse tehases kasutatud ehitusmaterjale, ehitusgruppe ja nende tehnilisi lahendusi, toetudes kogemustele biogaasi- ja substraadiprotsesside kohta.

#### 6.3.2.1 Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine kasutamiseks

##### Vastuvõtumahuti

Vastuvõtumahuti on enamasti valmistatud betoonist ja varustatud lekke avastamise seadmega. Siin toimub üksikute substraadide segamine ja ka substraadide vahehoiustamine. Mahutis peaks saama hoiustada 1 kuni 3 päeva substraadi. Vastuvõtumahuti peaks olema pealt kaetud (nt betoonplaadiga). Üks täitmisšaht peaks olema nt maisisilo või teiste vähem ettevalmistust vajavate lisasubstraadide jaoks. Selline šaht võib olla kaanega suletav. Uputatavate segamismootoritega toimub ajaliselt korrapäraselt massi homogeniseerimine. Vastuvõtumahutis peaks kokkusegatav mass olema enam-vähem 16% kuivainesisaldusega. Õige kuivaineprotsendi saavutamiseks saab pumba abil juurde lisada juba kääritatud substraati. Vastuvõtumahutist pumbatakse kindlatel ajavahemikel substraati kääritisse.

Pumba ees on purusti või noad, et substraati purustada või lõigata väiksemaks pikad osised, et parandada bioloogilist lagundamist. Praktikas sobivad selleks tihti lauda lägahoidlad, et läga käärimisprotsessiks valmis seada. Selleks on vaja lägahoidlal täita järgnevad kriteeriumid:

- hoidla peab olema kinnikaetav;
- hoidla suurus peab vastama miinimumnõudele;
- hoidla peaks vastuvõtumahuti olemasolul mahutama 1-2-päevase lägahulga;
- hoidla peaks vastuvõtumahuti puudumisel mahutama 3-4-päevase lägahulga;
- hoidlal peab olema segamise võimalus.

Selleks, kas olemasolev lägahoidla sobib kasutamiseks, oleks vaja planeerijapoolset kinnitust ja katsetamist

##### Tahkete ainete lisamine

Erinevad võimalused ja tehnilised lahendused tahkete ainete sisestamiseks on kirjeldatud täpsemalt juba 3. peatükis. Vastuvõtumahuti peaks mahutama vähemalt 1 kuni 2 päeva lisasubstraadi koguse.

##### Eelmahti lisasubstraadidele

Paljusid substraate, mida peab enne steriliseerima, oleks hea võimalusel eraldi hoiustada ja sisestada. Sellist materjali tuuakse tavaliselt kindlate intervallidega. Olenevalt substraadi omadustest peaks selle hoiustamiseks olema kas betoonist või metallist mahuti. Kui tuuakse näiteks mingeid rasvasid, siis peaks hoidla olema sooja pidamiseks isoleeritud, et rasva saaks lihtsamini edasi pumbata ja see ei hanguks torudes, mis tekitaks kadu. Substraadi steriliseerimiseks eelmahtis on vaja vastavat pumpa, et oleks võimalik sellist materjali teatud aja tagant vastu võtta.

Tabel 6-9: Mudeltehased – sisendid ja väljund, bioloogilised ja tehnilised tunnusväärtused hindamiseks

Muutujad	mõõtühik	Mudel I	Mudel II	Mudel III	Mudel IV	Mudel V	Mudel VI
<b>Substraadid</b>							
Veiseläga	t KA/a	2160		4536	36 000	9360	9360
Sealäga	t KA/a		1728	1728		3456	3456
Söödajäätmed	t KA/a	22		46	365	95	95
Allapanu	t KA/a	0					
Maisisilo	t KA/a	600	600	1000		2500	1700
Rohusilo	t KA/a	400		200		1500	
Rukis 40% oma, 60% ostetud	t KA/a		250	365		500	1500
Rasvajäägid	t KA/a						1000
Söögijäätmed	t KA/a						3000
Summa	t KA/a t KA/päevas	3182 8,7	2578 7,1	7875 21,6	36 365 99,6	17411 47,7	20 111 55,1
<b>Sisendid</b>							
Keskm KA sisaldus sisendites	%	16,8	20,1	15,7	9,1	16,4	17,5
KA ø teor lagunemiskraad	%	63,2	79,0	67,0	37,8	66,6	75,5
Kääriti viibeae	päeva	43	60	43	30	45	48
Kääriti netoruumala	m <sup>3</sup>	375	424	928	2999	2147	2645
Kääriti brutoruumala	m <sup>3</sup>	420	480	1100	3300	2400	3000
Ruumi kasutus	kg oKA/m <sup>3</sup> päevas	3,2	2,9	3,0	2,3	3,0	3,1
Käärimistemperatuur	°C	38	38	38	38	38	38
Sisestatava substraadi temp	°C	12	12	12	12	12	12
Lisa lägahoidla (ilma lägata)	m <sup>3</sup>	410	270	530	0	1700	2770
<b>Väljund</b>							
Loodetav gaasikogus	m <sup>3</sup> N/a	233 490	295 681	578 634	823 160	1 319 724	1 919 534
Oodatav CH <sub>4</sub> sis	%	53,4	53,0	53,2	54,8	53,4	55,0
Gaasi tootmise katkemine	päeva/a	5	5	5	5	5	5
CH <sub>4</sub> tootmine	m <sup>3</sup> N/a	122 869	154 649	303 585	445 311	695 010	1 040 840
CH <sub>4</sub> tootmine	m <sup>3</sup> N/a	337	424	832	1220	1904	2852
Kütteväärtus	kWh/m <sup>3</sup> N	10	10	10	10	10	10
Biogaasi brutoenergia	kWh/a	1 228 689	1 546 488	3 035 848	4 453 107	6 950 103	10 408 399
<b>Koostootmiseseade</b>							
Mudel		Sädesüütega diiselmootor				Gaas-ottomootor	
El kasutegur tootja järgi	%	33	35	36	37	39	40
Soojuslik kasutegur tootja järgi	%	50	49	48	47	50	53
Elektri suhtarv		0,66	0,72	0,76	0,80	0,77	0,75
Mootori tööaeg	h/a	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Reaalne elektriline kasutegur	%	30	32	33	34	35	36
Reaalne soojuslik kasutegur	%	40	39	38	38	40	42
Süüteõli osakaal	%	10	10	10	10	Ei kasutata	
Süüteõli kogus	l/a	13 652	17 183	33 732	49 479		
Süüteõli kütteväärtus	kWh/l	10	10	10	10		
Süüteõli brutoenergia	kWh/a	136 521	171 832	337 316	494 790		
Kogu brutoenergia	kWh/a	1 365 210	1 718 320	3 373 164	4 947 896	6 950 103	10 408 399
Arvutuslik võimsus	kW	51	69	139	210	304	468
Installeeritud võimsus	kW	55	75	150	220	330	500
<b>Energia tootmine</b>							
Kogu brutoenergia	kWh/a	1 365 210	1 718 320	3 373 164	4 947 896	6 950 103	10 408 399
Sellest elekter	kWh <sub>el</sub> /a	409 563	549 862	1 113 144	1 682 285	2 432 536	3 747 024
	kWh <sub>el</sub> /päev	1122	1506	3050	4609	6664	10 266
Sellest soojus	kWh <sub>soojus</sub> /a	546 084	673 581	1 295 295	1 880 201	2 780 041	4 413 161

### **Steriliseerimine**

Steriliseerimine toimub ühes või mitmes isoleeritud mahutis, mis saavad oma soojuse gaasi põletamisest. Steriliseerimiseks peab vähemalt 60 min temperatuur olema kõrgem kui 70°C. Vastavate seadmete valik sõltub sellest, kui tihti kääritit täidetakse. Peab mõõtma nende mahutite täituvust ja temperatuuri, sisestatava ja väljutatava materjali temperatuuri ja ka registreerima vastavad temperatuurid. Sedasi on võimalik saavutada sujuvat steriliseerimisprotsessi. Steriliseeritud materjal pumbatakse spetsiaalse pumba abil alles pärast 1 tunni pikkust vaheaega kääritisse.

### **Ettevalmistustehnika**

Vastavat tehnikat on vaja selliste substraatide jaoks, mis ise ei suuda kiiresti bakteriaalselt laguneda. Kui näiteks kasutada substraadina rukkiteri, siis on vajalik muljur. Alles pärast muljumist saab teo või tõstuki abil rukist kääritisse lisada. Kui on kasutuses tehnika tahkete ainete jaoks, siis pole rukki jaoks eraldi tehnikat vaja ja rukki võib ilma vaheladustamiseta kohe eelmahutisse suunata, ilma et peaks kartma kihistumist.

#### **6.3.2.2 Kääritamine**

Käärimine toimub mesofiilsel temperatuuril vahemikus 35-40°C. Kääriti on täielikult läbisegatav ja läbijooksuga betoonist mahuti, mis on ka isoleeritud ja kaetud trapetsplekiga. Ta on varustatud küttega, et kompenseerida soojuskadusid ja soojendada üles juurde lisatavad substraadid. Ka kääritil peaks olema lekke avastamise süsteem.

Keskmise hüdraulilise viibeaja korral peaks substraat mahuti läbima vähemalt 30 päevaga ja see peaks olema nii paigutatud, et ruumikasutus oleks 3,5 kg oKA/m<sup>3</sup>.

Substraadi juhtimine vastuvõtumahutist steriliseerimisse ja sealt edasi kääritisse käib eraldi torustiku kaudu, mis lõpeb kõrgemal kui substraadi nivoo kääritis. Ja juurdelisamine on ajareleega automatiseeritud. Vastavalt juurdelisatud kogustele toimub ka koheselt sama koguse kääritusjäägi väljutamine ülejooksutoru kaudu. Kääritis on uputatavad segistid nii installeeritud, et kääriti sisu segatakse reeglipäraselt, mis aitab ennetada ujuvkihi ja muude kihtide teket. Olukorra kontrollimiseks kääritis on vajalik vähemalt üks vaateaken.

#### **6.3.2.3 Biogaasi hoiustamine ja töötlemine**

Kääritis on vedeliku nivoost kõrgemal gaasiruum, mis on suletud gaasitiheda membraaniga. See membraan on gaasi kogumiseks ja kui hoidla täis saab, siis on see poolkera kujuga. Keskele paigutatud puidust tugisammas hoiab ära membraani kukkumise vedelikupeeglile. Väljastpoolt kaitstakse membraani tuule ja muude ilmastikunähtuste eest korralikult kinnitatud ilmastikukindla kilega.

Käärimise tulemusena tekkinud biogaasis võib olla suur osa väävelvesinikku (H<sub>2</sub>S). Sellel põhjusel on gaasiruumis ette nähtud bioloogiline väävlialdus. Selleks pumbatakse pidevalt gaasiruumi väike kogus õhku. Gaasiruum on varustatud ka üle- ja alarõhuventiilidega.

Kääritis tekkinud biogaas on soe ja niiske. Gaasi kasutamiseks on teda vaja jahutada ja liigne niiskus vee kondenseerimise teel eraldada. Selleks on gaasitorustikul vajalik langus ja kondensatsioonivee väljutamise võimalus. Torustikust välja lastav kondensatsioonivesi valgub veemahutisse, et vältida gaasi märkamatu kadu torustikust. Veemahuti on varustatud tasememõõdikuga ja pumbaga, et liigne vesi saaks koheselt ära pumbatud.

#### **6.3.2.4 Biogaasi kasutamine**

Gaasi on võimalik seega kasutada sädesüütega diiselmootoris või gaas-ottomootoris. Põletusagregaadi ees peab olema seade, mis kindlustab, et leek ei tungiks torustikku. Et gaasi gaas-ottomootoris kasutada, peab eelnevalt veel gaasi rõhku tõstma. Ka siin peab kindlustama leegi torustikku mitte pääsemine. Selleks on enne gaasitihendit liivapott. Liivapotti kogunenud kondensaat juhitakse kondensaadišahti.

Koostootmiseseadme mootoris põletatakse biogaas ja toodetakse generaatori abiga elektrit. Selle protsessi käigus tekkinud soojust kasutatakse kääriti kütmiseks ja steriliseerimiseks. Ülejäänud soojust on võimalik kasutada muul otstarbel: elumaja, ruumide, lautade, kuivatite kütteks. Liigest soojustest vabanetakse hädaabijahuti kaudu.

Ohutusnõuetest tulenevalt peab põllumajanduslik biogaasitehas omama juhuks, kui gaasi kasutamine on takistatud, ka ohutuspõletit võimsusega 20 m<sup>3</sup>/tunnis. Ka mudeltehasele on selline seadeldis kohustuslik.

### 6.3.2.5 Kääritusjäägi hoiustamine

Kääritusjäägi hoiustatakse tavaliselt sõnniku ladustamiseks mõeldud vedelsõnnikuhoiuldas. Lisasubstraatide kääritamisel tekkiv kääritusjääk tuleb adekvaatselt ladustada. Kääritusjäägi ei tohi laotada talvel 240 päeva (Veeseadus §24) ning hoidla maht peab mahutama 8 kuu kääritusjäägi (vt ka ptk 7.4, joonis 7-1). Mudeltehastel, mida majandatakse koos, on investeeringute hulka arvestatud ainult lisasubstraatide hoiuruumid. Oma ettevõtte sõnniku ja mujalt juurde toodavate väljaheidete jaoks eraldi hoiuruumi pole. Seega, kui keegi toob läga kääritamisele, siis saab ta ka kohe vastu masinatäie kääritusjäägi. Nii välditakse tühjalt sõitmisi ja olemasolevate hoidlate ruumi raiskamist. Mahutid peavad olema kaetud. See pole küll gaasitihe, sest pole mõeldud gaasi kogumiseks, aga kaetuna vähendatakse gaaside emissiooni tunduvalt. Kääritusjäägi hoidlad on varustatud ühe või kahe uputatava segistiga ja need on ühendatud lähahoidlatega. Kääritusjäägi hoidlas on nivooandur ja installeeritud pumpamise võimalus, et kääritusjäägi vedelat osa kogumismahutisse tagasi pumbata juhul, kui on vaja muuta substraati vedelamaks.

### 6.3.2.6 Mudeltehaste iseloomustavad andmed

#### **Mudeltehas nr 1**

##### **Ühe ettevõtja majandada, veise pidamine 120 lü ja lisasubstraadid**

Selle mudeli puhul on kogu kasutatav materjal pärit oma ettevõtte toodangust. Kasutatakse veise vedelsõnnikut, veiste söödajäätmeid ja lisaks veel maisi- ja rohusilo segu. Üks väike osa kääritatud substraadist suunatakse uuesti kääritisse, et läga ja silo segu saaks pumbatava konsistentsi 16% KA sisaldusega. Uuesti ringlusse minevat osa ei arvestata gaasitekke koguse hulka ja seega on gaasikoguste juures sellega arvestatud. Joonisel 6-2 on selline mudeltehas esitatud skemaatilisel ja tabelis 6-10 on selle kohta olulisemad andmed.

#### **Mudeltehas nr 2**

##### **Ühe ettevõtja majandada, nuumikute pidamine 160 lü ja lisasubstraadid**

Ka mudeltehas 2 on ühe ettevõtte organiseerida. Lisandub enda ettevõtte sealäga, oma kasvatatud maisisilo ja oma rukki (40%) kõrval kasutatakse ka juurde ostetud rukist (60%). Joonisel 6-3 on selline mudeltehas esitatud skemaatilisel ja tabelis 6-11 on selle kohta olulisemad andmed.

#### **Mudeltehas nr 3**

##### **Ühisettevõtte, veisekasvatuse 250 lü ja nuumsead 160 lü, lisasubstraadid**

Mudeltehast nr 3 majandavad mitu ettevõtjat. Tehas on paigutatud ettevõttesse, kus saab soojust ära kasutada – seega sinna, kus nuumatakse sigu. Kasutatavad substraadid on läga, maisi- ja rohusilo segu, rukis ja veisekasvatuse söödajäätmeid. Joonisel 6-4 on selline mudeltehas esitatud skemaatilisel ja tabelis 6-12 on selle kohta olulisemad andmed.

#### **Mudeltehas nr 4**

##### **Ühistu tehas, veisekasvatuse 2000 lü**

Mudeltehas nr 4 kasutab peamiselt veiseläga ja veiste söödajäätmeid. Joonisel 6-5 on selline mudeltehas esitatud skemaatilisel ja tabelis 6-13 on selle kohta olulisemad andmed.

#### **Mudeltehas nr 5**

##### **Ühisettevõtte, veisekasvatuse 520 lü ja nuumsead 320 lü, lisasubstraadid**

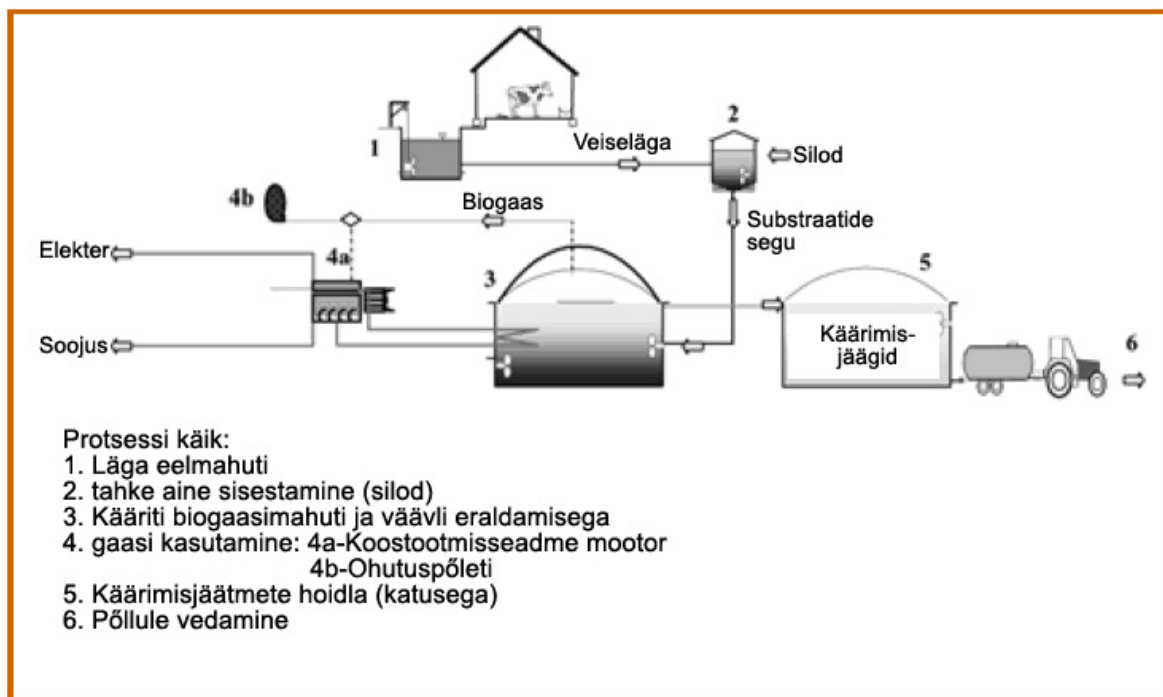
See mudeltehas on loodud rohkem kui kahe põllumajandusettevõtja poolt. Tehas paigutati veiseid pidavasse ettevõttesse, kus toodetakse kõige rohkem biomassi. Selles tehases kasutatakse peamiselt läga, söödajäätmeid, maisi- ja rohusilo ning rukist, millest 60% on sisse ostetud. Joonisel 6-6 on selline mudeltehas esitatud skemaatilisel ja tabelis 6-14 on selle kohta olulisemad andmed.

#### **Mudeltehas nr 6**

##### **Ühisettevõtte, veisekasvatuse 520 lü ja nuumsead 320 lü, lisasubstraadid ja orgaanilised jäätmed**

See mudeltehas on loodud rohkem kui kahe põllumajandusettevõtja poolt. Selles tehases saab kasutada ka erilisi substraate. Peale põllumajandusliku läga, maisi- ja rohusilo, söödajäätmete,

omatoodetud rukki (40%) ja juurde ostetud rukki (60%) kasutatakse 20% ulatuses sisenditest ka mittepõllumajanduslikke substraate. Nendeks substraatideks on rasvad, köögi- ja söögijäätmed gastronoomia ettevõtetest. Joonisel 6-7 on selline mudeltehas esitatud skemaatiliselt ja tabelis 6-15 on selle kohta olulisemad andmed.

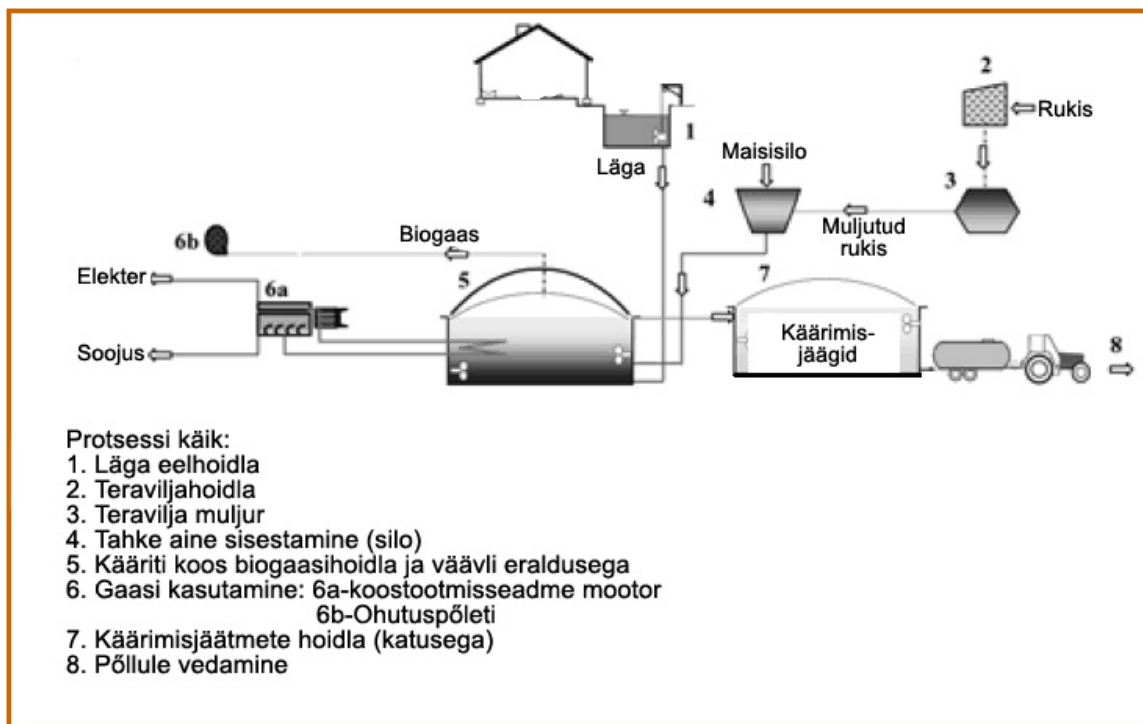


Joonis 6-2: Mudeltehase nr 1 skeem.

Tabel 6-10: Ülevaade ehitusgruppidest mudeltehases nr 1

Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhoidla	1-2-päevane mahutavus	Kasutatakse kui läga eelmahutit
Eelmahuti	35 m <sup>3</sup>	Läga lägahoidlast ja lisatakse tõstukiga silod, mis omavahel segatakse
Tahkete ainete lisamine	-	-
Eelmahuti lisasubstraatidele	-	-
Steriliseerimine	-	-
Ettevalmistustehnika	-	-
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	420 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väävli eraldamisega, 45-päevase kääriti viibeaeg ja ruumikasutusega 3,3 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmiseseade	55 kW elektrit	Sädesüütega koostootmiseseade, installeeritud võimsusega, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutus põleti	30 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Käärimisjäätme ladustamine</b>		
Lisasubstraatide kasutamisest tingitud lisahoidla	420 m <sup>3</sup>	Kinni kaetud, emissiooni vähendamiseks, tagasijooksu torustik eelmahutisse

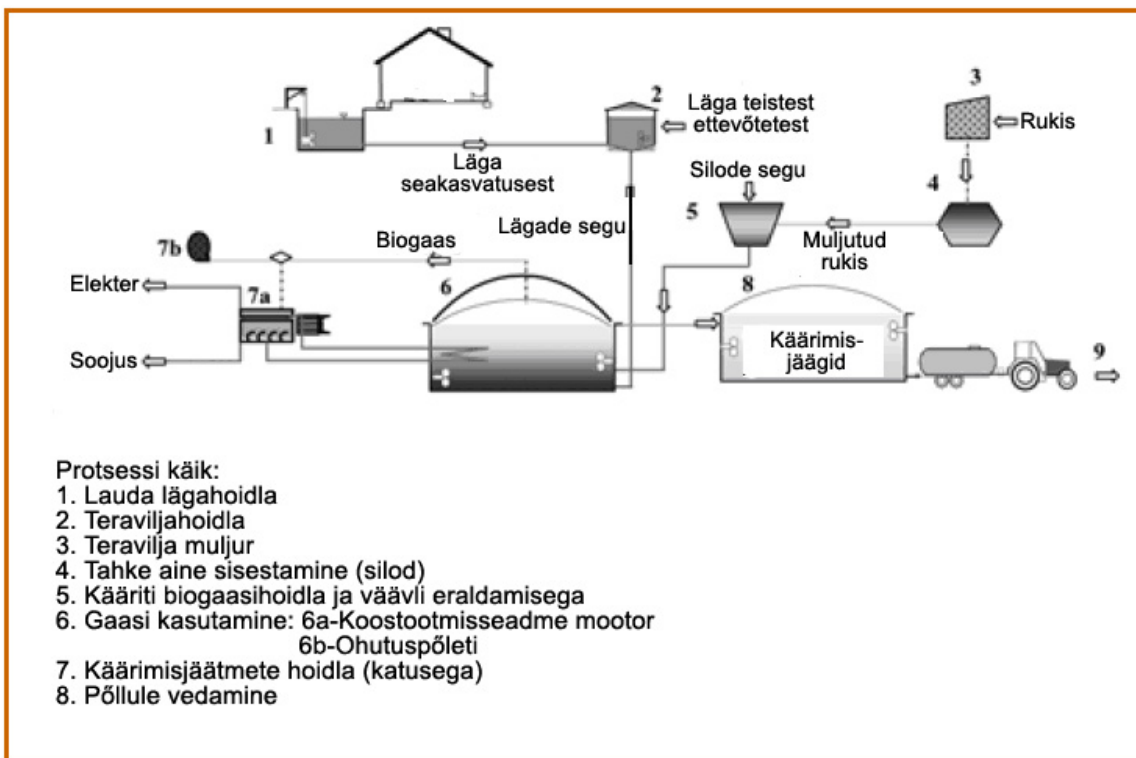




Joonis 6-3: Mudeltehase nr 2 skeem

Tabel 6-11: Ülevaade ehitusgruppidest mudeltehases nr 2

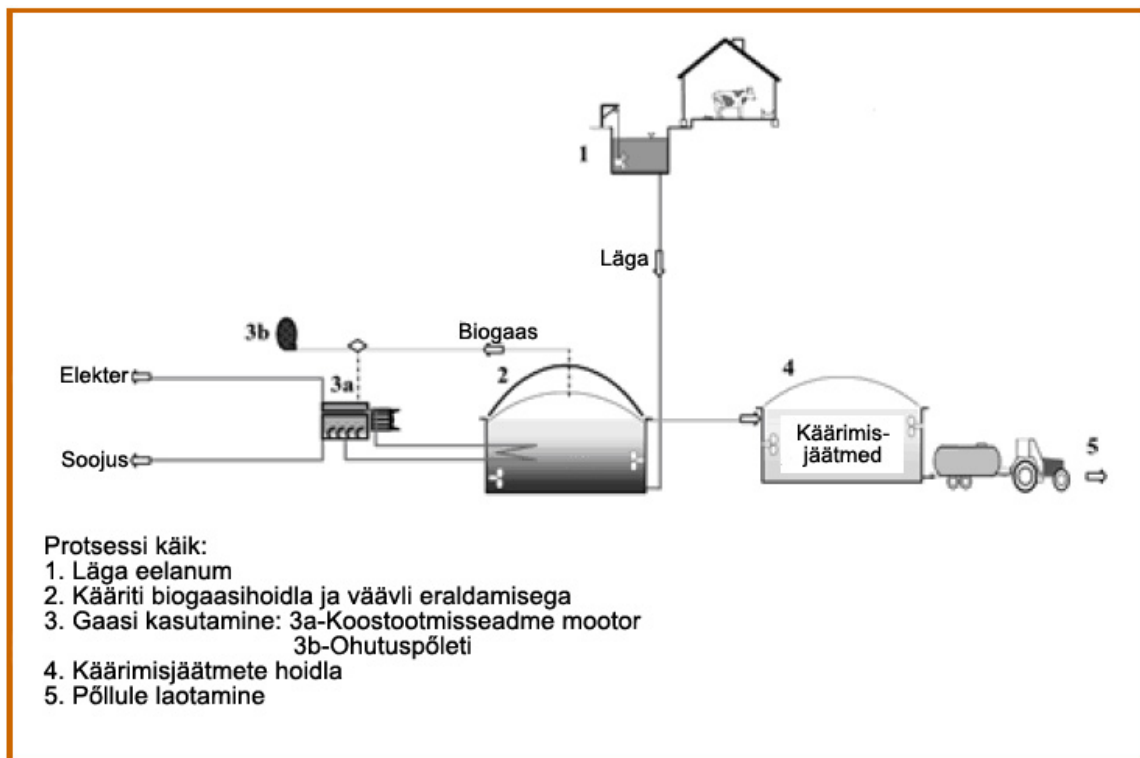
Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhoidla	3-4-päevane mahutavus	Eelmahuti võib ka ära jätta, kui lägahoidla on vähemalt 15 m <sup>3</sup> ruumalaga ja segamistehnikaga või selle lisamisvõimalusega
Eelmahuti		
Tahkete ainete lisamine	Täitmise kolu 8 m <sup>3</sup>	Maisisilo lisamine
Eelmahuti lisasubstraatidele	-	-
Steriliseerimine	-	-
Ettevalmistustehnika	Teravilja muljur	-
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	480 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väävli eraldamisega, 60-päevane kääriti viibeag ja ruumikasutus 2,9 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmiseseade	75 kW elektrit	Sädesüütega koostootmiseseade, installeeritud võimsusega, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutuspõleti	38 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Kääritusjäägi ladustamine</b>		
Lisahoidla tingituna lisasubstraatide kasutamisest	280 m <sup>3</sup>	Kinni kaetud, emissiooni vähendamiseks



Joonis 6-4: Mudeltehase nr 3 skeem

Tabel 6-12: Ülevaade ehitusgruppidest mudeltehases nr 3

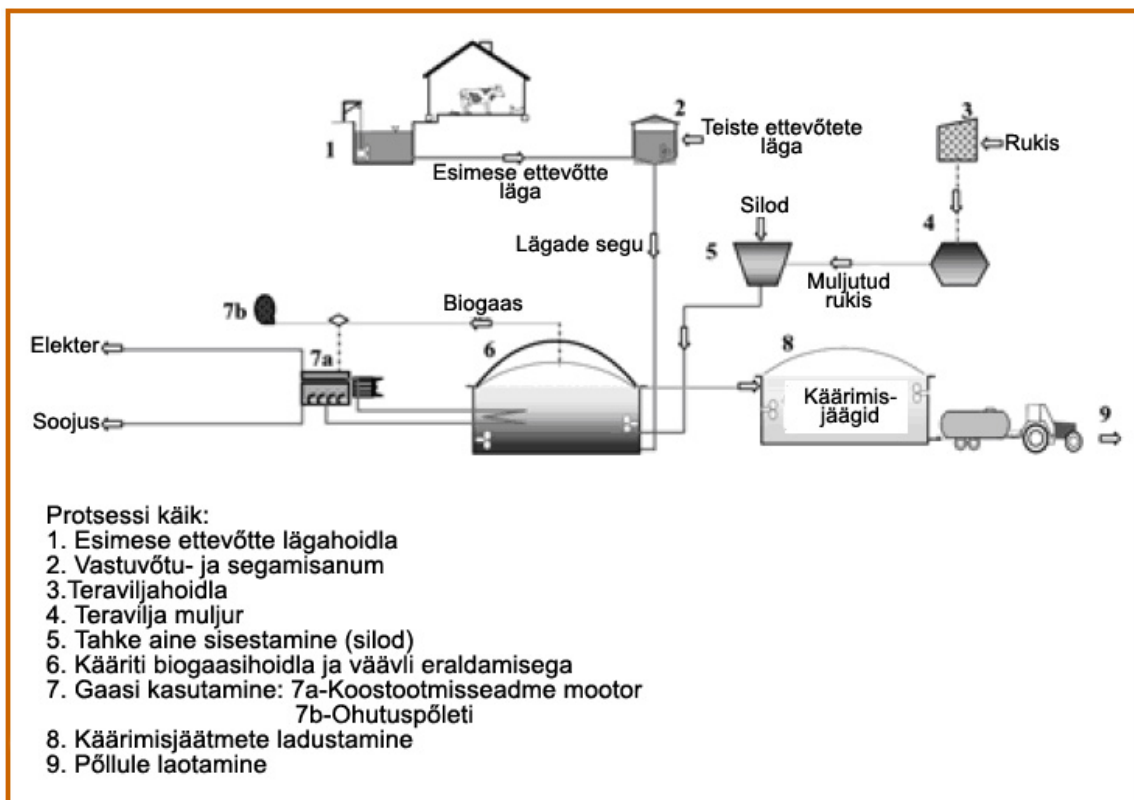
Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhooldla	1-2-päevane mahutavus	Kasutatakse kui eelmahuti
Eelmahuti	80 m <sup>3</sup>	Erinevate lägade segamine
Tahkete ainete lisamine	Täitmise kolu 13 m <sup>3</sup>	Maisi- ja rohusilo lisamine
Eelmahuti lisasubstraatidele	-	-
Steriliseerimine	-	-
Ettevalmistustehnika	Teravilja muljur	-
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	1100 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väävli eraldamisega, 43-päevane kääriti viibeaeg ja ruumikasutus 3,3 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmisseade	150 kW elektrit	Sädesüütega koostootmisseade, installeeritud võimsusega, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutuspõleti	80 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Kääritusjäägi ladustamine</b>		
Lisahoidla tingituna lisasubstraatide kasutamisest	560 m <sup>3</sup>	Kinni kaetud, emissiooni vähendamiseks, tagasijooksutorustik eelmahutisse



Joonis 6-5: Mudeltehase nr 4 skeem

Tabel 6-13: Ülevaade ehitusgruppidest mudeltehases nr 4

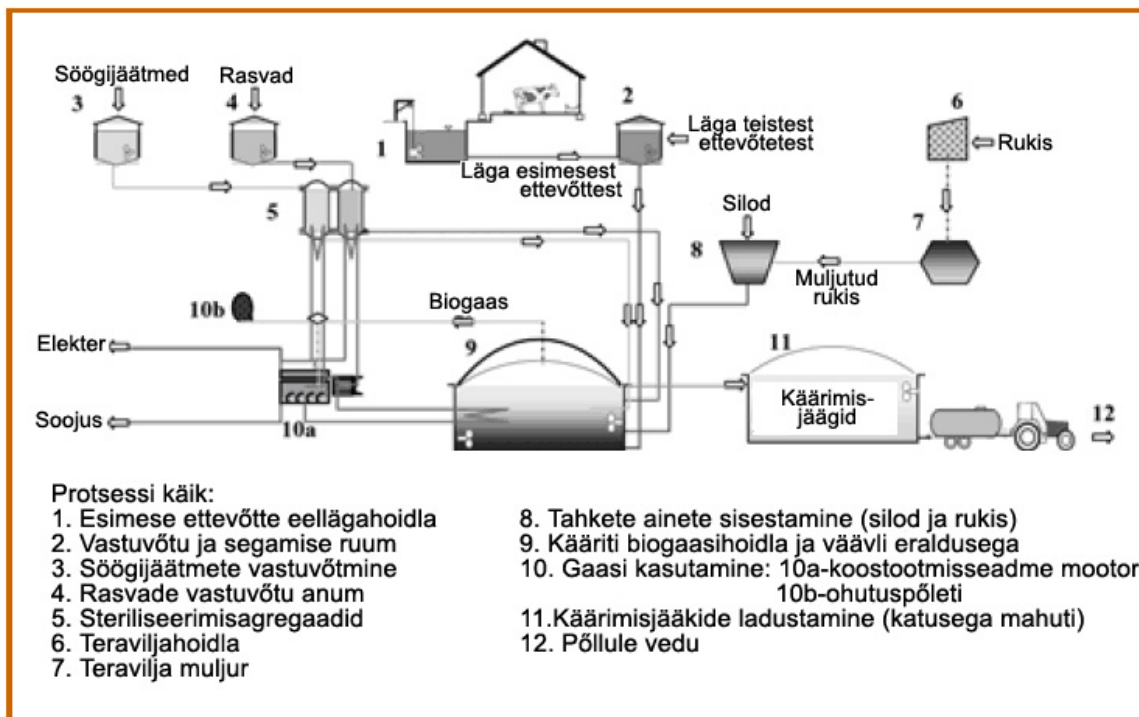
Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhoidla	3-4-päevane mahutavus	Eelmahti võib ära jätta, kui lähahoidla on vähemalt 300 m <sup>3</sup> ruumalaga ja segamistehnikaga või selle lisamisvõimalusega
Eelmahti		
Tahkete ainete lisamine		
Eelmahti lisasubstraatidele		-
Steriliseerimine		-
Ettevalmistustehnika		-
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	3300 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väävli eraldamisega, 30-päevane kääriti viibeag ja ruumikasutus 2,6 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmisseed	220 kW elektrit	Sädesüütega koostootmisseed, installeeritud võimsusega, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutuspõleti	110 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Kääritusjäägi ladustamine</b>		
Lisahoidla tingituna lisasubstraatide kasutamisest		Ei kasutata lisasubstrate, seega ei vaja ka lisahoiustamisruumala



Joonis 6-6: Mudelتهase nr 5 skeem

Tabel 6-14: Ülevaade ehitusgruppide mudelتهases n. 5

Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhoidla	1-2-päevane mahutavus	Kasutatakse kui eelmahutit
Eelmahuti	150 m <sup>3</sup>	Erinevate ettevõtete eri lägade segamine
Tahkete ainete lisamine	Täitmise kolu 18 m <sup>3</sup>	Maisi- ja rohusilo ning muljutud rukki lisamine
Eelmahuti lisasubstraatidele	-	-
Steriliseerimine	-	-
Ettevalmistustehnika	Sõltuvalt toorme kohaletoimetamise intervallist	Teravilja muljur rukkiterade muljumiseks
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	2400 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väavli eraldamisega, 45-päevane kääriti viibeaeg ja ruumikasutus 3,3 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmiseseade	330 kW elektrit	Gaas-ottomootoriga koostootmiseseade, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutuspõleti	170 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Kääritusjäätme ladustamine</b>		
Lisahoidla tingituna lisasubstraatide kasutamisest	1740 m <sup>3</sup>	Kinni kaetud, emissiooni vähendamiseks, kääritusjäätme tagastamine koostööettevõtetesse ja seal hoiustamine



Joonis 6-7: Mudeltehase nr 6 skeem

Tabel 6-15: Ülevaade ehitusgruppide mudeltehases nr 6

Protsessilõik / ehitusgrupp	Dimensioneerimine	Erisused/ funktsioonid
<b>Substraadi vastuvõtmine ja ettevalmistamine</b>		
Laudas olev sõnnikuhoidla		
Eelmahuti	150 m <sup>3</sup>	Erinevate ettevõtete eri lögade segamine
Tahkete ainete lisamine	Täitmise kolu 13 m <sup>3</sup>	Maisi- ja rohusilo ning muljutud rukki lisamine
Eelmahuti lisasubstraatidele	Sõltuvalt toorme kohaletoimetamise intervallist	Köögi- ja söögijäätmed, rasvad
Steriliseerimine	12 m <sup>3</sup>	Köögi- ja söögijäätmed, rasvad
Ettevalmistustehnika	Sõltuvalt toorme kohaletoimetamise intervallist	Teravilja muljur rukkiterade muljumiseks
<b>Käärimine / gaasi töötlemine</b>		
Kääriti	3000 m <sup>3</sup>	Gaasitihe, topelt membraaniga ja kinni kaetud, sisemise bioloogilise väavli eraldamisega, 48-päevane kääriti viibeaeg ja ruumikasutus 3,4 kg oKA / m <sup>3</sup>
<b>Gaasi kasutamine</b>		
Koostootmiseseade	500 kW elektrit	Gaas-ottomootoriga koostootmiseseade, tööaeg täiskoormusega: 8000 h aastas
Ohutuspõleti	240 m <sup>3</sup> biogaasi/h	
<b>Kääritusjäägi ladustamine</b>		
Lisahoidla tingituna lisasubstraatide kasutamisest	2800 m <sup>3</sup>	Kinni kaetud, emissiooni vähendamiseks, käärimisjäägi tagastamine koostöettevõtetele ja seal hoistamine

### 6.3.3 Mudelitehaste investeeringute vajadused

Järgnev tabel annab ülevaate investeeringuvajadustest mudelitehastesse.

Tabel 6-16: Ülevaade investeeringuvajadustest mudelitehastesse

Ehitusgrupi keskm investeeringuvajadus	Investeering eurodes					
	Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3	Mudel 4	Mudel 5	Mudel 6
<b>Baasestadmed</b>						
Substraadi vastuvõtt	22 100	19 500	37 205	43 000	32 500	32 500
Kääriti	94 500	94 500	113 000	320 000	220 000	300 000
Soojuse ja elektri koostoomisseade	65 000	85 000	178 000	206 000	316 000	362 500
Ohutuspõleti	12 000	12 000	25 000	25 000	25 000	25 000
<b>Summa</b>	<b>193 600</b>	<b>211 000</b>	<b>353 205</b>	<b>594 000</b>	<b>593 500</b>	<b>720 000</b>
<b>Lisaseadmed</b>						
Lisasubstraatide vastuvõtu summa						80 500
Tahke aine sisestamise ja töötlemise summa		12 000	27 500		30 000	37 500
Steriliseerimine						57 000
Kääritusjäägi lisahoiustamine	29 180	38 000	32 000		72 000	104 000
<b>Summa</b>	<b>29 180</b>	<b>50 000</b>	<b>59 500</b>	<b>0</b>	<b>102 000</b>	<b>279 000</b>
<b>Baas- ja lisaseadmete summa</b>	<b>222 780</b>	<b>261 900</b>	<b>412 705</b>	<b>594 000</b>	<b>695 500</b>	<b>999 000</b>
<b>Planeerimise ja kooskõlastuse maksumus (+10%)</b>	<b>22 278</b>	<b>26 100</b>	<b>41 271</b>	<b>59 400</b>	<b>69 550</b>	<b>99 900</b>
<b>Kogu investeering</b>	<b>245 057</b>	<b>287 100</b>	<b>453 976</b>	<b>653 400</b>	<b>765 050</b>	<b>1 098 900</b>

### 6.4 Kasutatud kirjandus

- /6-1/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 1. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2001)
- /6-2/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 2. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)
- /6-3/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 3. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)
- /6-4/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 4. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2003)
- /6-5/ Linke, B.; Mähner, M.: Kinetik der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen bei kontinuierlicher Prozessführung als Grundlage für die Bemessung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Laufendes FNR-gefördertes Forschungsprojekt des ATB Potsdam und der BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH
- /6-6/ Keymer, U.: Biogas – Menge und Qualität. Berechnung, Meßmethoden, Optimierung. In: Landtechnik-Bericht (32), Mitterleitner, H. (Hrsg.), Landtechnischer Verein in Bayern e.V., Freising, (1999)



# Kääritusjäägi kvaliteet ja kasutamine

## 7.1 Substraadi omaduste muutumine käärimisprotsessis

Kääritatud biomassi koostis sõltub eeskätt algmaterjali orgaanilise aine ja lämmastiksisaldusest ning lämmastiku esinemise vormist. Kääritusjäägi toitainesisaldust mõjutavad samuti kääritusprotsessi pikkus ja parameetrid (nt temperatuur, rõhk) ning algmaterjali päritolu ja koostis.

Käärimisprotsessi käigus väheneb algmaterjali orgaanilise kuivaine sisaldus 24-80% (tabel 7-1), kuna suur osa orgaanilises kuivaines sisalduvatest süsinikühenditest lagundatakse metaaniks ( $\text{CH}_4$ ) ja süsihappegaasiks ( $\text{CO}_2$ ).

Põllumajandusloomade sõnnikus sisalduva orgaanilise aine lagunemise ulatus sõltub erinevatest faktoritest. Seejuures on loomaliigil väga oluline roll. Orgaaniline aine laguneb veisesõnnikus keskmiselt 30 (piimalehmad) kuni 40% (nuumloomad), seasõnnikus 40-50% ja linnusõnnikus isegi 45-65% ulatuses. Veisesõnniku orgaanilise aine väiksem lagunemine võrreldes teiste loomaliikidega on seotud kõrgema toorkiusisaldusega söödas ja seega ka tekkivas sõnnikus. Samal ajal sisaldab sea- ja linnusõnnik rohkem rasvu ja süsivesikuid. Seega on veise vedelsõnnikuga võrreldes neis rohkem lagundatavat energiat.

Taimse materjali lisamine põllumajandusloomade sõnnikule suurendab orgaanilise aine lagunemise ulatust (tabel 7-1). Oluliselt mõjutavad sõnniku orgaanilise aine lagunemise ulatust loomaliigist ja loomade pidamissüsteemist tulenevate erinevuste kõrval ka käärimisprotsessi parameetrid. Peamised neist on temperatuur, substraadi peatumise aeg käärituskambris, samuti kambri täituvus (tabel 7-1). Tabel 7-1 annab ülevaate põllumajandusloomade sõnniku jt substraatide toitefaktorite sisaldusest labori- ja praktiliste uuringute tulemuste põhjal.

Käärimisprotsessis väheneb vedelsõnniku viskoossus, eriti just veisesõnnikul. Seda põhjustab peamiselt kuivainesisalduse vähenemine, aga ka limaainete lagunemine. Samuti mõjutavad vedelsõnniku viskoossust selles sisalduvad gaasimullikesed (süsihappegaas ja metaan). Käärimisprotsessis eralduvad gaasid vedelikust ja viskoossus väheneb.

Käärimisprotsessi käigus väheneb oluliselt substraadi lõhnaainete ja orgaaniliste hapete sisaldus - tüüpiline sõnnikulõhn elimineeritakse (tabel 7-1). Samuti vähendab orgaaniliste hapete väiksem hulk söövituse ohtu, kui kääritusjääk laotatakse taimedele.

Orgaanilise aine lagunemise tagajärjel viiakse osa orgaaniliselt seotud lämmastikust üle  $\text{NH}_4^-$ -vormi, peamiselt ammooniumkarbonaadiks. Sellest tulenevalt suureneb kääritusjäägi ammooniumlämmastiku sisaldus 5-10% võrreldes vedelsõnnikuga. Tahesõnniku kääritamisel võib ammooniumilämmastiku osakaal kahekordistuda.

Kääritamata vedelsõnniku pH on suure puhverdusvõime tõttu neutraalne või nõrgalt aluseline. Metaankäärimise tagajärjel suureneb kääritusjäägi pH 8-8,5-ni. pH tõus mõjutab ammoniaagi lendumist kääritatud substraadist.

Neutraalse pH (7,0) juures on anorgaaniline lämmastik vedelsõnnikus peamiselt ammooniumilämmastikuna, mis ei lendu. pH suurenemisel muutub ammooniumilämmastik aga lenduvaks ammoniaagiks. Seega suureneb kääritusprotsessi käigus vedelsõnnikus ammoniaagi osakaal, proportsionaalselt väheneb ammooniumlämmastiku osatähtsus. pH väärtusel 8,0 on ammoniaagi osakaal juba u 20%. Suurenenud ammoniaagi-kadudele käärimisprotsessis ning eriti kääritusjäägi laotamisel tuleb tähelepanu pöörata (ptk 7.3). Substraadi üldlämmastiksisaldus käärimisprotsessi jooksul ei vähene. Võrreldes algmaterjaliga, suureneb veidi kääritusjäägi üldlämmastiku kontsentratsioon, kuna kuivaine laguneb ja selle osakaal väheneb.



Tabel 7-1: Erinevatest algmaterjalidest pärineva kääritusjäägi toitefaktorite sisaldus

Substraat	Org. aine lagunemine %	Org. hapete lagunemine %	NH <sub>4</sub> – N kogulämmastikust, %	pH	Autor
<b>Põllumajandusloomade sõnnik</b>					
Sigade vedelsõnnik	54	83	70	7,7	/7-1/
Sigade vedelsõnnik	40	76	72		
Sigade vedelsõnnik, separeeritud			73	7,9	
Piimalehmade vedelsõnnik, separeeritud	24	68	50	7,9	
Veiste vedelsõnnik	30		47		
Veiste vedelsõnnik, separeeritud			63	8,3	
Pullide vedelsõnnik	52		74	8,0	
Kanade vedelsõnnik	67		85	8,2	
Veiste ja sigade tahesõnnik (mahetootmine)	48		71	7,5	/7-2/
<b>Põllumajandusloomade sõnnik + substraat</b>					
Maisi-, päevalille-, rohusilo ja pullide vedelsõnniku segu	80		58-64	7,8	/7-3/

Teiste olulist toitainete (P, K, Ca ja Mg) kogus kääritusjäägis ei muutu. Sarnaselt lämmastikuga viiakse osa fosforist anorgaanilisse vormi, mis on taimedele kergemini omastatav. K ja Mg on põllumajandusloomade sõnnikus peamiselt lahustunud vormis ja taimedele kergesti omastatavad. Nimetatud elementidele ei ole käärimisprotsessil mingit erilist mõju. Käärimisprotsessi käigus suureneb sarnaselt lämmastikuga ka teiste elementide kontsentratsioon. Substraadi väävlisisaldus võib käärimisprotsessi käigus väheneda, kuna väävel muundub gaasiliseks väävelvesinikuks ja väljub protsessist koos teiste gaasidega. Väävelvesinik kui üks biogaasi komponent on ebasoovitav, kuna see võib põhjustada gaasipõletis jt seadmetes korrosiooni. Seetõttu puhastatakse paljudes biogaasitehastes bioloogilisel teel biogaas väävlist (ptk 5.1). Suur osa biogaasis olevast väävelvesinikust muundatakse väävli siduvate bakterite abil elementaarseks väävliks, mis jääb taimetoitainena kääritusjääki. Väävli siduvate bakterite kasutamise tulemusena väheneb kääritusjäägi väävlisisaldus võrreldes algmaterjaliga minimaalselt. Raskemetallide, mis ei allu bioloogilistele protsessidele, kontsentratsioon suureneb kääritusjäägis sarnaselt toitainetega orgaanilise aine lagunemise tõttu. Seejuures võib tekkida probleeme kehtiva seadusandlusega, kus raskemetallide sisaldus on toodud sisaldusena kuivaines (mg/kg KA): orgaanilise aine lagunemisel 50% võrra võib raskemetallide kontsentratsioon kahekordistuda, ilma et üldkogus muutuks /7-5/. Palju ei ole teada orgaaniliste mürkainete, nagu dioksiinid, furaanid, polüklooreritud bifenuülid jt, lagunemisest käärimisprotsessi käigus. Anaeroobse tehnoloogiaga reoveepuhastusjaamades tehtud uuringute põhjal võib oletada, et biogaasi tekkeprotsess nimetatud mürkaineid oluliselt ei mõjuta.

Eriline tähendus on kääritusjäägi hügieenil ehk haigustekitajate sisaldusel. Tulenevalt EL nõuetest tuleks loomsetest allikatest pärinevaid substraate haigustekitajate kõrvaldamise eesmärgil termiliselt töödelda temperatuuril 70°C või isegi steriliseerida 133°C juures.

Põllumajandusloomade väljaheidetes esinevate haigustekitajate kahjutustamine toimub ka käärimisprotsessi käigus. See sõltub käärimisprotsessi pikkusest, temperatuurist ja füüsikalise-keemilistest tingimustest käärimiskambris. Substraadi intensiivse segamise korral tekib käärimiskambris oht, et osa juurde lisatud materjalist viiakse ka kohe välja. Sellega tekib võimalus, et osa patogeene on käärimiskambris lühikest aega ja jäävad hävitamata. Need jäävad kääritusjäägi hulka ja võivad põhjustada taimahaigusi, sattuda kodu- ja metsloomade organismi ja jõuda läbi toidu isegi inimesteni /7-6/. Olulisim mõju patogeene hävimisele on temperatuurinivool, mille juures käärimisprotsess toimub.

Taimede seemnete (nt hirss ja tomat) vastupidavus anaeroobse, eriti hüdrofüütilise keskkonna tingimustele on väga madal. Mesofiilsetes üheastmelistes käärimiskambrites hävivad seemned mõne päeva jooksul. Termofiilsetes ning hüdrofüütilistes tingimustes mitmeastmelistes käärimiskambrites toimub idanevuse langus ning seemnete hävimine veelgi kiiremini. Reeglina hävivad taude põhjustavad bakterid (nt salmonelloos) mesofiilsetes tingimustes mõne päevaga kuni 90% ulatuses. Termofiilsetes tingimustes saavutatakse sarnane efekt aga juba mõne tunniga. Vaatamata sellele võib mesofiilsete (35°C) tingimuste korral u 10% bakterite eluvõime ka 20 päeva pärast säilida. Kahe

üksteisele järgneva mesofiilse käärimiskambri kasutamisel hävib 99% bakteritest. Mittetäielik haigustekitajate hävimine on tihti seotud just ebapiisava käärituse kestuse ja substraadi segamisega. Seeneeoste puhul on indikaatoriks *plasmiodiophora brassicae*. Nimetatud seene eosed inaktiveeruvad suures osas ka mesofiilsetes tingimustes suhteliselt lühikese aja jooksul. Erinevate parasiitide munade ja vastsete infektsioonivõime hävib mesofiilsetes tingimustes mõne päeva, termofiilsetes tingimustes aga mõne tunni jooksul. Enteroviiruste säilimise võime anaeroobses keskkonnas ning termofiilsetes tingimustes on väga varieeruv, ulatudes erinevatel viirustel mõnest minutist mõne nädalani. Fütopatogeensed viirused omavad anaeroobsetes tingimustes tugevat vastupanuvõimet. Näiteks võib tubaka mosaiikviirus käärimisprotsessi täielikult üle elada. See kehtib ka teiste fütopatogeensete viiruste kohta.

Käärimisprotsessi keskkonnast tingitud ensüümide ja hapete sisaldus ning redokspotentsiaal mõjuvad haigustekitajatele pärssivamalt kui anaeroobsed tingimused ehk hapniku puudumine. Eriti hästi mõjub substraadi hügieenile hüdrolüüsiprotsess, mis toimub kergelt happelises keskkonnas ja kõrge ensüümide kontsentratsiooniga juures. Kõrge hügieeniga kääritusjäak saadakse mitmeastmelisest kontrollitud tsirkulatsiooniga või kaskaadreaktoritest. Üheastmelistes mesofiilsetes reaktorites tagab kääritusjäagi kõrge hügieeni kas kontrollitud tsirkulatsiooni või mitme üksteisele järgneva fermentaatori kasutamine. Ainult vähesed väga resistentsed haigustekitajad võivad käärimisprotsessi üle elada. Sageli alahinnatakse kääritusjäagis esinevat taimekahjuritest tulenevat nakatumisriski ja seda on ka vähe uuritud. Erinevatest allikatest (majapidamine, aed jms) pärinevate taimse päritoluga substraadide koos kääritamisel võib oletada, et selles on suur umbrohuseemnete sisaldus. Mittepiisava käitlemise korral võib see põhjustada kultuurmaastiku umbrohtumuse suurenemist. Kääritusjäak võib erinevate seemnete ja haigustekitajatega saastuda ka pärast käärimisprotsessi, näiteks ladustamise kestel ja/või enne põllule viimist.

## 7.2 Ladustamise mõju kääritusjäagile

Põllumajandusloomade sõnniku ladustamine toob endaga kaasa erinevate kasvuhoonegaaside (metaan, naerugaas), ammoniaagi ja erinevate lõhnaainete emissiooni.

### 7.2.1 Ammoniaagi emissioon

Käärimisprotsessi käigus suureneb ammooniumlämmastiku osakaal substraadis, mis viib pH tõusuni. See omakorda suurendab ammooniumlämmastiku üleminekut ammoniaaklämmastikuks. Sellest tulenevalt on tõenäoline, et ladustatud kääritusjäagist eraldub palju ammoniaaki. Kuna suur osa sõnniku kuivainest käärimisprotsessis laguneb, ei teki ladustatud kääritusjäagile enam lendumist vähendavat kihti (koorikut) nagu kääritamata vedelsõnniku puhul. Katsetulemustest /7-7/ nähtub, et ladustatud kääritusjäagist tulenev ammoniaagi emissioon on võrreldes kääritamata vedelsõnnikuga 21-64% suurem. Teised uuringud aga ei näita kääritusjäagi ammoniaagi emissiooni suurenemist võrreldes kääritamata vedelsõnnikuga. Paljudes uuringutes on siiski tõestatud, et ammoniaaklämmastiku osakaal kääritusjäagis suureneb.

Viini ülikoolis läbiviidud uurimisprojekti, milles määrati ammoniaagi (NH<sub>3</sub>), naerugaasi (N<sub>2</sub>O) ja metaani (CH<sub>4</sub>) emissioon piimalehmade ja sigade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel tootmistingimustes, tulemused on toodud tabelis 7-2. Uuringu tulemused näitavad, et anaeroobne käärimine ei vähenda ammoniaagi emissiooni substraadist. Projekti tulemustest nähtub, et emissioone saab enam mõjutada, kasutades parimat sõnniku laotamise tehnikat ning laotada sõnnikut optimaalsel ajal (p. 7.4 ja 7.5).

### 7.2.2 Kasvuhoonegaaside emissioon

Hulgaliselt on uuritud vedelsõnniku erinevate töötlemismeetodite mõju gaasiliste ühendite emissioonile /7-8/. Uuringute tulemused on toodud tabelites 7-3 ja 7-4. Biogaasi tootmine vähendab efektiivselt piimalehmade ja sigade vedelsõnnikust lenduvaid kasvuhoonegaase (CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O). Nagu tabelitest 7-3, 7-4 ja 7-2 nähtub, väheneb biogaasi tootmise korral selliste gaaside koguemissioon 60-75% võrra võrreldes töötlemata vedelsõnnikuga. Kääritusjäagi kasvuhoonegaaside CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O emissioonipotentsiaali vähenemine on peamiselt põhjustatud metaani lendumise vähenemisest. Metaani emissioon võib väheneda kuni 75% (tabelid 7-3 ja 7-4).

Metaani teke kääritatud vedelsõnnikus on pärsitud, kuna biogaasi moodustumisel käärimiskambri kasutatakse suur osa substraadi orgaanilisest ainest erinevate bakterkultuuride poolt ära ning seetõttu ei saa seda enam ladustamisperioodil kasutada. Kääritusjäagi metaani emissiooni vähenemise ulatus sõltub peamiselt algmaterjali orgaanilise aine lagunemise mahust ja kääritatava substraadi

käärimiskambris viibimise ajast. Erinevatest uuringutest nähtub, et kääritusjäagist, mis on saadud lühikese kääritusprotsessi tulemusena, lendub pikemaajaliselt käärituskambris olnud substraadiga võrreldes rohkem metaani. Juhul kui substraadi käärimiskambris viibimise aeg on väga lühike ning see sisaldab palju aktiivseid metanobaktereid, tekib isegi võimalus, et metaani emissioon kääritusjäagist on kääritamata vedelsõnnikuga võrreldes suurem (/7-9/).

Aastatepikkuse uuringute põhjal saab biogaasiseadmete kasutajatele anda mõningaid üldisi soovitusi:

**Käärimise aeg veise vedelsõnniku puhul peab olema vähemalt 28 kuni 35 päeva. Sigade vedelsõnnikul aga vähemalt 25 päeva.**  
**Vedelsõnniku kääritamisel koos taimse materjaliga pikeneb fermentatsiooniperiood maisi puhul 41-44 päevani ning liblikõieliste (ristiku) korral 45-47 päevani.**

Tabel 7-2:  $NH_3$ -,  $CH_4$ -,  $N_2O$  ning kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade ja sigade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8)

	Käitlemine	$NH_3$		$CH_4$		$N_2O$		GHG <sup>a</sup> % CO <sub>2</sub> ekv
		g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	
<b>Piimalehmade</b>	käitlemata	227	100	4047	100	24	100	100
<b>Vedelsõnnik</b>	kääritatud	230	101	1345	33	31	130	41
<b>Sigade</b>	käitlemata	211	100	866	100	56	100	100
<b>Vedelsõnnik</b>	kääritatud	263	125	217	25	77	138	80

a GHG = kasvuhoonegaaside emissioon

Tabel 7-3:  $NH_3$ -,  $CH_4$ -,  $N_2O$  ning kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8)

Käitlemine	$NH_3$		$CH_4$		$N_2O$		GHG % CO <sub>2</sub> ekv
	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	
<b>Käitlemata</b>	227	100	4047	100	24	100	100
<b>Separeerimine</b>	403	178	2363	58	29	120	63
<b>Kääritamine</b>	230	101	1345	33	31	130	41
<b>Põhuga katmine</b>	320	141	4926	122	53	220	130
<b>Aereerimine</b>	423	186	1739	43	54	227	58

Tabel 7-4:  $NH_3$ -,  $CH_4$ -,  $N_2O$  ning kasvuhoonegaaside emissioon sigade vedelsõnnikust ladustamisperioodil ning laotamisel (7-8)

Käitlemine	$NH_3$		$CH_4$		$N_2O$		GHG % CO <sub>2</sub> ekv
	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	%	
<b>Käitlemata</b>	211	100	866	100	56	100	100
<b>Separeerimine</b>	314	149	249	29	41	74	51
<b>Kääritamine</b>	263	125	217	25	77	138	80
<b>Põhuga katmine</b>	254	121	906	105	168	298	199
<b>Aereerimine</b>	728	345	1328	153	559	995	280

#### Lühema kääritusperioodi korral tuleb arvestada energiakao ja suureneva atmosfääri saastamisega.

Katsete tulemused, milles uuriti erinevate katematerjalide mõju piimalehmade vedelsõnnikust ja vastavast kääritusjäagist pärinevate kasvuhoonegaaside emissioonile ladustamisperioodil, näitavad, et ainuüksi kääritamine ise vähendab kasvuhoonegaase efektiivselt (/7-8/, tabel 7-5).

Uurimistulemusest nähtub, et kääritusjäagi hoidla katmine põhuga ei vähenda  $CH_4$  emissiooni. Praktikaks juhitakse kääritusjäak sageli ülevoolu tulemusena nimetatud kattekihi peale, mille tulemusena seda kahjustatakse. See võib põhjustada metaani emissiooni suurenemist, kuna hoidlas toimub niinimetatud järelkäärimisprotsess. Sellest lähtuvalt tuleb edasivõttes uurida hoidla katmise variante kääritusjäagi ladustamisel. Hoidlate hermeetiline katmine ei ole kasulik mitte ainult gaasiliste ühendite emissiooni vähendamiseks, vaid võimaldab ka hoidlas tekkinud biogaasi koguda ja kasutada.

Tabel 7-5: Kumuleeruv CH<sub>4</sub>-, NH<sub>3</sub>-, N<sub>2</sub>O- ja kasvuhoonegaaside emissioon piimalehmade ladustatud vedelsõnnikust talve- ja suveperioodil (7-8)

Käitlemine	Talvine katse				Suvine katse			
	CH <sub>4</sub> g/m <sup>-3</sup>	NH <sub>3</sub> g/m <sup>-3</sup>	N <sub>2</sub> O g/m <sup>-3</sup>	GHG kg CO <sub>2</sub> ekv m <sup>-3</sup>	CH <sub>4</sub> g/m <sup>-3</sup>	NH <sub>3</sub> g/m <sup>-3</sup>	N <sub>2</sub> O g/m <sup>-3</sup>	GHG kg CO <sub>2</sub> ekv m <sup>-3</sup>
<b>Käitlemata, loomuliku ujuvkattega (koorik)</b>	164	73	44	17	3591	111	49	91
<b>Käitlemata, puitkaanega</b>	142	52	38	15	2999	60	59	81
<b>Kääritusjääk, katteta</b>	111	62	40	15	1154	223	72	47
<b>Kääritusjääk, põhukattega</b>	115	50	40	15	1192	126	76	49
<b>Biogaas põhu ja puitkaanega</b>	81	49	41	14	1021	78	61	41

Kokkuvõtteks võib öelda, et biogaasi sünteesiprotsess vähendab tunduvalt metaani emissiooni kääritusjägist. Kääritusjäagi ladustamisel tuleb järgida järgmisi põhimõtteid:

- Fermentaatori maht peab tagama optimaalsele käärimisprotsessi pikkuse sõltuvalt kasutatava substraadi koostisest.
- Orgaanilise aine lagunemise maksimaalse ulatuse tagamiseks tuleb kasutada selleks vajalikke võtteid.
- Hoidlatel tuleb kasutada soovitatavalt hermeetilisi katteid.

Lendunud naerugaasi kogus varieerub erinevates uuringutes väga suurtes piirides. On täheldatud kääritusjägist nii naerugaasi emissiooni suurenemist kui ka vähenemist võrreldes kääritamata vedelsõnnikuga /7-10, 7-11/. Juba N<sub>2</sub>O lendumise uuringud ladustatud töötlemata vedelsõnnikust näitavad temperatuuri olulist mõju emissioonile /7-12/.

Tabelis 7-5 toodud näitajad kinnitavad temperatuuri olulisust naerugaasi emissioonile ka kääritusjägist. Nii on naerugaasi emissiooni maht kääritusjägist talveperioodil võrreldav lendumisega kääritamata ja naturaalse ujuvkattega (koorikuga) vedelsõnnikust. Suveperioodil naerugaasi emissioon kääritusjägist suureneb, seejuures võib suvine emissioon võrreldes kääritamata vedelsõnnikuga olla isegi kuni 50% suurem.

Kahjulike gaaside emissiooni vähendamise eesmärgil peaks ka kääritusjäagi hoidlad olema kaetud. Kaheastmelise tehnoloogia kasutamisel (ptk. 3) täidab teine kääriti (nn järelkäärimine) gaaside kogumise ülesannet.

### 7.3 Kääritusjäagi omadused väetisena

Kääritusjäagi nagu ka põllumajandusloomade töötlemata sõnniku kasutamise puhul tuleb lähtuda järgmistest põhimõtetest:

- Laotada selleks mõeldud tehnikaga, vältimaks toitainete kadu.
- Viia viivitamatult mulda taimkatteta kõlvikutel.
- Mitte laotada siis, kui muld ei ole toitainete sidumiseks valmis (lumega kaetud, külmunud, liigniiske).
- Pärast sügisest kultuuri koristamist mitte anda kõlvikule lämmastikku rohkem kui 80 kg/ha
- üldlämmastikuna või 40 kg/ha ammooniumlämmastikuna.
- Laotamine on Eesti keelatud 31. märtsini (Veeseadus §26)

Väetiste kogus ja kohene ning järelmõju sõltub viljeldava kultuuri liigist, samuti mulla viljakusest jt omadustest. Mulla keemilisi näitajaid tuleb regulaarselt analüüsida, et väetiste ja mulla toitainete kasutamine oleks optimaalne.

#### 7.3.1 Lämmastiku kättesaadavus ja mõju

Tänu orgaanilise aine lagunemisele on kääritusjäagis kuivainesisaldus vähenenud. Sellest tulenevalt on kääritusjäagil ühtlasem struktuur ja väiksem osakeste suurus.

Kääritusjäägiga väetamisel omavad tähtsust järgmised muutused:

- paranenud voolavus,
- ebasoovitava happelise toime vähenemine taimedele orgaaniliste hapete lagunemise tõttu,
- C/N suhte vahe vähenemine,
- paranenud, lühiajaline väetusefekt.

Kääritusjäagi paranenud voolavus vähendab probleeme ümberpumpamisel, homogeniseerimisel ja laotamisel. Eriti omab see tähtsust ammoniaagiemissiooni vähendamise aspektist juhul, kui kasutatakse nõudlikke laotamistehnikaid (lohisvoolik-, injektorlaotus). Kääritusjäak ja vedelsõnnik (eriti 4-5% madalama kuivainesisalduse korral) jõuab paremini taimikuni ja põhjustab seega väiksemat sööda saastumist.

Ebasoovitava happelise toime vähenemine taimedele on pigem teisejärguline. Taimede hapetega kahjustamine (põletamine, söövitamine) esineb peamiselt siis, kui laotatakse värsket vedelsõnnikut, milles on palju orgaanilisi happeid. Juhul kui värsket vedelsõnnikut mõne kuu vältel hoidlas säilitatakse, ei ole laotamisel taimede hapetega kahjustamist vaja karta.

C/N suhe kääritusjägis väheneb tänu metaani tekkele käärimisprotsessis. Kui vedelsõnnikus on C/N suhe 9:1, siis kääritusjägis u 5-6:1, tahkesõnnikus vastavalt 15:1 ning kääritusjägis 7:1 /7-13, 7-2/. See vähendab lämmastiku sidumisvõimet mullaga, mille tulemusena paraneb kääritusjägis sisalduva lämmastiku kättesaadavus taimede poolt.

### Lämmastiku toime modelleerimine

Lämmastiku kättesaadavust mõjutavad tegurid on toodud tabelites 7-6 ja 7-7 /7-19/. Tabelites on kasutatud mitmete autorite /7-15, 7-13, 7-16, 7-17, 7-18/ uuringute tulemusi.

#### Mudel 1

Tabelis 7-6 on toodud lämmastiku kasutamine ja kättesaadavus kääritamata ja kääritatud veise vedelsõnnikust, mida on laotatud kas paisk- või lohisvooliklaoturiga, seejuures viidi kääritamata vedelsõnnik kohe mulda.

Tabel 7-6: Omastatava lämmastiku koguse teoreetiline kalkulatsioon veiste värskest ja kääritatud vedelsõnnikust /7-19/

	Möötühik	Värskes vedelsõnnik	Kääritatud vedelsõnnik	Kääritatud vedelsõnnik, lohisvoolikuga laotamine	Värskes vedelsõnnik, kohene mulda viimine
N- sisaldus	kg/t	4	4	4	4
NH <sub>4</sub> -N/ üld-N	%	50	55	55	50
Laotatud kogus	t/ha	40	40	40	40
Laotatud N kogus	kg/ha	160	160	160	160
sellest NH <sub>4</sub> -N		80	88	88	80
sellest orgaaniliselt seotud N		80	72	72	80
NH <sub>3</sub> kaod NH <sub>4</sub> -N-st (paisklaotus 40%, lohisvooliklaotus 25%, kohene mulda viimine 10%)	kg	32	35	22	8
Laotamissaastal mitte omastatav orgaaniliselt seotud N (värskes sõnnik 90%, kääritatud sõnnik 95% orgaaniliselt seotud lämmastikust)	kg	72	68	68	72
C/N suhtest tulenev efekt kääritatud substraadis	kg	-	7	7	-
Teoreetiliselt taimedele laotamissaastal kättesaadav lämmastik	kg (% laotatud N)	56 35	63 40	77 44	80 50
5 aastat pärast laotamist taimedele kättesaadavaks osutunud lämmastik	kg (% laotatud N)	66 41	70 44	83 52	90 56

Üldiselt arvatakse, et veise vedelsõnniku lämmastikuisaldus käärimisel ja ladustamisel kaetud hoidlas ei vähene. Kogulämmastikust moodustab ammoniumlämmastik värskes vedelsõnnikus u 50% ning kääritatud vedelsõnnikus u 55%. Kõikides variantides arvestatakse võrdse koguse lämmastikuga - 160 kgN/ha.

Arvestades lämmastiku kaoks ammoniaagina veise kääritamata vedelsõnnikust paisklaotuse korral u 40% ning seda, et 10% orgaaniliselt seotud lämmastikust mineraliseerub laotamise aastal, siis kujuneb taimedele kättesaadava lämmastiku koguseks laotamise aastal 56 kg ehk 35% kogulämmastikust. Viis aastat pärast laotamist on taimede poolt omastatud lämmastiku kogus kasvanud ainult 41%-ni, kuna orgaaniliselt seotud lämmastikust mineraliseerub esimesel aastal pärast laotamist 5% ning järgnevatel aastatel 3%.

Veise kääritatud vedelsõnnik sisaldab rohkem ammonium- ja vastavalt vähem orgaaniliselt seotud lämmastikku. Ammoniaagi kadu on protsentuaalselt sama kõrge, kuid efektiivselt on kõrgem pH ja kiirem infiltratsioon mulda. Erinevus kääritamata vedelsõnnikust on lämmastiku väiksem orgaaniline seotus, mille tulemusena suureneb taimede poolt omastatava lämmastiku kogus u 7 kg võrra. Lämmastikust on laotamise aastal u 40% ja 5 aastat pärast laotamist u 44% taimede poolt omastatav. Erinevus värskest vedelsõnnikust ei ole siiski suur. Parem tulemus saadakse kääritatud vedelsõnniku laotamisel lohisvooliklaoturitega taimedega kaetud kõlvikutele (ptk 7.5). Ammoniaagi kao vähenemise tulemusena võib sellisel juhul lämmastiku kasutamine taimede poolt laotamisaastal suurenedagi kuni 44%-ni.

Näide, kus veise vedelsõnnik kiiresti mulda viidi, peaks näitama, et lämmastiku kadude vähendamiseks on töötlemise viisist palju olulisem laotamise tehnoloogia.

### Mudel 2

Tabelis 7-7 on esitatud kääritatud vedelsõnniku kiire muldaviimise ja tahesõnniku märgkäärituse mõju lämmastiku omastatavusele. Võrreldes värsket vedelsõnnikuga suurendab kääritatud vedelsõnniku kiire muldaviimine lämmastiku omastatavust laotamise aastal u 27 kg võrra kuni 52%-ni. Tulenevalt tahesõnniku madalast ammoniumlämmastiku sisaldusest on lämmastiku kättesaadavus laotamisaastal tagasihoidlik, ulatudes ainult 19%-ni. Ka kiire muldaviimine ei paranda lämmastiku kättesaadavust oluliselt, kuna ammoniumlämmastiku sisaldus jääb ikkagi madalaks. Seevastu tahesõnniku lämmastiku mineraliseerumine käärimisprotsessis suurendab oluliselt ammoniumlämmastiku sisaldust (kasv 10%-lt 30%-ni kogulämmastikust). See ammoniumlämmastik on kiire muldaviimise korral lendumise eest kaitstud ning lämmastiku kättesaadavus laotamise aastal võib suurenedagi 50%-ni.

### **7.3.2 Käärimisprotsessi mõju teistele taimetoitainetele**

Nii töötlemata kui biogaasireaktoris kääritatud vedelsõnnikus sisalduv fosfor ja kaalium omavad mineraalväetistega sarnast mõju. Kuigi kääritatud vedelsõnnikus sisalduv fosfor lahustub paremini 0,1 N HCl lahuses, ei olnud pikaajalises katses töötlemata ja kääritatud vedelsõnniku toimel olulist erinevust võimalik kindlaks teha.

Biogaasi tekkel laguneb orgaaniline aine rohkem kui 30% ulatuses. Kuna tegemist on kergesti laguneva osaga, siis säilivad huumuse taastootmiseks vajalikud kõrgmolekulaarsed ligniinisidemed. Sigade vedelsõnniku kääritusjärgi mudeluuringute tulemused näitavad, et selle huumuse taastootmise võime on sarnane hoidlas ladustatud tahesõnniku omaga /7-15/.

Töötlemata või fermenteeritud vedelsõnniku laotamisel kasvavatele taimedele ei ole hapete ebasoovitava toime ning loomade söömise aspektist märgatavat erinevust. Olulist mõju omab laotamise aeg ning ilmastikutingimused. Uuemad katsetulemused /7-7/ näitavad, et loomad söövad sööta, mis pärineb kääritatud vedelsõnnikuga väetatud karjamaadelt, paremini kui töötlemata vedelsõnnikuga väetatud aladelt, samas aga ikkagi tunduvalt väiksemas koguses kui väetamata või mineraalväetistega väetatud rohumaadelt.



Tabel 7-7: Omastatava lämmastikukoguse teoreetiline kalkulatsioon veiste värskest ja kääritatud vedel- ning tahesõnnikust /7-19/

	Mõõtühik	Värske vedelsõnnik	Kääritatud vedelsõnnik, kiire mulda viimine	Tahesõnnik	Kääritatud tahesõnnik, kiire mulda viimine
N- sisaldus	kg/t	4	4	7	4
NH <sub>4</sub> -N/ üld-N	%	50	55	10	30
Laotatud kogus	t/ha	40	40	23	40
Laotatud N kogus	kg/ha	160	160	160	160
sellest NH <sub>4</sub> -N		80	88	16	48
sellest orgaaniliselt seotud N		80	72	144	112
NH <sub>3</sub> kaod NH <sub>4</sub> -N-st (vedelsõnniku paisklaotus 40%, tahesõnniku paisklaotus 50%, tahesõnniku paisklaotus, kohene muldaviimine 10%)	kg	32	9	8	6
Laotamisaastal mitte omastatav orgaaniliselt seotud N (värske vedelsõnnik 90%, kääritatud vedelsõnnik 95%, tahesõnnik 80%, kääritatud tahesõnnik 90% orgaaniliselt seotud lämmastikust)	kg	72	68	122	106
C/N suhtest tulenev efekt kääritatud substraadis	kg	-	7	-	11
Teoreetiliselt taimele laotamisaastal kättesaadav lämmastik	kg (% laotatud N)	56 35	83 52	30 19	49 31
5 aastat pärast laotamist taimele kättesaadavaks osutunud lämmastik	kg (% laotatud N)	66 41	91 57	53 33	64 39

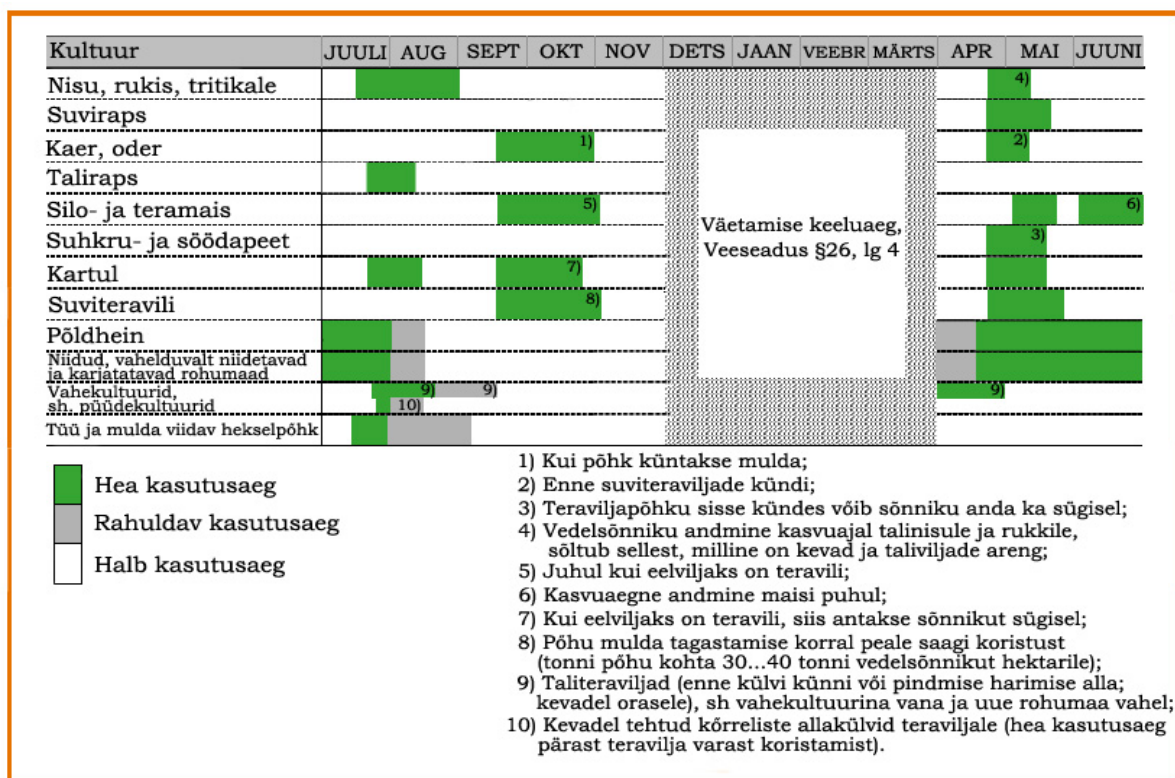
#### 7.4 Parim aeg vedelsõnniku ja kääritusjäägi laotamiseks

Optimaalse laotusaja valikul (vt joonis 7-1) tekib eesmärkide konflikt maksimaalse emissiooni ja taimekasvatustlike vajaduste vahel. Suurim emissiooni vähendamine on saavutatav vedelsõnniku kohese muldaviimisega. Seda on võimalik teha kultuurideta põllumaal suvel ja sügisel. Vaos kasvavate kultuuride väetamisel on lahenduseks vedelsõnniku kohene mulda viimine muldamise teel. Kasutatava vedelsõnniku kogust piirab sellisel juhul aga kindlasti seadusandluses määratud kogus (max 40 kg omastatavat N/ha).

Oluline on ka rõhutada, et ammoniaagikadude vähendamiseks peaks vedelsõnnikut laotama jaheda ja niiske ilmaga ning selle võimalikult kiiresti mulda viima. Pärast vedelsõnniku andmist olemasoleva taimikuga rohumaale on tingimata vajalik rohumaale üle äestada *ökoäkkega*, et vedelsõnniku tahked osakesed segada kõige pindmisema mullakihi. Vastasel juhul sõnnikus olevad seedimata taimesed osakesed (mis sisaldavad tavaliselt kahjulikke mikroobe) kleepuvad kasvavale rohule ning halvendavad karjatamise korral rohu söödavust loomade poolt või kahjustavad silorohumaal sellisest rohust valmistatud silo kvaliteeti. Kui vedelsõnnik on veidi paksem (kuivainet 8-11%), tekib pärast vedelsõnniku andmist äestamata jäänud rohumaal mullapinnale seedimata osakestest isegi õhuke nahkjate kate, mis takistab mulla õhuvahetust ja uute võrsete kasvu.

Rühvelkultuuride kasvatamise korral kasutavad taimed peamiselt eelmisel aastal vahekultuuridele antud vedelsõnniku toitaineid, kuna vedelsõnniku (kääritusjäägi) kasutamine nimetatud kultuuridel on taimekasvatustlikel põhjustel piiratud. Rühvelkultuuride toitainete vajadus kaetakse seega peamiselt mulla toitainete baasil. Vahekultuuridele pööratakse aga paljudes piirkondades vähe tähelepanu. Seega peab vedelsõnniku laotamine rühvelkultuuridele, eriti maisile, toimuma kevadel.





Joonis 7-1: Vedelsõnniku ja kääritusjäägi laotamise sobivus tulenevalt aastaajast. Antud joonis on kohandatud Eesti tingimustele. Originaaljoonise leiab algmaterjalidest.

Sageli väidetakse, et kääritusjäägist on lämmastiku väljauhtumine väiksem kui värskest vedelsõnnikust. Seda võib esineda erijuhtumitel, tavaliselt see nii ei ole. Lämmastiku väljauhtumine põllumajandusloomade sõnnikust sõltub otseselt laotatud lämmastiku kogusest, laotamise ajast ja väetatavast kultuurist, st kultuuri lämmastiku omastamise võimest. Kui väetamine toimub õiges koguses ja õigel ajal ning vastavalt väetatava kultuuri vajadustele, ei ole lämmastiku väljauhtumise osas erinevusi.

## 7.5 Kääritusjäägi laotamiseks sobivad tehnoloogiad

Taimede toitainete vajaduse optimaalse katmise eelduseks on sõnniku laotamise õige aja kõrval ka laotamise ühtlikkus nii risti- kui ka põikisuunas ning taimede võimalikult väike määrdumine. Tehniline areng viimastel aastatel on viinud erinevate täppislaotustehnoloogiate tekkeni. Vedelsõnniku laotustehnikat on võimalik jaotada viide erinevasse kategooriasse (tabel 7-8).

Tabel 7-8: Laotamistehnoloogiad ja vedelsõnniku andmise viis /7-20/,/7-21/

Tehnoloogia	Vedelsõnniku andmise viis
<b>Paisklaotus</b>	Vedelsõnnik / kääritusjääk paisatakse läbi õhu pinnale
<b>Lohisvoolikutega laotamine</b>	Vedelsõnnik / kääritusjääk viiakse ribadena vahetult mulla pinnale
<b>Veetavate jalastega laotamine</b>	Vedelsõnnik / kääritusjääk viiakse taimkatte alla ülemisse mullakihti
<b>Veetava randaaliga laotamine</b>	Vedelsõnnik / kääritusjääk viiakse ülemisse mullakihti
<b>Injektorlaotus</b>	Vedelsõnnik / kääritusjääk viiakse mulla keskmisesse horisonti

Kääritatud vedelsõnniku laotamisel võib esile tõsta lohisvoolikutega laotussüsteemi. Seda saab rakendada nii küntud maal kui ka kasva taimiku korral. Tehnoloogia eeliseks on vedelsõnniku lindikujuline laotus mulla pinnale (väheneb pindala, millelt toimub ammoniaagi emissioon), samuti ei puutu sõnnik kokku taimede ülemiste osadega. Sellest tulenevalt on sõnnik kaitstud otsese päikesekiirguse ja tuule eest, mis on samuti emissiooni vähendav faktor. Juhul, kui on tegemist väga vedela sõnnikuga, väheneb ammoniaagi emissioon märgatavalt. Virtsu, sigade vedelsõnniku ja veiste

kääritatud vedelsõnniku kasutamise korral kasvaval taimikul võib arvestada ammoniakaagi emissiooni vähenemisega 30-50% võrra kogu ammooniumlämmastikust /7-20/. Suurema kuivainesisaldusega (paksema) vedelsõnniku korral on emissiooni vähenemise efekt väiksem.

Järgnev tabel 7-9 annab ülevaate laotamistehnoloogiate tööparameetritest ning sobivusest erinevatele kõlvikutele

Tabel 7-9: Laotamistehnoloogiate tööparameetrid ja sobivus erinevatele kõlvikutele /7-21/

	Töö- laius	Töö- sügavus	Enammaksu- mus võrreldes paisklaoturiga	Kõlvik				
	m	cm		EUR/m <sup>3</sup>	Küntud põld	Kõrre- põld	Kasvav teravili	Kasvav mais
Paisklaotur	6-12	0		+	+	+	0	+
Lohisvooliklaotur	9-24	0	0,77	+	+	+	+	+0
Veetavate jalastega laotur	3-12	0-3	1,28	0	+	0	-	+
Veetava randaaliga laotur	3-7	kuni 5	1,79	0	+	-	-	+
Injektorlaotur	3-6	5-15	3,07	+	+	-	-	-

+ = hästi sobiv; 0 = tingimisi sobiv; - = sobimatu

## 7.6 Tekkiva reovee ja kääritusjäägi ettevalmistus

Kuna biogaasiseadmes ei toimu kääritusjäägi mehhaanilist töötlemist (vedela ja tahke fraktsiooni separeerimine), ei teki biogaasi tootmisel ka otseselt reovett. Biogaasiseade on kinnine süsteem, milles kõik teoreetiliselt tekkivad reoveed kogutakse kääritusjäägi hoidlasse ning kasutatakse põllumajanduslikel eesmärkidel. Soovitav on tehniline lahendus, kus võimalik reo- ja/või vihmavesi juhitakse kääritusse ning see läbib käärimisprotsessi. See võimaldab oluliselt lihtsustata kuivainerikka kääritusjäägi homogeniseerimist ning toimetamist hoidlasse. Lisaks sellele toimub käärimisprotsessi käigus reovee termiline töötlemine, mis hoiab ära võimaliku haigustekitajate leviku. Sõltuvalt kasutatavast substraadist võib teatud kindlatel tingimustel olla vajalik toit- või mürkainete kõrvaldamise eesmärgil kääritusjäägi tahke osa eemaldamine, mille puhul vedelikufraktsiooni seadmesse ei juhitata.

Üks võimalikke kääritusjäägi töötlemise viise on veetustamine. Seda tehakse mehhaaniliselt kas tsentrifuugides või tigupressidega. Töötlemisel on mõtet ainult siis, kui on olemas kindel skeem kuivatatud kääritusjäägi turustamiseks.

Veetustamise käigus tekkiv vedelik sisaldab paljusid ühendeid, tagasisuhtimisel biogaasiseadmesse suurendab see nimetatud ühendite kontsentratsiooni substraadis. Eraldatud vedela fraktsiooni lisamisel käärimisprotsessi tuleb täita kindlaid nõudeid. Oluline on:

- lenduvate rasvhapete sisaldus;
- mineraaloolade sisaldus;
- ammooniumlämmastiku sisaldus;
- happesus (pH).

Kuna nimetatud parameetrid mõjutavad otseselt käärimisprotsessi stabiilsust, tuleks neid reeglipäraselt mõõta ja seadme biogaasisaagisega võrrelda.

Sellest tulenevalt peab protsessis kasutatav vedelik vastama kindlatele kriteeriumitele, mis sõltub põhiliselt rakendatava biogaasiseadme parameetritest. Eeskätt on oluline kuivaine- ja bioloogiliselt kergesti lagunevate orgaaniliste süsinikühendite sisaldus, samuti ühendite kontsentratsioon, mis võivad põhjustada käärimist pärssivaid protsesse (nt soolad). Nii võivad tahked osakesed tekitada probleeme reoveesüsteemi düüsidega, bioloogiliselt lagunevad süsinikühendid põhjustada olulist lõhnasaastet ja kõrge NH<sub>x</sub>-N või sulfiidide sisaldus pidurdada anaeroobset lagunemisprotsessi. Seepärast on mõnikord vajalik vedeliku eelnev töötlemine, milleks on tavaliselt piisav füüsikalise-keemiline (aeroobne) käitlemine /7-22/.

## 7.7 Kasutatud kirjandus

/7-1/ Roschke, M. (2003): Verwertung der Faulsubstrate, in: Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.), Potsdam, S. 29-33

- /7-2/ Amon, T., Boxberger, J. (2000): Biogas production from farmyard manure. In: Martinez, J., Sangiorgi, F. (Eds.): 9th Internat. Workshop of the European Cooperative Research Network „Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Ramiran“, 6-9 September 2000, Gargnagno, Italy.
- /7-3/ Amon, Th.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Moitzi, G.; Fistarol-Lyson, D; Hackl, E.; Jeremic, D.; Zollitsch, W.; Pötsch, E.; Mayer, K.; Plank, J. (2003): Endberichtericht "Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras" Forschungsprojekt Nr. 1249 GZ 24.002/59-IIA1/01. Auftraggeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Pioneer Saaten Ges.M.B.H Parndorf, Austria
- /7-4/ Jäkel, K. (2003). Eigenschaften des vergorenen Substrates. in: Managementunterlage Biogaserzeugung und – verwertung, Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 37-60
- /7-5/ KTBL und UBA (2002): Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern, KTBL-Workshop 23./24.04.2002, Göttingen – KTBL-Schrift 410
- /7-6/ Edelmann, Werner (2001): „Biogaserzeugung und Nutzung“ in Kaltschmitt, M. und Hartmann, H. (Hrsg.): „Energie aus Biomasse“, Springer Verlag, S. 660 – 662
- /7-7/ Jäkel, K., Wanka, U. und Albert, E. (2002): Wie aus dem Gärrest Edelgülle wird, Biogas – Strom aus Gülle und Biomasse, Top agrar Fachbuch, S. 74-77
- /7-8/ Amon, B., Moitzi, G., Schimpl, M.; Kryvoruchko, V.; Wagner-Alt, C. (2002): Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures. Final Report. November 2002. Research projekt no. 1107; BMLF GZ 24.002/24-IIA1a/98 and extension GZ 24.002/33-IIA1a/00. On behalf of Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management and Federal Ministry for Education, Science and Culture
- /7-9/ Clemens, J., Wolter, M., Wulf, S., Ahlgrimm, H.-J. (2002): Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, in: KTBL-Schrift 406, Emissionen der Tierhaltung, S. 203-214
- /7-10/ Schumacher, I. (1999): Vorläufiger Versuchsbericht zur Lagerung von Gülle und Kofermentationssubstraten im Rahmen des DBU Vorhabens „Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) nach Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien“.
- /7-11/ Sommer, S.-G.; Petersen, S.-O., Sogaard, T. (2000): Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. Journal of Environmental Quality 29: 744–751
- /7-12/ Hartung, E. und Monteny, G.-J. (2000): Emission von Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus der Tierhaltung. Agrartechnische Forschung 6 S. 62-69
- /7-13/ Dosch, R. und Gutser, R. (1996): Risk for gaseous N losses by different slurry managements; Transactions of the 9<sup>th</sup> Nitrogen Workshop Braunschweig S. 481-484
- /7-14/ KTBL-Datensammlung (2002): Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003, 18. Auflage, Darmstadt
- /7-15/ Asmus, F. und Linke, B. (1987): Zur pflanzenbaulichen Verwertung von Gülle-Faulschlamm aus der Biogasgewinnung; Feldwirtschaft 28, S. 354-355
- /7-16/ Gutser, R., Amberger, A. und Vilsmeier, K. (1987): Wirkung unterschiedlich aufbereiteter Gülle im Gefäßversuch zu Hafer und Weidelgras; VDLUFA-Schriftenreihe, 23. Kongreßband S. 279-293
- /7-17/ Gutser, A., Nitschke und Klasink, A. (1997): Umweltschonende Verwertung von Reststoffen verschiedener Gülleaufbereitungsverfahren; KTBL-Arbeitspapier 242 Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung, S. 97-108
- /7-18/ Hege, U. (1988): Düngewirkung von ausgefaultem Fließmist; 27. Biogas Praktiker Informationstagung, Grub S. 50-56
- /7-19/ Döhler, H. (1996): Landbauliche Verwertung stickstoffreicher Abfallstoffe, Komposte und Wirtschaftsdünger. Wasser & Boden, 48. Jg.
- /7-20/ AID (2003): Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft - Gute fachliche Praxis. aid infodienst (Hrsg.), Nr. 1454/2003
- /7-21/ Schwab, M. (2003): KTBL –Forschungsergebnisse, unveröffentlicht
- /7-22/ ATV-DVWK-M 372 (2003): Technische Rahmenbedingungen für die Vergärung biogener Abfälle, Hrsg.: ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. S. 29 - 31



# Projekti planeerimise põhimõtted

Ühe biogaasitehase ehitamine seob pikkadeks aastateks kapitali ja ettevõtja ka põllumajandusega. Enne selle teostamist tuleks kindlasti mõelda, kas planeeritud investeering on ka ökonoomselt parem teistest investeeringutest (nt uue lauda ehitus). Kindlasti on mõju põldude asetusel, loomakasvatuse liigil ja suurusel, tööjõu olemasolul ja muidugi vajaliku kapitali olemasolul. Igal juhul peaks ettevõtja investeeringuid majanduslikult mõttekalt kasutama. Hiljem enam ei saa valesid otsuseid rahapuuduse tõttu korrigeerida.

## 8.1 Mõtisklused

Väga varases mõtete staadiumis peaks endalt küsima kolme põhilist asja:

- Mida ma tahan?
- Mida ma suudan?
- Milliseid tooraineid saan kasutada?

Alles pärast seda on vaja majanduslikult analüüsida, kas üldse tasub intensiivse planeerimisega alustada.

### 8.1.1 Mida mina tahan?

Tihti on esimene mõte teenida raha. See on ka väga vajalik, muidu pole ju mõtet investeerida. Aga kas on piisavalt aega oma praeguse ettevõtte kõrvalt veel lisaks ka biogaasijaama juhtida? Jälgimiseks ja hooldamiseks on vaja kulutada vähemalt 1 tund igas päevas, kui ei kääritata ainult läga. Kas mul on piisavalt hektareid, et toota toorainet? Kui mitte, siis peab juurde rentima, kasvatama energiataimi või organiseerima sobilikke tooraineid. Kõige selle jaoks on vaja aega. Kes töötab, see tahab ka selle eest tasu saada. Kui suur on tasu oma töö eest? Seda saab igäüks ise määrata, aga 15 €/tunnis peaks see olema kindlasti.

Kui selle jaoks peaks kasutama oma kapitali, siis tekib kohe küsimus õiglase dividendide maksmise kohta. Pikaajalised rahapaigutused nõuavad vähemalt 5% dividende. Ka biogaasitehase puhul ei tohi need väiksemad olla. Samuti võib läga haisu vähendamine olla eksistentsiaalseks probleemiks, kui läga laotatakse elamupiirkonna lähedale.

Sellele küsimusele õigeid vastuseid ei ole, igäüks leiab endale õiged ja omad eesmärgid.

### 8.1.2 Mida mina suudan?

Kes on selles valdkonnas uus tegija, peaks küsima, kas ta on valmis midagi uut õppima. Ainult see, kes tegeleb intensiivselt bioloogiliste käärimisprotsessidega ja bakterite „söötmisega”, jõuab pikemas perspektiivis kõrgete tulemusteni. Algul ei ole tootmise tehnika piisavalt perfektne ning siis tuleb ka õpiraha rohkem maksta. Biogaasitehase täisvõimsust ei saavutata tavaliselt algfaasis (1. aastal). Lisaks peab arvestama rohke tööga ja tunduvalt suurema vajadusega abimaterjalide, kütteeõli ja vee järele. Üks hästi toimiv ettevõtte suudab need ettearvatavad kitsaskohad lahendada.

### 8.1.3 Millised toorained on minu kasutuses?

Igal juhul peaks mõtlema, milliseid substraate kasutada. Põllumees on esmalt ikkagi kõrgekvaliteedilise, väheste kahjulike ainetega toiduainete tootja ja mitte jäätmete väärindaja. Põllumajandusliku biogaasitehase käivitajal on palju eeliseid, et toidu tootmisest eemalduda. Läga, sõnniku, söödajäätmete ja taastuvate taimede kasvatamisega oma ettevõttes saab kindlasti arvestada. Pidev varustamine substraatidega on nii kõige kindlamini tagatud.

Kui peaks suuremas osas väljastpoolt sisse toodavaid substraate kasutatama, oleks varustuslepingud tingimata vajalikud. Suurt ja kallist biogaasijaama üles ehitada lootuses, et küll kuskilt ka substraate saab, ei ole just kõige kindlam käitumine majanduslikus mõttes.

## 8.2 Elektri hind

Antud punktis on toodud ülevaade elektrituru tingimustest Eestis. Saksamaa kohta leiab andmed algmaterjalidest.

Biogaasil töötavate koostootmisjaamade elektrihinna määrab Eestis elektrituruseadus, vastu võetud 11.02.2003.a seadusega (RT I 2003, 25, 153). Antud seadus määrab toetuse ja ostukohustuse elektrienergiale taastuvast energiaallikast, kui tootmiseseadme netovõimsus ei ületa 100 MW. Taastuvad energiaallikad on seaduse tähenduses energiaallikad vesi, tuul, päike, laine, tõus-mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass.

Biogaasijaamas toodetud ja võrku antud elektrienergia on võrguettevõtja kohustatud ostma fikseeritud hinnaga 115 senti kilovatt-tunni eest (§59 lõige 4) või maksma toodetud ja turul müüdud elektrienergiale toetust 84 senti kilovatt-tunni eest. Kohustus kehtib 12 aastat tootmise alustamisest alates. Kuid 1. jaanuaril 2010.a. jõustub seaduse §59 lõige 3 punkt 3, mis näeb ette fikseeritud elektrienergia hinna maksmist koostootmisjaamadele, mis töötavad tõhusa koostootmise režiimil. Tõhus koostootmine on elektrienergia tootmine elektri- ja soojusenergia koostootmise režiimil, lähtuvalt soojusenergia nõudlusest ja tagades energiasäästu vastavalt tõhusa koostootmise nõuetele.

Biogaasijaam, mille tootmiseseadmete võimsus kokku ei ületa 1 MW, võib müüa elektrienergiat avatud tarnena (§59 lõige 2). See tähendab, et seadusega tagatakse kauplemisperioodil biogaasijaamalt ülejääva elektrienergia koguse ostmine või puudu jääva elektrienergia koguse müümine.

## 8.3 Majandusliku tasuvuse hindamisvahendid

Kui biogaasi tootmine peaks saama lisisissetuleku allikaks biogaasijaamale siis peab see ka ennast ära tasuma. Ettevõttele uue haru rajamine on ainult siis mõttekas, kui paigutatud oma või võõras kapital ja võõraste või pereliikmete töö ennast ära tasuvad. Seda saab mõõta ettevõtja tuluga, mis tähendab seda, et kapitali tootlikkuse ja tööde eest makstud palkadele lisaks jääb veel võimalus ettevõtte juhile tasu maksmiseks. Kõige tähtsam küsimus siinjuures ongi, kui palju võib biogaasitehas maksta, et ettevõtja kasu veel mõõdetav oleks?

## 8.4 Sissetulekud

Kõige tähtsam sissetuleku allikas on elektri müük. Tänu seadusele on tagatud minimaalne kokkuostuhind. Viimasel ajal on suurenenud turunõudluse tõttu lisasubstraatide hinnad tõusnud. Substraatide eest, mida varem sai tasuta, küsitakse praegu raha.

Tihti on ka selline situatsioon, et tekkinud soojust ei suudeta kasutada. Soojasaakidega tasub ainult siis arvestada, kui on olemas kandev kasutuskontsept. Kui soojust kasutatakse sooja vee saamiseks ja elamu kütmiseks, siis olenevalt maja suurusest saab kokku hoida 3000 kuni 5000 l kütteõli. Kui soojuse vajadus on suurem, siis tasub juba maja soojustamine rohkem ära.

Mingi väärtus on ka kääritusjäätis ja temas olevatel toitainetel. Reaalselt aga ainult siis, kui tänu sellele väheneb mineraalväetiste kasutamine. Toitainete kogused ei muutu lägas käärimisprotsessi käigus, seega ka mitte nende väärtus väetusainena.

Tihti tuuakse välja käärimisprotsessi positiivne mõju väetusaine kvaliteedi paranemisele. Täna pole aga taimekasvatustlikust seisukohast suudetud tõestada seda paremust pikaajalistes katsetes. Kõrgem mineraalne N osa võib viia hoopis suurenenud kadudele.

## 8.5 Kulud

Kulumi ja intresside maksmise kõrval on alati ka teisi arveid, nagu kindlustusmaksed, remondi- ja hoolduskulud ning sädesüütega diiselmootorite puhul ka süüteõli arved, mida tuleb maksta.

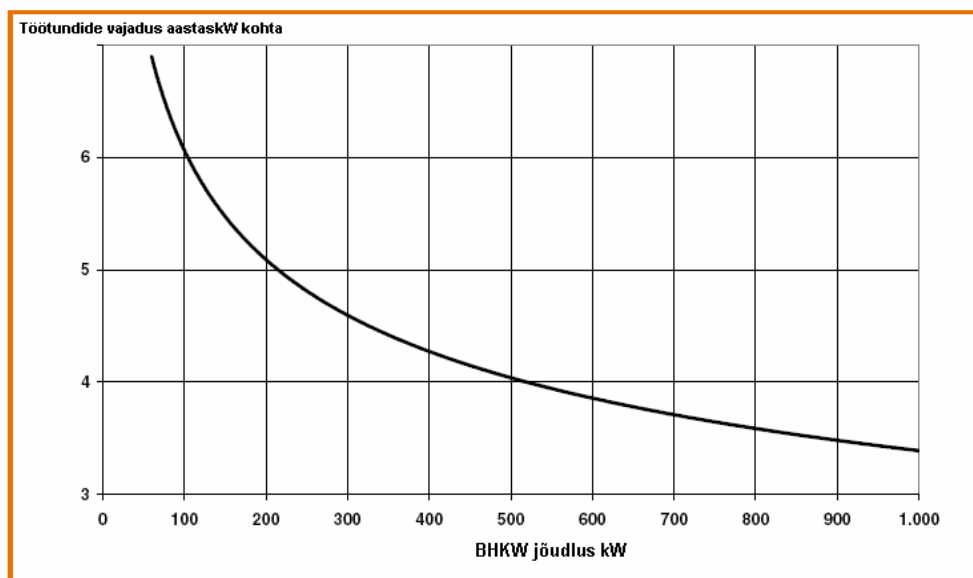
Toetuste saamise puhul on tihti arvamus, et kulumi arvestamise ja raha tagasiteenimise juures võib toetuse summat mitte arvestada, mis teeb ka kapitali tagasiteenimise tunduvalt väiksemaks. Ettevõtte majanduse poolelt vaadatuna on see ebakorrektn. Kui loobutakse toetusrahade tagasiteenimisest, siis ei jätku raha pärast suuremateks asendusinvesteeringuteks nagu uus mootor, sest sinna enam toetust ei tule.

Ka substraadid tekitavad kulusid. Kas neid on arvestatud biogaasi tootmise juures, sõltub substraatide päritolust. Sõnnik ja läga oma loomakasvatusest peavad saama ka ilma biogaasi tehase ladustatud ja põllule laotatud. Nende kulud jäävad ikka loomakasvatuse kanda. Kui aga nende kohale toomiseks on vaja lisa transpordimaksumusi, siis tuleb need ka biogaasi tehasele kanda. Konkreetselt biogaasi jaoks toodetud substraadid ja ostetud substraadid maksavad raha. Ainult jooksvaid tootmis- või ehituskulusid (transpordi ja substraadi tootmise kulud) on ikka natuke vähe (võrdle peatükk 8.9.2). Lisaks peaks olema arvestatud oma isiklik töö substraatide tootmisel ja nende sisestamisel. Ainult siis on investeering mõttekas, kui kõik seotud kulud on lõpuni arvestatud ja siis veel midagi teenitakse.

## 8.6 Tööaja vajadus

Kindlaid numbrilisi näite ei ole selle kohta, kui palju kulub aega biogaasitehase käigus hoidmiseks. Sõltub see kasutatud substraatidest, millel on väga erinevad ajakulud. Kui kääritatakse ainult oma ettevõtte sõnnikut, siis kulub aeg ainult järelvalvele, hooldusele ja remondile. Väiksematel tehastel kulub ilmselt umbes 1 tund päevas. Hoopis teine on situatsioon siis, kui kasutatakse taastuvaid energiataimi. Sel juhul lisandub järelvalvele taimede kasvatamine, koristamine, hoiustamine, käärimiskambrisse lisamine, transport ja ka läga väljavedu. Siin tuleks ülevaate saamiseks jagada tööd kahte gruppi:

- SEK-mootori hooldus ja tehase jälgimine;
- substraatide ettevalmistamine käärituskambri tarvis.



Joonis 8-1: Tööaja vajadus järelvalveks ja hooldusteks /8-2/



### 8.6.1 Tööaja vajadus jälgimiseks ja hooldustöödeks

Tööaja vajadus on seniste kogemuste põhjal jälgimiseks ja hoolduseks 3 kuni 7 tundi aastas kilovati elektrilise võimsuse kohta. 100 kW võimsusega tehase jaoks kulub siis seega umbes 600 töötundi aastas (6 tööpäeva tundi kW kohta ja aastas x 100 kW). Suuremate tehaste puhul suureneb ka tavaliselt automatiseerimise tase ja sellega väheneb järelevalve vajadus (joonis 8-1). Kahjuks puuduvad seni veel täpsemad andmed tööaja kohta.

### 8.7 Olulised mõjufaktorid positiivsete majandustulemuste saavutamiseks

On tähtis teada, millised faktorid mõjutavad majandustulemusi oluliselt. Tuleb eriti ettevaatlikult ennustada, et jõuda realistlike tulemuste lähedale. Biogaasi tootmise juures, kus müügi hind ei muutu, on olulisteks faktoriteks:

- tehase ehitamise maksumus;
- substraadist saadud gaasi kogus;
- tekkinud gaasi kvaliteet;
- gaasi põletamise mootor.

Kõige suurem mõju on mootoril (SEK), järgnevad gaasi kogus, kvaliteet ja ehitusmaksumus. Võib tuua tehase valdajale sellise näite: mootori kasuteguri tõstmine 29%-lt 32%-le, see on 10%, omab palju suuremat mõju kui suuta vähendada tehase ehitusmaksumust 10% võrra. Sama kehtib ka gaasi kvaliteedi kohta, kuigi mitte nii selgelt. Sellegipoolest tasub ka ehitamisel väärtustada igat eurot.

#### 8.7.1 Tehase ehitamise maksumus

Korraliku planeerimise juures saab küllaltki hästi kalkuleerida ehituse maksumust. On võimalik säästa kui juba algusest peale teha koostööd ehituses osalevate isikutega. Normaalsel juhul on põllumajandusliku koostootmisjaama puhul vähemalt 50% aastastest kuludest seotud ehitusmaksumuse tasumisega (ilma substraatide maksumuseta) – tuleb tasuda läbi amortisatsiooni, kapitali tagasiteenimise ja investeringuga proportsioonis olevate kindlustusmaksete – seega kogu tehase maksumus.

Ei tohi unustada võrguga ühinemise kulutusi, kuna elektrivõrk maapiirkonnas on tihti nõrgalt välja ehitatud. See tähendab ka mingis pikkuses uue liini ehitamist kuni esimese lähima korraliku liinini. Uue liini maksumus võib olla mitmeid kümneid kui mitte sadu tuhandeid. Enne otsuste tegemist on seega vaja võrgu haldajalt kindlasti järele uurida vastavad küsimused ja nende võimalikud lahendused. Võrgu haldajal on kohustus avalikustada teile kõiki võrguga seotud andmeid ja leida koos parimad võimalikud lahendusvariandid. Kindlasti peaks ka kaaluma ja võrdlema investeringu suuruse poole pealt uue alajaama ehitust: on see mõttekas või mitte? Siin on kindlasti abi professionaalsetest nõustamis- ja planeerimisfirmadest või siis ka kohalikest elektrivõrgu haldajatest, kes oskavad elektrit puudutavates küsimustes kõige paremaid lahendusi pakkuda. Kui võrgu haldajaga ei leita mõistlikke lahendusi, siis on kindlasti mõttekas konsulteerida spetsiaalsete advokaatidega.

Kui palju maksab üks biogaasijaam, sõltub peamiselt kasutatavatest substraatidest. Kõige odavamad on puhtalt lägal baseeruvad tehased. Soodsates tingimustes aitab ainult kääriskambri koos eelmahutiga, lihtsatest pumba- ja segamistehnikatest ja ühest väikesest SEK-mootorist. Kui aga on lisaks veel kasutuses taastuvad energiataimed, siis on kohe vaja ka silohoidlaid, tahkete ainete sisestamise võimalust, kääritusjäägi hoidlat ja ka sobivat segamistehnikat. See teeb tehase kindlasti palju kallimaks.

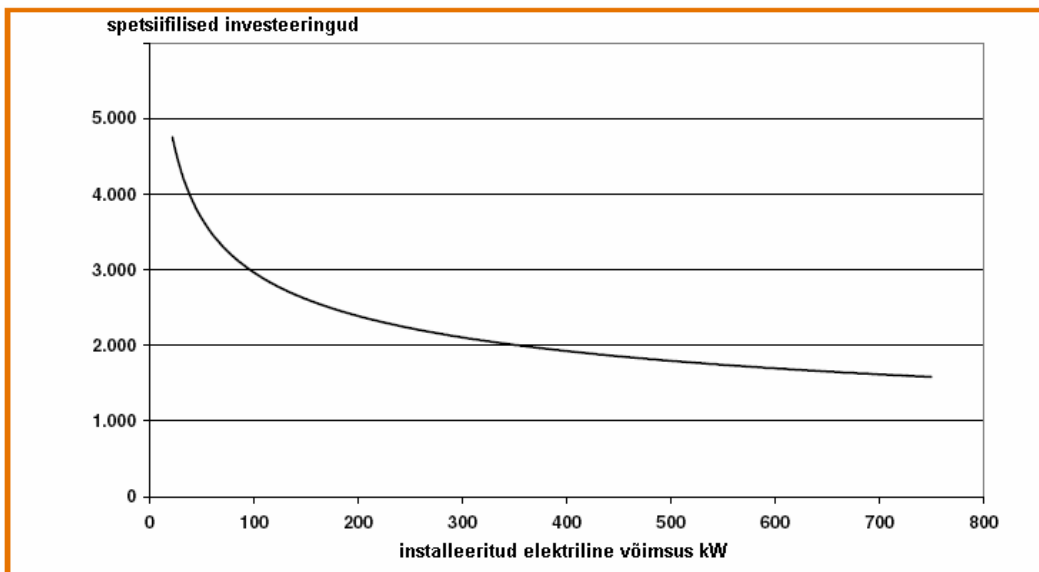
Väga üldiselt on nii, et mida suurem on tehas, seda väiksemaks muutuvad soetamiskulutused (vaata joonis 8-2). Väikeste, alla 100 kW tehaste puhul tuleb arvestada eriinvesteeringutega 3000 kuni 5000 €/kW installeeritud elektrilise võimsuse kohta. Kui tahta maksumuse vähenemist, siis peaks arvestama vähemalt 150 kW suuruse tehasega. Siis on eriinvesteeringute suuruseks 2500 kuni 3000 €/kW. Veel suuremad seadmed suudavad need maksumused viia kuni 2000 €/kW.

#### 8.7.2 Tekkiva gaasi kogus

Oodatava gaasikoguse suurus sõltub paljudest faktoritest (peatükk 4). Seda prognoosida on väga raske ning prognoositud gaasikogust tuleks alati vaadata arvutuste käigus väga kriitiliselt.

Veiseläga käärimisel (8,8% KA; 85% oKA) tekib umbes 21 m<sup>3</sup>N biogaasi iga m<sup>3</sup> läga kohta. Tunduvalt rohkem tekib gaasi, kui lägale segatakse juurde söödajäätmeid ja põhku. Juba 0,5 kg





Joonis 8-2: Spetsiifiliste investeeringute maksumused

hekseldatud põhku päevas lü kohta tõstab gaasi kogust, mis tekib läga käärimisel, 15%. Seega on lausa vajalik lisada pidevalt juurde põhku ja söödajäätmeid saamaks suuremat gaasikogust. Kahjuks ei ole paljude substraatide kohta andmeid, kui palju neist võiks gaasi tekkida ja kui suur on siis metaani sisaldus või on nad nii suures vahemikus, et arvutuste juures sobib iga arv, et näidata majanduslikku mõttekust kasutamiseks. Andmed on kasutatud ka siis, kui ei ole kuivaine (KA) ja orgaanilise kuivaine (oKA) sisaldust, parem kui on olemas lisaks ka rasva, valgu ja süsivesikute sisaldused. Siia ka üks näide selle illustreerimiseks. Oodatav gaasikogus maisisilost kõigub olenevalt KA sisaldusest, see sõltub koristuse ajast, valmimise staadiumist ja kvaliteedist 500 ja 680 lN/kg oKA – tähendab 105 kuni 228 m<sup>3</sup>N/t värse massi kohta. Tihti ei ole gaasi kogused korrigeeritud normaalsetele tingimustele või pole neid üldse antud. Normgaasi puhul on 1013 hPa ja 0°C juures. 30°C ja 960 hPa juures on gaasil 17% suurem ruumala, aga sama protsendi juures väiksem kütteväärtus kui normgaasil!

Kirjanduse andmed, millest jääb segaseks, kas tegemist on normgaasiga, peaksid jääma välja igasugustest majandusarvestustest. Sellest võivad tuleneda ohtlikud valearvestused.

Lihtsustatud valem ümberarvutuseks normaalsele ruumalale:

$$V_N = V_G \cdot P_L \cdot 0.269 / (273 + T_G)$$

$V_N$  – normruumala

$V_G$  – gaasi ruumala (m<sup>3</sup>) · õhurõhuga (hPa)

$P_L$  – õhurõhk (hPa) miinus alarõhk gaasi regulatsiooni lõigul (u 10-15 hPa)

$T_G$  – gaasi temperatuur (°C)

Sellela olakse sunnitud käärimistesti läbi viima, mis kahjuks ei pruugi olla ülekantav praktikasse. Teise variandina on lubatud kasutada lähedasi andmeid ja arvutusi gaasi koguse ning kvaliteedi kohta ja metaani sisalduse kohta spetsiaalsete suuruste järgi (vt. peatükk 8.9.1).

### 8.7.3 Gaasi kvaliteet

Gaasi kvaliteeti saab hinnata kahe suuruse järgi: metaani ja väävelvesiniku sisaldus.

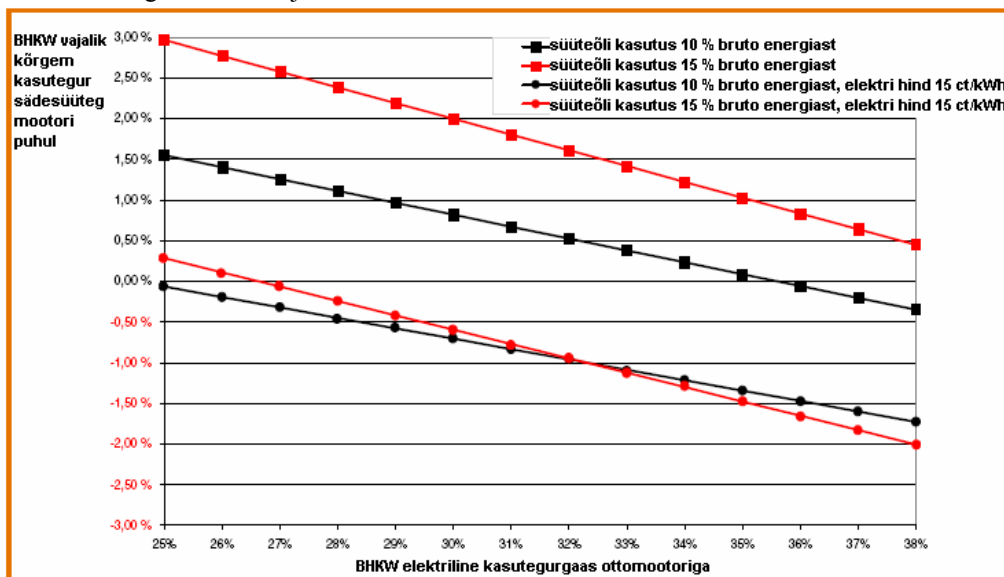
Metaani sisalduseks võetakse arvutustes tihti 60 – 65 mahu%. See vastab biogaasi energia sisaldusele (kütteväärtus) 6,0 kuni 6,5 kWh/m<sup>3</sup>N. Kui arvestatakse sisestatavate substraatide keskmiste näitajate põhjal või mõõdetakse biogaasi tehases vastava mõõdikuga, siis saadakse tavaliselt tunduvalt madalamad sisaldused. Veiseläga puhul on oodata metaani sisaldust umbes 55% mahust. Kui kasutatakse lisaks rasva- ja valguvaeseid lisa-substrate (nt maisisilo), siis on metaani näitajad veelgi madalamad.

Väävelvesinik kahjustab mootorit ja võib viia selle kiire vananemiseni. Suuremaid väävelvesiniku sisaldusi võib oodata, kui kasutatakse kõrge valgusisaldusega (eriti loomseid) substraate. Kui väävlit eraldatakse bioloogilisel teel, siis võivad H<sub>2</sub>S tippkogused olla pikal käärimiskambri viibeajal, tihedatel substraadi muutustel ja pika vahega segamisintervallidel. Kõigil neil juhtudel on vajalik tihedam hooldus läbi viia (õli vahetuse intervall) ja võib-olla ka arvestada tunduvalt lühema mootori elueaga.

#### 8.7.4 SEK – soojuse ja elektri koostootmisjaam

Elektri tootmiseks kasutatakse sädesüütega või siis gaas-ottomootoreid. Sädesüütega diiselmootorid on tavaliselt odavamad ja neil on ka suurem kasutegur kui võrreldavatel gaas-ottomootoritel. Neid saab hädajuhtumitel vedada kütteõliga, kui biogaasi tehas seiskub või on gaasil väga halb kvaliteet. Sädesüütega diiselmootorid kestavad tavaliselt mitte väga kõrge väävlisisalduse juures (<200 ppm) 4-5 aastat, u 35000 töötundi. Spetsiaalsed gaasimootorid on pikema elueaga – isegi kuni 9 aastat. Üldiselt vajavad nad aga 40000 töötundi järel kapitaalremonti, mis muidugi ei ole odav. Pole päris õige öelda, et gaas-ottomootoritel on väiksemad hoolduskulud kui sädesüütega diiselmootoritel. Oma jõududega tehtud hooldus on tavaliselt odavam kui võõrtööjõuga tehtav, seda aga ainult siis, kui tõesti teatakse, mida tehakse, ja tegijaks on spetsialist. Mootor on biogaasi tehase süda ja kui tehakse mõni viga hooldusel, siis maksab see palju raha. Hooldusele kuluvate kulutuste kohta puuduvad kahjuks andmed. Suurusjärgu järgi võib aga pakkuda u 0,4 € senti/kWh elektri kohta (ilma palgata). Tööajast kulub umbes 1 tund nädalas järelvalveks, kui aga on leping täishooldusele, siis peab arvestama mootori kohta kuni 150 kW 1,5 kuni 1,8 € senti/kWh<sub>el</sub>. Üle 150 kW mootoritel on see u 1,3 kuni 1,5 € senti/kWh<sub>el</sub>.

Kumb on ökonoomselt mõttekam, kas sädesüütega või gaas-ottomootori valik, ei saa kahjuks vastata. Joonis 8-3 peaks aitama järele mõelda: kui gaas-ottomootori kasutegur on üle 25%, peaks sädesüütega diiselmootoril olema see (kütteõli kasutus 10% brutoenergiast, elektri müük: 9,9 € senti/kWh) 1,8% kõrgem, siis peaks nad kulutustelt enam-vähem võrdsed olema. Suureneva elektrilise kasuteguri juures aga see vahe veel väheneb. 37% kasuteguri juures võib sädesüütega diiselmootori kasutegur isegi väiksem olla, võrreldes sama võimsusega gaas-ottomootoriga. Kui muidu sarnaste tingimuste juures muutub kütteõli hind ±5 € senti/l, muutub vahemik ±0,7%. Mudeltehaste puhul on sädesüütega diiselmootorid esimene valik, kuna nende kasutegur on ka tegelikult 3-4% kõrgem kui võrreldavatel gaas-ottomootoritel. Kui elektri hind suureneb, siis tuleb see vahe veelgi rohkem välja.



Joonis 8-3: Kõrgema kasuteguri võrdlus sädesüütega ja gaas-ottomootorite puhul

SEK ostuhind sädesüütega diiselmootoriga	550	€/kW	intressiga	6	%
Sellest sädesüütega diiselmootor	150	€/kW	remont, hooldus koos palkadega	1	ct/kWh <sub>el</sub>
SEK ostuhind gaas ottomootoriga	880	€/kW	kindlustus	0,5	%
Gaas-ottomootori kulum	9	aastat	süüteõli osa brutoenergiast	10-15	%
Sädesüütega diiselmootori kulum	4,5	aastat	süüteõli maksumus	40	ct/l
SEK kulum (sädesüütega diiselmootorita)	9	aastat	elektri hind	9,9 – 15	ct/kWh <sub>el</sub>

Kui aga kasutatakse rohkem süüteõli (kütteõli kasutus 15% brutoenergiast, elektri hind 9,9 € senti/kWh), siis ei ole see tulemus enam nii kindel. Gaas-ottomootori 25% kasuteguri puhul peab sädesüütega diiselmootor saavutama vähemalt 28,3% kasuteguri, et majanduslikult sama tulemus välja anda. Suureneva kasuteguri puhul väheneb ka siin see vahe. Kui süüteõli kasutatakse rohkem, siis mõjub ka süüteõli hind rohkem. Muutub kütteõli hind  $\pm 5$  € senti/l, muutub vahemik  $\pm 1\%$ . Kui tõuseb elektri hind, siis on mõeldav ka suurema kütteõli kasutuse juures sädesüütega diiselmootor.

Sellegipoolest on praktikas üle 200 kW mootorite puhul ülekaalus gaas-ottomootorid. Põhjus on siin mineraalõli maksustamine. Kes suudab tollile tõestada, et aasta keskmine tehase kasutegur on üle 60%, see saab osta ka kütteõli madalama maksumääraga. Biogaasijaamade töötamisel kasutatakse ka ära kogu elektrienergia ja seega on vähemalt elektriline kasutegur olulisem kogu tehase kasuteguri arvestamisel. Ülejäänud kasuteguri protsendid peavad tõestatud saama soojuse kasutamise näol. Ühe osa soojusest kasutab tehas ise ära (vaata peatükk 8-8). Aga mida suurem on tehas, seda väiksem on tema enda soojuse kasutus kogu tekkinud soojusest. Kui lisasoojuse kasutust ei ole, siis on raske tõestada ka kogu tehase kasumlikkust üle 60%. Ja kui tõestada ei suudeta, siis peab kütteõlile kogu aktsiisi juurde arvestama ja siis on võrreldavad sädesüütega diiselmootorid gaas-ottomootoritega elektri hinna juures 16 € senti/kWh ja süüteõli maksumuse juures 75 € senti/l ilma käibemaksuta.

Igal juhul peaks SEK-mootoril olema võimalikult kõrge kasutegur. Tootjafirmad annavad numbreid olenevalt jõudlusklassist 29-40% sädesüütega diiselmootoritele s.t. 26-38% gaas-ottomootoritele. Need numbrid saavutatakse tavaliselt normaalsetes tingimustes optimeeritud gaasi koostise juures kontrollstendidel. Kas nad ka praktikas kogu mootori eluea jooksul sinna vahemikku jäävad, on küll kahtlane. Oma majanduslike arvestuste tegemisteks tuleks kindlasti neid väiksemaid numbreid kasutada. Kindluse tagamiseks oleks vaja vähemalt 10% väiksemate arvudega arvestada. Väga kasulik oleks ka kasutegurit võtta üheks parameetriks, et saada realistlikke kasuteguri numbreid ja majandusliku mõttekuse tõestuseks neid kasutada.

## 8.8 Kalkulatsiooni peegel

Selleks valisime ühe väikese lälgal töötava biogaasi tehase, et arvutuste käigud oleksid hästi selged. Arvutuse alguspunktiks on loomade arv: 150 lü veiseid. Läga peaks neil tekkima 3000 m<sup>3</sup>. Lü kohta pannakse allapanuks päevas 0,5 kg hekseldatud põhku. Aastane põhuvajadus on 27 t, mis läheb sõnniku sees biogaasi tehasesse. Lisaks tekib veel päevas 1 lü kohta 0,5 kg maisi- ja rohusilo jääke (sööda kadu <1,5%), mis biogaasi tehases kasutust leiavad. Sisendite KA sisaldus on väiksem kui 10% ja seega ei ole mingit probleemi pumbatavusega.

Sellest substraatide segust saab aastas toota 76000 m<sup>3</sup>N biogaasi, mille metaanisalduseks on 54,5%. Majandusarvestuses (tabel 8-1) võetakse aluseks see gaasikogus ja metaanisaldus. Arvutusse arvestatakse 360 päeva gaasi tootmiseks ja kasutamiseks. Eeldatakse, et aasta peale kokku ei teki rikete tõttu gaasi 5 päeval. Tehase töö moodustab 99%, mis on väga optimistlikult arvestatud. Elektri tootmiseks tuleb muretseda üks hästi vähese süüteõli vajadusega sädesüütega diiselmootor. Brutoenergiast moodustab süüteõli 10%. See vastab biogaasi kütteväärtusele 5,54 kWh/ m<sup>3</sup>N süüteõli vajadus 6,1 liitrit 100 m<sup>3</sup>N biogaasi kohta. Brutoenergiast toodab süüteõli 452,714 kWh (arvutus: 75,798 m<sup>3</sup>N biogaasi x 5,45 kWh / m<sup>3</sup>N biogaas) / (1-0,1 (süüteõli kasutus 10%)) = 452,714 kWh). Umbes 45% sellest peaks kasutatavat soojust tekkima. Kui kõrge on soojuse kasutegur, sõltub peamiselt hooldusest (soojusvaheti puhastamisest).

Tabel 8-1: Gaasi väljatuleku ja kvaliteedi hinnangulised kogused

Värske mass t/a	Substraat	KA sisaldus %	oKA sisaldus KA %	Gaasi väljatulek		Metaani sisaldus %
				I <sub>N</sub> /kg oKA	m <sup>3</sup> N/t värskes massis	
3000	Veiseläga	8,8	85	280	21	55
27	Söödajäätmad	34	92,5	585	184	53
27	Põhk (nisu)	86	91,4	369	290	51
3054	Substraatide keskmine	9,7	85,1	298	24,8	54,5

Ühe osa soojusest kasutab tehas ise selleks, et juurde antava substraadi temperatuur tõsta käärimistemperatuurini ja hoida käärimiskambri temperatuuri konstantsena. Substraadi soojendamiseks vajalik energia on arvatud järgnevalt: 1 t substraadi soojendamiseks 1 K võrra on vaja umbes 1,16 kWh<sub>term</sub> energiat (spetsiifiline soojusmahtuvus). Sellega oleme natuke soojusvajadust

üle hinnatud, kuna KA sisalduse tõusuga spetsiifiline soojusvajadus langeb. Arvutuskäik on võrdlemisi lihtne: kui substraadi keskmine aastane temperatuur on 12°C ja käärimiskambri 38°C, siis peab substraat soojenema 26 K võrra.

Iga päev lisatakse 8,37 t (3054 t/aastas / 365 päevaga = 8,37 t/päevas) tuleb netoenergiat 252,4 kWh<sub>term</sub> ((8,37 t x 1,16 kWh<sub>term</sub> t ja K kohta) x 26 K). Võib arvestada kindlasti 20% soojusekaoga (käärimiskambri kütte kasutegur 80%), vaja kütteks energiat 315,5 kWh<sub>term</sub> päevas. Aastas on vaja ümmarguselt 115200 kWh<sub>term</sub>. Sellele lisandub veel soojusvajadus käärimiskambri soojakao tasakaalustamiseks. Kui kõrged need on, sõltub:

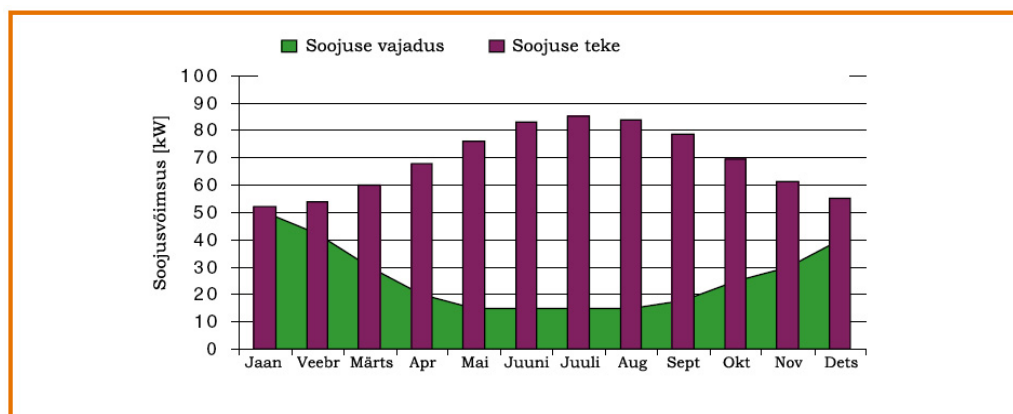
- käärimiskambri pinnakihist
  - isolatsioonist
  - temperatuuri vahemikust käärimiskambri ja keskkonna vahel
- Saksamaal on see vahemik 7-9°C, selleks ka tabel 8-2.

Kokku vajab protsess ümmarguselt 142 500 kWh<sub>term</sub>, see on peaaegu et 70% kogu toodetud soojusenergiast. Massiivsel kooskäärimisel võib see osa langeda tunduvalt alla 20%. Ülejäänud soojusega köetakse maja ja saadakse sooja vett. Selles mudelis subsideeritakse selliselt 3000 l kütteõli. Selle eest kasutab käärituskamber 35 600 kWh soojust 80% kasuteguri juures, võrreldes õli kütmisel katlamajas 95% kasuteguri juures. See on 58% kasutatavast soojusenergiast. Biogaasi tehas hoiab kokku, kui õli hind on 40 € senti/l, 1200 €. Kas puhta läga käärimise juures väikestes tehastes on võimalik asendada 3000 l kütteõli, peab üksikjuhtumite puhul täpsemalt arvutama (vt joonis 8-4). Talvel pikematel külmaperioodidel läheb aga kindlasti kitsaks. Seepärast on väga oluline käärimiskambri hea isoleerimine (vähemalt 200 mm ekstrudeeritud polüesteroolmattidega).

Tabel 8-2: Ülekande kadude arvutamine

1. Käärimiskambri pinna arvutus			
Substraati lisatakse päevas (t)	8,37	Selleks vajalik ruumala (m <sup>3</sup> )	418
Käärimiskambri viibeag (päeva)	50	Brutoruumala 10% varuga (m <sup>3</sup> )	460
Raadius (m)	12	Kõrgus (m)	4,1
Kaane pindala (m <sup>2</sup> )	113	Põranda pindala (m <sup>2</sup> )	113
Seina pindala (m <sup>2</sup> ) (kõrgus x ümbermõõt)	153	Kogu pind (m <sup>2</sup> )	380
2. Käärimiskambri isolatsioon			
Raudbetoon B25 (200 mm) + isolatsioon (mm)		100	160
k-väärtus (W/m <sup>2</sup> K)		0,363	0,235
3. Energia vajadus soojuskao kompensatsiooniks (sees 38°C ja väljas 8°C)			
Käärimiskambri soojuskadu <sup>1</sup> (kWh/aastas)		36212	23444
		4	18955
Reserv külmasildade jaoks, segisti jaoks (%)		15%	
Energia vajadus soojakao kompenseerimiseks (kWh/aastas)		41464	26961
Bruto energia vajadus kütte 80% kasuteguri juures (kWh/aastas)		52057	33701
			27242

<sup>1</sup>arvutuskäik: soojuskadu = 0,024 x kogupind x k-väärtus x (sisetemp. – välistemp.) x 365 päeva



Joonis 8-4: Biogaasi tehase soojusbilanss

SEK-i elektriline kasutegur – sellisele väikesele tehasele liiga kõrgelt hinnatud – 27% juures saab brutoenergiast elektrit toota umbes 122 300 kWh. Kui arvestada aastaseks töötundide arvuks 8000 tundi, siis jätkub 20 kW mootorist täielikult. Tehase pumbad, segistid ja muud agregaadid kasutavad elektrit pidevalt. Oma elektri kasutamine sõltub paljuski segistite arvust ja nende töötamise ajast. Tavaliselt jääb see umbes 3-8% vahele toodetud elektrist. Meie näite puhul on see 4% (4889 kWh). Oma elektrit tarbida on mõttekas ainult siis, kui müüdava elektri hind on madalam ostetavast. Sellise väikese tehase aastase elektrimüügi eest saab sissetulekut 21 391 €. Kui lisada sinna veel Saksamaa seadustest tulenevad muud lisahinna võimalused, siis teenitakse 22 951 € aastas. Seejuures peab tootja tõestama, et ta kasutas ka tegelikult soojust vastavalt 3000 l kütteõli soojuse hulga.

Nüüd investeringute ja nende maksumuste juurde. Lägal töötavad biogaasijaamad on tavaliselt odavamad, võrreldes lisasubstraatidega töötavatest jaamadest, sest siis on lisaks vaja ka silohoidlaid, lägahoidlaid ja tahkete substraatide sisestamise tehnikat. Selle ostmiseks kulub 220 €/m<sup>3</sup> käärimiskambri ruumi kohta, kokku 101 200 €. Kui see arvestada elektrienergia kohta, siis on see umbes 5000 €/kWh<sub>el</sub>. 460 m<sup>3</sup> käärituskamber on piisava varuga arvestatud 150 lü kohta. Seda näitab ka substraadi pikk viibeaeg käärituskambris - 50 päeva. Praktikas on kasutuses tihti veelgi pikemad viibeajad. Keskmiselt on need umbes 60 päeva. Arvestades erinevate investeringusummadega, saab pikaajaliselt kasutatavaid ehituslikke investeringuid (60% kogu investeringust) ka garanteeritud kokkuostuhinna juures maha kirjutada raamatupidamislikult lootuses, et see ehitus nii kaua vastu peab. Tehnika (40% investeringust) nii kaua kindlasti vastu ei pea. Amortisatsioon ei tohiks kindlasti olla pikem kui 10 aastat. Sädesüütega diiselmootorid tuleb asendada juba 4-5 aasta pärast. 8000 tunniga aastas saavutavad nad ikkagi 32 000 kuni 40 000 töötundi. Näidisarvutuste juures on ka mootor sellepärast eraldi võetud: 150 €/kW kohta. Arvutuste juures ei ole arvestatud toetustega ja kapitali intress ei tohiks olla vähem kui 6%. Hooldusele ja remondile on arvestatud ehitiste puhul 2% ja masinate puhul 3% kogu investeringu summast. Sädesüütega diiselmootoritele on see 0,4 € senti/kWh toodetud elektri kohta. Kogusumma 489 € on arvestatud siiski väga pingeliseks ja jagub sellest ilmselt ainult hooldustööde teostamiseks. Ei tohi ära unustada oma töö tasustamist. 275 töötundi aastas on sellise väikese lägal baseeruva tehase puhul väga napilt arvestatud. 15 € tunnipalga juures saab aastas 4125 €. Lisaks tuleb veel süüteõli maksumus 1811 €. Aastas kulub õli umbes 4500 l ja see on ainult 10% brutoenergiast. Protsessi töös hoidmiseks ostetakse sisse elektrienergiat 4900 kWh/aastas ja makstakse selle eest 587 €. Läge laotamine ei ole arvestustes sees, kuna seda peaks nagunii tegema ja tegemist on ainult oma ettevõtte lägaga. Läge väetuslikku väärtust ei ole arvestatud (vaata 8.4).

Olenevalt investeringu summast tuleb aastas ikkagi väljaminekuid 19 000 kuni 21 800 €. See tähendab, et 23 000 € sissetuleku juures on soodsates oludes (hea elektriline kasutegur, väike investering, ainult lägal baseeruv ja vähest tööd nõudev) võimalik ka kõik arved ära maksta. Töö eest makstakse 15 € tunnis ja lisaks saab ka veel väikese ettevõtja tasu. See ei ole põllumajanduses iseenesestmõistetav ja alati ka mitte võimalik. Tavaliselt on loomakarjad liiga väikesed, et biogaasi teha ainult läga ja sõnnikuga töötama panna. 150 lü on just see alumine piir, et panna tööle 15-20 kW mootorit. Väga ruttu jõutakse planeerimise käigus võimalike lisasubstraatide kasutamise juurde. Isegi selle väikese tehase puhul on võimalik kasutada ilma suuremate probleemideta kuni 750 t maisi- või rohusilo aastas, kui lühendada substraadi viibeaega 50 päevalt 40 päevani.

## 8.9 Lisasubstraatide kasutamine

Põllumajanduslike biogaasijaamade puhul tulevad kasutusele ka põllumajanduslikud söödataimed kui lisasubstraadid. Praktikas kasutatud suure jõudlusega ja odavad mehhaniseeritud tootmisketid on olemas või siis on võimalik jõudlust lähikonnast juurde osta.

Majandusliku edukuse saavutamiseks on vaja saada usutavaid gaasi- ehk energiakoguseid, mis tihti jääb aga saavutamata. Käärimisproovid võtavad aega ning maksavad raha ja alati jääb küsimus, kas laboris on ikka sarnased tingimused nagu minul. Oodatav gaasisaak on sõltuvuses paljudest faktoritest, nt taimeliik, ka -sort, mullastik, kus taim kasvas, koristusaeg, konserveerimise kvaliteet ja muidugi see, kui hästi tunneb ettevõtja oma tööd. Kui kiiresti ja odavalt suudab ta reageerida gaasi tekkel koguste muutustele ja metaani sisaldusele. Tegemist on ikkagi elusa protsessi juhtimisega.

Tabel 8-3: Ühe biogaasijaama soojusbilanss

<b>Hinnanguline gaasi kogus (vt tabelist gaasi tootmine)</b>				<b>75 798</b>
Brutoenergia:				
Gaasi ei teki aastas keskmiselt	5 päeval aastas	Kasutada on	99%	
Substraadi energiasisaldus		5,45 kWh/m <sup>3</sup>	kWh/a	407 443
Süüteõli energiasisaldus	10,00%		kWh/a	45 271
<b>Brutoenergia tootmine</b>				<b>452 714</b>
Tekkinud termiline energia:		45% toodetud energiast	kWh/a	203 721
		Käärimiskambri temperatuur	38 C	
		Lisatava substraadi keskmine temperatuur	12 C	
Termilise protsessi energia kasutus				kWh/a
				<b>-142 492</b>
<b>Kasutatav termiline energia</b>				<b>61 229</b>
Võidetud elektriline energia				122 233
Mootori töötunnid	8000	tundi/aastas		
Elektriline kasutegur		Vajalik min. jõudlus	kWh/a	
Sädesüütega BHKW	27%	15kW	122 233	Juurde osta on 0 odavam
Protsessi jaoks kulunud elekter	4%	kogu elektrist		
<b>Kasutatav elektrienergia</b>				<b>122 233</b>
<b>Kokkuvõtte pealt</b>				
Elektri väärtustamine	min. hind	11,50	ct/kWh	€/a
	boonus taastuvatelt energiataimedelt	6,00	ct/kWh	€/a
Soojuse väärtustamine	Boonushind	2,00	ct/kWh	
	Tootjapoolne elektri suhtarv	0,60		€/a
	Süüteõli energiasisaldus	10	kWh/l	
	Süüteõli hind	0,40	€/l	
Käärimiskambri küte	Soojuse kasutegur	80	%	
Kütmine õliküttega	Katlamaja kasutegur	95	%	
Soojuse kasutamine	(ettevõttes ja elumajas)	58	%	=3000 l kütteõli €/a
<b>Summa kokku</b>				<b>22 951</b>

					<b>-10%</b>		<b>10%</b>
<b>Investeering</b>							
Käärimiskambri suurus	460 m <sup>3</sup>	€/m <sup>3</sup> fermenter		198	<b>220</b>	242	
Käärimiskambri kõrgus	4,1 m						
Käärimiskambri läbimõõt	12 m						
Läbimise aeg	50 päeva						
Ehitus ja tehnika	Vajalik jõudlus	Installeritud jõudlus	kW maksumus	€	88 080	98 200	108 320
Sellest sädesüütega diiselmootorid	15 kW	20 kW	150 €/kW	€	3000	3000	3000
<b>Kogu investeering</b>					<b>91 080</b>	<b>101 200</b>	<b>111 320</b>
<b>Hinnangulised aastased väljaminekud</b>							
Amortisatsioon	Ehitised 60%	20 aastat	€/a	2642	2946	3250	
	Tehnika 40%	10 aastat	€/a	3523	3928	4333	
	Sädesüütega diiselmootor	4,5 aastat	€/a	667	667	667	
Intress		6,0%	€/a	2732	3036	3340	
Kindlustus		0,5%	€/a	455	506	557	
Maarent	0 €/a		€/a	0	0	0	
Remont ja hooldus	Ehitised	2,0%	€/a	1057	1178	1300	
	Tehnika	3,0%	€/a	1057	1178	1300	
	Sädesüütega diiselmootor	0,4 ct/kWh <sub>el</sub>	€/a	489	489	489	
Palgakulu	275 h/a	15 €/h	€/a	4125	4125	4125	
Süüteõli maksumus	10%	4527 l/a	0,4 €/l	€/a	1811	1811	1811
Elektri ost	12,00 ct/kWh	4889 kWh/a	€/a	587	587	587	
Kulud aastas kokku				€/a	19 145	20 451	21 756
Tooraine maksumus						0	
Läga väärtus (sõnnik oma loomakasvatusest)						0	
Ettevõtluse tulem				€/a	3805	2500	1194



### 8.9.1 Tekkiva gaasi koguse arvutamine

Arvutuste aluseks on järgnevad teadmised /8-5/:

- biogaasi metaanisalduse määravad peamiselt substraatide proteiini, rasvade ja süsivesikute sisaldus ning nende ainete seeduvus;
- muundumine ja lagundamine toimub sarnaselt veiste maos toimuvaga.

Kui teadmised on olemas, siis „söötade”, mida tahetakse biogaasi tehases kasutada, toitainete sisaldused ja seedekoefitsent (VQ) tuleb kanda vastavasse söötade tabelisse ja sealt saame välja lugeda ja arvutada võimaliku gaasikoguse, mis peaks tekkima. Toitainete sisaldused ja seeduvus varieeruvad vastavalt konserveerimise tüübile ja küpsusastmele. Seega on täpselt nii nagu loomade söötmisega, et pole ühtseid söötasid.

Üks näide rohusiloga: 1 niide, õitsemise keskel, vaatame, kuidas saame toitainete sisalduse kaudu võimaliku gaasikoguse teada. Andmed on võetud ZIFO programmist (/8-6/) ja toodud tabelis 8-3.

Tabel 8-4: Rohusilo, 1 niide, täisõies, toortoitainete sisaldus ja seedekoefitsent 1000g KA kohta

KA sisaldus %	Toorkiud g	Seede-koefitsent VQ %	NEA g	VQ NEA %	Toorproteiin g	VQ Toorpr. %	Toorrasv g	VQ Toorrasv %
36	293	74,3	436	69,97	132	65,09	37	67,51

Nendest andmetest saab orgaanilise kuivaine (oKA), seeduvate süsivesikute massi, seeduva toorproteiini ja seeduva toorrasva kilo kuivaine (KA) kohta arvutada:

oKA sisaldus: (toorkiud + NEA + toorproteiin + toorrasv) / 1000 = 89,80%

seeduvad süsivesikud: (toorkiud x VQ toorkiud) + (NEA x VQ NEA) = 522,77 g

seeduv toorproteiin: toorproteiin x VQ toorproteiin = 85,92 g

seeduv rasv: toorrasv x VQ toorrasv = 24,98 g

Seeduvad toitained moodustavad spetsiifilise metaanisalduse nagu tabelis 8-7. Selle tabeli järgi võib oletada, et käärimisel tekib rohusilost umbes 562 l biogaasi kilogrammi oKa kohta, metaanisaldusega 53,6%. See vastab gaasi väljatulekule napilt 182 m<sup>3</sup> / 1000 kg värske massi (561,7 · 0,898 · 0,36) kohta.

Tabel 8-5: Rohusilo, 1 niide, täisõies, - gaasi väljatulek l/kg KA (piiratud /8-7/ järgi)

Toitainete grupp	Gaasi väljatulek l/kg org. aines	CH <sub>4</sub> – osakaal Mahu%	Mass Kg/kg oKA	Gaasi väljatulek l/kg oKA	CH <sub>4</sub> – osakaal Mahu%
Süsivesikud	790	50	0,528	459,9	40,9
Toorproteiin	700	71	0,096	67	8,5
Toorrasv	1250	68	0,028	34,8	4,2
<b>KOKKU</b>	-	-	<b>0,706</b>	<b>561,7</b>	<b>53,6</b>

Tabelis 8-6 on selle arvutusmudeli abil saadud gaasi väljatulekud ja metaani sisaldused välja valitud taimsetele substraatidele. Tegemist on keskmiste tulemustega, mida praktikas ei pruugita saavutada.

### 8.9.2 Lisasubstraatide ettevalmistuse maksumus

Lisasubstraatide kasutamine on siis mõttekas, kui nende tootmiseks ja kasutamiseks tehtavad kulutused ka ennast ära tasuvad. Kui suured on nendest saadavad saagid, on sõltuv järgnevatest asjaoludest:

- nende kvaliteedist (seedumusest, gaasi kogusest ja kvaliteedist);
- käärimiseks vajalikust ajast;
- SEK elektrilisest kasutegurist;
- protsessi juhtimise kvaliteedist, tehase juhtija võimekusest.

Sarnaselt mitmekihilised on ka koosmõjud kuluvale tööle. Paljude tehaste puhul on planeeritud suurusjärgust kinni peetud ja sinna on sisse planeeritud võimalike lisasubstraatide kasutamise võimalus. Paljud biogaasi tehased ehitatakse aga liiga suured – on veel piisavalt reservi, mis tasuks ära kasutada. Selleks vajalik aeg ja töö on mõjutatav sellest, kas saab olemasolevat paremini kasutada või tuleb teda laiendada. Peamine on, kas SEK mootoril on ka veel piisavalt reservi, et lisaks tekkinud biogaasi veel põletada.



Tabel 8-6: Biogaasijaama kulud erinevate lisa-substraatide korral

	Gaasi väljatulek	CH <sub>4</sub> sisaldus	Elektri kogus	Min hind	Sissetulek elektrist	Muutuvkulud			Max lisa-substraadi hind	Energia omatarve	Vajalik hooldia suurus
						Hooldus	Süüteõli	Väljavedu			
	m <sup>3</sup> N/t VM	%	kWh/t VM	€ct/kWh <sub>el</sub>	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	kW/10t VM	m <sup>3</sup> /10t VM
Vana leib (65% KA)	482,0	52,7	903	11,5	103,86	13,55	11,29	1,47	77,55	1,2	1,8
Kasutatud toiduõli (95% KA)	874,0	68,0	2.113	11,5	243,01	31,70	26,41	0,50	184,40	2,9	0,6
Leivatehase jäätmed (87,7% KA)	650,6	52,8	1.221	11,5	140,46	18,32	15,27	0,59	106,28	1,7	0,7
Maisitõlvikute jahu, 3,5% toorkiudu (65% KA)	425,8	52,7	798	11,5 + 6	139,62	11,97	9,97	1,76	115,92	1,1	2,2
Rasvade jäätmed (5% KA)	45,0	68,0	109	11,5	12,51	1,63	1,36	3,82	5,70	0,1	4,7
Linnusõnnik (15% KA)	56,3	65,0	130	11,5 + 6	22,77	1,95	1,63	3,74	15,45	0,2	4,6
Söödapeet (14,6% KA)	90,2	51,1	164	11,5 + 6	28,68	2,46	2,05	3,52	20,65	0,2	4,3
Köögilviljajäätmed (15% KA)	57,0	56,0	113	11,5	13,05	1,70	1,42	3,71	6,22	0,2	4,6
Odrapõhk (86% KA)	312,0	50,5	560	11,5 + 6	98,04	8,40	7,00	2,32	80,31	0,8	2,9
Glütseriin (100% KA)	845,7	50,0	1.503	11,5	172,90	22,55	18,79	0,02	131,53	2,1	0,0
Vilis (terade keskm. KA sisaldus 40%)	194,8	52,3	362	11,5 + 6	63,39	5,43	4,53	2,97	50,46	0,5	3,7
Rohusilo, 1 niide, täisõies (40% KA)	201,7	53,6	384	11,5 + 6	67,27	5,77	4,80	2,95	53,75	0,5	3,6
Rohusilo, niidete keskm. (35% KA)	182,3	54,1	351	11,5 + 6	61,37	5,26	4,38	3,05	48,67	0,5	3,8
Nurmerohi, 1 niide, loomise algul (18% KA)	98,1	53,9	188	11,5 + 6	32,90	2,82	2,35	3,49	24,24	0,3	4,3
Hein, teine niide, õitsemise algul (86% KA)	404,4	53,1	764	11,5 + 6	133,61	11,45	9,54	1,88	110,74	1,0	2,3
Tärkliserikas kartul (26% KA)	177,1	51,4	324	11,5 + 6	56,64	4,85	4,05	3,06	44,68	0,4	3,8
Keskm. tärklisesisaldusega kartul (22% KA)	150,1	51,5	275	11,5 + 6	48,10	4,12	3,44	3,20	37,34	0,4	3,9
Kartulikoormise jäätmed (11% KA)	67,7	51,4	124	11,5	14,23	1,86	1,55	3,64	7,19	0,2	4,5
Kartulipulp (6% KA)	35,0	56,3	70	11,5 + 6	12,26	1,05	0,88	3,82	6,51	0,1	4,7
Juustujäätmed (79,3% KA)	673,8	67,5	1.617	11,5	185,97	24,26	20,21	1,02	140,48	2,2	1,3
Juustuvadak (5% KA)	34,4	53,1	65	11,5	7,47	0,97	0,81	3,82	1,86	0,1	4,7
Kooritud piim (8,6% KA)	57,6	57,7	118	11,5	13,59	1,77	1,48	3,71	6,63	0,2	4,6
Söödakapsas, värske (11,5% KA)	63,2	54,3	122	11,5 + 6	21,35	1,83	1,53	3,67	14,33	0,2	4,5
Veiseläga (8,8% KA)	21,0	55,0	41	11,5 + 6	7,19	0,62	0,51	3,89	2,17	0,1	4,8
Külmpressi rapsikook 15% rasva (91% KA)	579,2	62,5	1.287	11,5	148,02	19,31	16,09	1,24	111,38	1,8	1,5
Peetide juurikad (17% KA)	95,9	51,8	177	11,5	20,31	2,65	2,21	3,49	11,96	0,2	4,3
Söögijäätmed, rasvased (18% KA)	126,5	61,9	278	11,5	32,02	4,18	3,48	3,39	20,97	0,4	4,2
Sealäga (6% KA)	20,4	60,0	44	11,5 + 6	7,62	0,65	0,54	3,90	2,52	0,1	4,8
Maisisilo, piimküpsus, keskm. Terade sisaldus (28% KA)	154,5	52,1	286	11,5 + 6	50,09	4,29	3,58	3,18	39,03	0,4	3,9
Maisisilo, vahaküps, keskm. Terade sisaldus (33% KA)	185,3	52,2	344	11,5+6	60,19	5,16	4,30	3,02	47,71	0,5	3,7
<b>Maisisilo, vahaküps, suur terade sisaldus (35% KA)</b>	<b>201,5</b>	<b>52,3</b>	<b>375</b>	<b>11,5 + 6</b>	<b>65,57</b>	<b>5,62</b>	<b>4,68</b>	<b>2,94</b>	<b>52,33</b>	<b>0,5</b>	<b>3,6</b>
Rukkiterad (86% KA)	597,0	52,0	1104	11,5 + 6	193,16	16,56	13,80	0,84	161,97	1,5	1,0
Nisuterad (86% KA)	598,2	52,8	1123	11,5 + 6	196,53	16,85	14,04	0,86	164,79	1,5	1,1
Nisu aganad (89% KA)	262,4	50,7	473	11,5	54,40	7,10	5,91	2,59	38,80	0,7	3,2
Suhkrupedi värsk leht (16% KA)	85,1	53,7	162	11,5 + 6	28,43	2,44	2,03	3,56	20,41	0,2	4,4
Suhkrupet, värsk (23% KA)	147,1	50,8	266	11,5 + 6	46,50	3,99	3,32	3,21	35,98	0,4	4,0

VM-värsk mass KA-kuivaine

<sup>a</sup> Lisaandmed:

SEK-elektriline kasutegur	32	%	Pinnalähedane läga väljavedu terves ettevõttes	4,00	€/m <sup>3</sup>
SEK-töötamise aeg	8000	tundi/aastas	Biogaasijaama hooldus, koos protsessi energiakuluga	1,5	ct/kWh <sub>el</sub>
Süüteõli osakaal	10	% brutoenergiast	Kindluse tagamiseks jõudlusele juurde lisatud	10	%
Süüteõli hind	40,0	ct/l	Kääritusjäagi hoiustamise aeg (vt ptk 7.4)	240	Päeva

Tabel 8-7: Lisasubstraatide maksimaalne võimalik maksumus biogaasi tootmiseks koos püsikuludega, sädesüütega SEK<sup>a</sup> (müügi tulemis on ka süüteeõli toodetud elekter sees)

	Tekkinud	CH <sub>4</sub>	Sissetulek	Muutuvad	Püsikulud			Max
	gaasi	sisald.	elektrist	kulud	SEK	Kääriti	Läga	
	kogus	%	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM
	m <sup>3</sup> N/t VM	%	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM	€/t VM
Vana leib (65% KA)	482,0	52,7	103,86	26,31	12,05	4,16	0,77	60,57
Kasutatud toiduõli (95% KA)	874,0	68,0	243,01	58,62	28,19	4,16	0,26	151,77
Leivatehase jäätmed (87,7% )	650,6	52,8	140,46	34,18	16,29	4,16	0,31	85,51
Maisitõlvikute jahu, 3,5% toorkiudu, (65% KA)	425,8	52,7	139,62	23,70	10,64	4,16	0,92	100,19
Rasvade jäätmed (5% KA)	45,0	68,0	12,51	6,81	1,45	4,16	2,00	-1,92
Linnusõnnik (15% KA)	56,3	65,0	22,77	7,32	1,74	4,16	1,96	7,59
Söödapeet (14,6% KA)	90,2	51,1	28,68	8,03	2,19	4,16	1,84	12,46
Köögilijajäätmed (15% KA)	57,0	56,0	13,05	6,83	1,51	4,16	1,94	-1,40
Odrapähk (86% KA)	312,0	50,5	98,04	17,73	7,47	4,16	1,22	67,45
Glütseriin (100% KA)	845,7	50,0	172,90	41,37	20,06	4,16	0,01	107,30
Vilis (terade keskm. KA sisaldus 40%)	194,8	52,3	63,39	12,93	4,83	4,16	1,56	39,90
Rohusilo, 1 niide, täisõies (40% KA)	201,7	53,6	67,27	13,52	5,13	4,16	1,54	42,91
Rohusilo, niidete keskm. (35% KA)	182,3	54,1	61,37	12,70	4,68	4,16	1,60	38,23
Nurmerohi, 1 niide, loomise algul (18% KA)	98,1	53,9	32,90	8,66	2,51	4,16	1,83	15,74
Hein, teine niide, õitsemise algul (86% KA)	404,4	53,1	133,61	22,88	10,19	4,16	0,99	95,40
Kartul, tärkliserikas (26% KA)	177,1	51,4	56,64	11,96	4,32	4,16	1,60	34,60
Kartul, keskm. tärklisesis.-ga (22% KA)	150,1	51,5	48,10	10,76	3,67	4,16	1,68	27,83
Kartulikoormise jäätmed (11% KA)	67,7	51,4	14,23	7,04	1,65	4,16	1,91	-0,54
Kartulipulp (6% KA)	35,0	56,3	12,26	5,75	0,93	4,16	2,00	-0,59
Juustujäätmed (79,3% KA)	673,8	67,5	185,97	45,49	21,57	4,16	0,53	114,21
Juustuvadak (5% KA)	34,4	53,1	7,47	5,61	0,87	4,16	2,00	-5,17
Kooritud piim (8,6% KA)	57,6	57,7	13,59	6,96	1,58	4,16	1,94	-1,06
Söödakapsas, värsked (11,5% KA)	63,2	54,3	21,35	7,03	1,63	4,16	1,92	6,61
Veiseläga (8,8% KA)	21,0	55,0	7,19	5,02	0,55	4,16	2,04	-4,59
Külmpressi rapsikook 15% rasva (91% KA)	579,2	62,5	148,02	36,63	17,17	4,16	0,65	89,40
Peetide juurikad (17% KA)	95,9	51,8	20,31	8,35	2,36	4,16	1,83	3,61
Söögilijäätmed, rasvased (18% KA)	126,5	61,9	32,02	11,05	3,71	4,16	1,78	11,31
Sealäga (6% KA)	20,4	60,0	7,62	5,10	0,58	4,16	2,04	-4,27
Maisisilo, piimküpsus, keskm. terade sis. (28% KA)	154,5	52,1	50,09	11,05	3,82	4,16	1,67	29,38
Maisisilo, vahaküps, keskm. terade sis. (33% KA)	185,3	52,2	60,19	12,48	4,59	4,16	1,58	37,37
Maisisilo, vahaküps, suur terade sis. (35% KA)	201,5	52,3	65,57	13,24	5,00	4,16	1,54	41,63
Rukkiterad (86% KA)	597,0	52,0	193,16	31,19	14,73	4,16	0,44	142,64
Nisuterad (86% KA)	598,2	52,8	196,53	31,74	14,98	4,16	0,45	145,19
Nisu aganad (89% KA)	262,4	50,7	54,40	15,60	6,31	4,16	1,36	26,96
Suhkrupedi värsked leht (16% KA)	85,1	53,7	28,43	8,02	2,17	4,16	1,86	12,21
Suhkrupet, värsked (23% KA)	147,1	50,8	46,50	10,52	3,54	4,16	1,68	26,59

VM-värsked mass KA-kuivaine

<sup>a</sup> Lisaandmed (vt lisaks ka tabelit 8.8)

Investeering käärimiskambri ehitamiseks	200 €/m <sup>3</sup>	Ehituse amortisatsioon	20	aastat
Investeering tehnikasse ilma mootorita	130 €/m <sup>3</sup>	Tehnika amortisatsioon	10	aastat
Investeering mootorisse	550 €/kW	SEK amortisatsioon ilma mootorita	9	aastat
Sellest sädesüütega diiselmootor	150 €/kW	Mootori amortisatsioon	4,5	aastat
Investeering lägahoidlasse	50 €/m <sup>3</sup>	Intressid	6	%
Käärimiskambri viibeaeg	40 päeva	Kindlustus	0,5	%
Käärimiskambri tagavararuum	10 %	Vajalik lisaruum käärimiskambri	0,12	m <sup>3</sup>

### 8.9.2.1 Maksimaalsed kulutused lisasubstraatidele mitte täielikult täisvõimsusel töötavale tehasele

Kui on vaba kapatsiteeti, siis on esmaseks mõtlemisaineks, kas saab ja on mõtet kasutada lisaks lisasubstraate, lisandunud gaasikogusele ja juurde tulnud jooksvatele kuludele

- suureneb hooldus ja protsessi enda elektrienergia vajadus;
- lisasüüteõli suurem vajadus gaasikoguse põletamiseks;
- suureneb kääritusjäägi kogus.

Lisakulutused hooldusele on kuni 1,5 senti/kWh<sub>el</sub> kohta. Suurenenud süüteõli vajadus tekib muidugi ainult siis, kui seda tarvitatakse. Kindlasti on aga vaja rohkem läga põllule viia. Oma tootmise juures on vähemalt lisapalga ja masinate liikuvad kulutused suurenenud. Järele jäänud summa näitab ära, kui palju tohivad lisasubstraadid üldse maksta. Tabelis 8-7 on ära toodud, kui palju üks või teine substraat maksta tohiks. Seal ei ole aga arvestatud, kui ka soojust kasutatakse.

Kuidas tabelit kasutada? Proovime seda järgneva näite varal selgitada.

Maisisilo, vahaküpsus, terade rohke, 35% kuivainet:

Tonni hea maisisilo kohta tekib elektri müüki 65,57 € eest, kui ainult maisisilo kääritatakse. Teisele poole peaks kandma hoolduse kulud 5,62 €, süüteõli maksumuse 4,68 € ja väljaveo maksumuse 2,94 €. Seega võib maisisilo maksta maksimaalselt 52,33 €/t, et tagasi saada vähemalt tehtud kulutused.

Kui nüüd aga väga täpselt arvutada, siis peaks tootmise või ostmise maksumusele lisaks katma veel ka:

- jooksvad kulud silohoidlatele või muule hoiustamiseks kasutatavale alale, ruumile;
- transpordi kulud kuni käärimiskambrini;
- palgakulud kulutatud tööajale substraatide tootmiseks ja lisatöö tehase töö jälgimiseks;
- silohoidla või hoiuala püsikulud, kui ei ole tegemist juba ammu mahakirjutatud hoidlatega;
- põldude kasutuskulud;
- rendi maksumus maa kasutamise eest;
- muud ettevõtte kohustused, mida ei saa jaotada ühe või teise asja juurde, mis aga ettevõttel maksta tuleb;

Tulu poolele tuleb veel lisaks müüdü energiaks ka väetisena kasutatud läga, kui hoitakse selle tulemusena kokku mineraalväetiste ostmise pealt.

### 8.9.2.2 Maksimaalsed kulutused lisasubstraatidele arvestades püsikulusid (tehase laienemine)

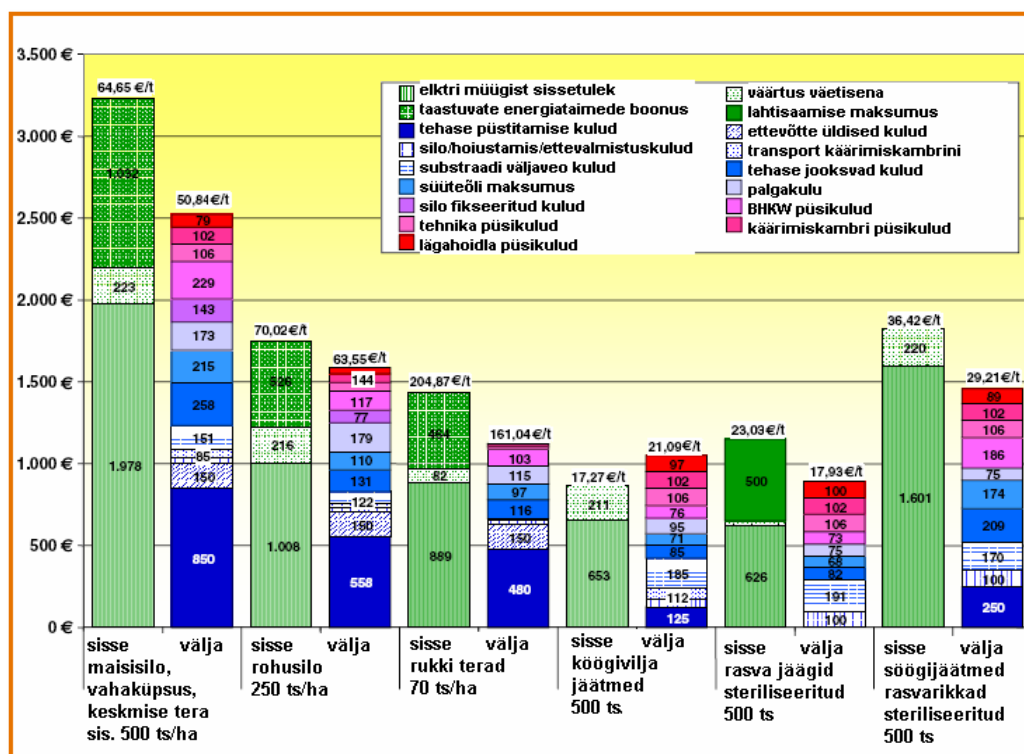
Kui lisasubstraatide kasutamiseks on vaja teha lisainvesteeringuid, peab jooksvate kulude kõrval arvestama ka püsikuludega vastavatele kapatsiteetidele (kääriti, kääritusjäägi hoidla, SEK mootor, tehnika, mida kasutatakse) (vt. Tabel 8-8). Kui otsustatakse luua täiesti uus tehas lisasubstraatide kääritamiseks, tekivad lisaks jooksvatele kuludele ka püsikulud suuruses 10,7 €/t maisisilo kohta. Siis tohib kasutamiseks valmis maisisilo maksta enne sisestamist 41,63 €/t. Kui aga on juba enne planeeritud lisasubstraatide kasutus, siis tuleb ainult laiendada SEK mootori kasutusvõimalusi. Siis on maisisilole langevad püsikulud meie näite puhul 5 €/t ja maksimaalne hind 47,33 €/t.

Tabel 8-8: Oluliste parameetrite mõju substraatide majanduslikkusele (võrdle joonisega 8-6)

Substraat		Maisi- silo	Rohu- silo	Rukis	Köögivilja- jäätmad	Rasvad	Söögi- jäätmad
<b>Elektri hind</b>	ct/kWh	17,50	17,50	17,50	11,50	11,50	11,50
<b>Parameetrid</b>	muutus	€/t	€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
<b>Elektriline kasutegur</b>	±10%	5,04	5,14	16,19	0,98	0,94	2,41
<b>Gaasi kogus</b>	±10%	4,76	4,85	15,18	0,89	0,81	2,15
<b>Metaani sisaldus</b>	±10%	4,54	4,63	14,57	0,82	0,81	2,0
<b>Substraatide tootmise maksumus<sup>a</sup></b>	±10%	2,5	3,44	8,91	0,66	0,35	0,85
<b>Tehase maksumus</b>	±10%	1,32	1,35	1,93	0,76	0,76	0,97
<b>Tehase jooksvad kulud</b>	±10%	0,52	0,53	1,66	0,17	0,16	0,42

<sup>a</sup> – käärimiskambri juures ilma kääritusjäägi väljaveota

Kas sellest tulenevalt veel hoiutanke, gaasihoidlat, steriliseerimisvõimalust või lisa segamisagregaate vajatakse, sõltub peamiselt lisa-substraadi päritolust. Igal juhul tuleb kindlasti tööd juurde. Joonis 8-5 näitab, millised maksumused ja sissetulekud erinevatel lisa-substraatidel on ja palju nad võivad meid aidata.



Joonis 8-5: LISA-substraatide majanduslikkus ilma kasutus- või rendi maksumusteta

Investeering silohoidlale	25 €/m <sup>3</sup>	palga suurus	15 €/h
Silo jooksvad maksumused	58 ct/ m <sup>3</sup>	N hind	56 ct/kg
Transpordikulu hoidlast käärimiskambri	62 ct/ m <sup>3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> hind	55 ct/kg
Töötaja vajadus transpordiks käärimiskambri	3,8 min/ m <sup>3</sup>	K <sub>2</sub> O hind	28 ct/kg

Hea tehnika tootmiseks põllul ja biogaasi tehases lubab paremates maisi kasvu piirkondades saada saaki 2200 €/ha. See koosneb elektrilt saadud hinnast (ilma taastuvate energiataimede boonusega) summas 1978 €/ha (11,5 € senti/kWh · 17200kWh) ja lisaks veel väetise väärtusest. Väetise väärtus 223 €/ha realiseerub ainult siis, kui toitained (3,1 kg N, 1,75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 6,36 K<sub>2</sub>O tonni maisisilo kohta) kasutatakse hiljem kõik ära ja ei osteta vastavat kogust mineraalset väetist. Praktikas ei ole see aga kahjuks realiseeritav. Teiselt poolt aga puuduvad muutuvad kulud palgale u 1560 €/ha.

Töötaja vajadus maisi kasvatamisele, koristamisele, transpordile kuni käärimiskambri peab nabi 12 töötunniga väärtustatuna saama 15 €/h eest, kokku läheb maksma maisisilo 173 €/ha. Kattetulu kohaselt ulatub 467 €/ha ja on sellega 244 € üle arvutusliku väetusaine maksumuse. Seega tasub maisisilo ennast ära biogaasitehase võimsuse suurendamiseks. Kui püsikulud oleksid tehasele ja silo valmistamisele 660 €/ha, siis ei tasu maisisilo ennast enam ära.

Ka rohusiloga on tasuvus piiri peal, peamine võit võib tulla kääritusjäätme kasutamisest väetusainena ja sellega hoida kokku mineraalväetiste ostu. Saksamaal on kogu selle tasuvuse taustaks ikkagi boonushind, mida saadakse, kui kasutatakse taastuvaid energiataimi biogaasi tootmises, selle boonuse hinnaks on 6 € senti.

Ka muud lisa-substraadid on suhteliselt problemaatilised. Rasvade ja toidujäätmete kasutamine toob kaasa kõikuva tooraine kvaliteedi, mis raskendab käärimisprotsessi kulgemist stabiilselt ja tasub ainult siis ära, kui nende kasutamisele makstakse veel lisaks selle poolt, kes nendest lahti tahab saada. Loomakasvatustulul sõnnikul baseeruva biogaasi tootmise puhul on vähe võimalusi majanduslikult mõttekalt lisa-substraate kasutada, sest see toob kaasa suure riski substraatide kvaliteedi ja tarnekindluses, mida on raske tasakaalus hoida. Ja kui on veel vaja ka maad juurde rentida, et maisi kasvatada ja seda kaugelt transportida, siis on majanduslikkus tihti väga küsitav. See, kas on mõttekas kasutada mingit lisa-substraati, on raske küsimus ja sellele ei saa vastust ilma arvutusi tegemata.

### 8.9.3 Tundlikkuse analüüs

Majanduslikkuse arvutused põhinevad alati võimalikult tegelikkuse tingimustel. Sellepärast on vaja ka seda alati kontrollida, kui palju tulemus muutub, kui üks või teine asi muutub kas ületamise või puudu jäämise tulemusena. Tabelis 8-8 on toodud joonisel 8-5 esitatud substraatide tundlikkuse analüüsi tulemused.

Kui elektri hind ei muutuks üldse, siis on kõige suurem majanduslik mõju SEK elektrilisel kasuteguril. Elektrilise kasuteguri 10% tõus, 32-lt ümmarguselt 35%ni, millest reaalselt võttes ei ole rohkem võimalik, viib tunduvalt suurema mõjuni, kui tõsta tekkinud gaasi kogust või gaasis olevat metaani osa sama % võrra.

Tunduvalt vähem mõjutavad muutused ehituslikes ja tehnika maksumustes. Tehase maksumuse vähendamine 10% võrra on väiksema kaaluga kui boonuse, mida saadakse taaskasvatavate energiataimede eest. Reaalselt on aga tehase maksumuse 10% vähenemist tunduvalt lihtsam saavutada, kui tõsta tehase jõudlust. Muutused liikuvates kuludes on väga väikese mõjuga, sest need on oma 1,5 € senti/kWh kohta kalkulatsioonis väga väikese osakaaluga.

## 8.10 Mudeltehased

Peatükis 6 sai juba pikemalt iseloomustatud mudeltehaseid. Biogaasi tehases kasutatavad substraadid on esitatud tabelis 8-9.

Tabel 8-9: Mudeltehastes kasutatavad substraadid

Substraat	KA	oKa	Gaasi kogus		Metaani	Toitainete sisaldus		
	sisaldus	sisaldus	lN/kgKa	m <sup>3</sup> N/tVM	sisaldus	N <sup>a</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	%	KA %			%			
Veiseläga	8,8	85,0	280,0	21,0	55,0	3,49	1,7	6,29
Sealäga	6,0	85,0	400,0	20,4	60,0	3,68	2,52	2,4
Maisisilo vahaküpsuses, keskmise tera suurusega	33,0	95,8	586,1	185,3	52,2	3,08	1,75	6,36
Rohusilo	35,0	89,2	583,8	182,3	54,1	6,21	2,98	12,63
Söödajäätmed	34,0	92,5	585,0	184,0	53,0	4,65	2,37	9,5
Allapanu – nisupõhk	86,0	91,4	369,0	290,0	51,0	3,67	1,58	10,32
Rukkiterad	87,0	97,8	701,7	597,0	52,0	11,33	6,57	6,26
Rasvade jäätmed	5,0	90,0	1000,0	45,0	68,0	0,67	0,18	0,15
Söögijäätmed, rasvarikkad	18,0	92,3	761,5	126,5	61,9	4,91	1,9	2,16

<sup>a</sup> – toitainete kadu 28% on juba sisse arvestatud  
VM – värskes massis

## 8.11 Majanduslikkuse hindamine

Läga, söödajäätmed ja allapanu oma ettevõttest on biogaasi tehasele kasutatavad ilma kuludeta. Teistele lisa-substraatidele on võimalik teha kalkulatsioonid koos väljavedamise vajadusega. Tabel 8-10 näitab: kui kõiki maksumusi arvestada (võrdle peatükk 8.9.2), tulevad taastuvate energiataimede puhul suured summad kokku. Kui aga maksumused jäävad musternäidisele tunduvalt alla, siis tuleks vaadata, kas on unustatud palga osa või jäätmete põllule laotamise maksumus. Ka kasutus- või rendikulud või üldkulud, siin ainult 150 €/ha, ei ole musternäidises enamasti arvestatud. Te peaksite aga selle ettevõtte osast midagi teenima, et investeringut kuidagi tasuda.

Kui substraatide maksumused on teada, siis saab tabeli 8-10 abil ka ilma erilise ettevalmistuseta arvutada, kas biogaasijaam ennast ikka ära tasub. Elektri müügist tulevast sissetulekust tuleb maha arvestada hooldus, süüteõli maksumus ja palgad, siis peale substraatide maksumuse peab veel natuke üle jääma tehase käigus hoidmiseks ja püsikulude katteks. Tabelis 8-11 on vastavad arvutused.

Praeguste toetatavate hindade juures on ka väikestele tehastele, välja arvatud rohusilo puhul, väike ülejääk palga maksamiseks ilma, et peaks arvestama väetise väärtusena kääritusjääki. Konkurentsituult on parim juurde ostetud koju toodud rukis hinnaga 8,50 €/ts (neto). Oma toodetud rukis ja maisisilo

on tunduvalt paremad kui mõlemad biojätmetüübid. Tänu juurde makstavale boonusele on lisaks läga kasutamisele atraktiivne kasvatada ka taastuvaid energiataimi biogaasi tootmiseks. Mudeltehastele taandatud tulemused annavad võimaluse positiivseteks tulemusteks, kui tehas on püstitatud normaalsete hindadega ja suudetakse sealt ka hea jõudlus välja pigistada.

Tabel 8-10: Substraatide maksumused ja sissetulekud

Mass	t/ha või t	Maisisilo <sup>1</sup>	Rohusilo	Rukis <sup>2</sup>	Ostetud rukis	Rasva- jäätmed	Söögi- jäätmed
		50	25	7	1	50	50
Lahtisaamise hind	€/t					10,0	
Kokkuhoid multšimise või roheliseks tegemise eest	€/t	2,0					
Tootmis- või ostukulud	€/t	-17,00	-22,32	-68,57	-85,00		-5,00
Lisakulud (kontroll + söödakõlbmatuks muutmine)	€/t	-2,00					
Silo-/hoidla-/ettevalmistuskulud	€/t	-0,83	-0,89	-4,16	-4,16	-2,00	-2,00
Jaotatud silo püsikulud	€/t	-2,86	-3,08				
Silo transport käärimiskambrini	€/t	-0,89	-0,95				
Substraadi väljaveo maksumus	€/t	-3,02	-3,05	-0,84	-0,84	-3,82	-3,39
Palgakulu	€/t	-3,46	-7,16	-16,36	-1,00	-1,50	-1,50
Kasutuse maksumus	€/t			-14,29			
Üldkulud	€/t	-3,00	-6,00	-21,43			
Sissetulek või maksumus käärimiskambri juures	€/t	-31,06	-43,45	-125,65	-91	2,68	-11,89

<sup>1</sup> - kasvatamine sööti jätmise kohustusega põldudele – Eestis ei ole enam sellist kohustust

<sup>2</sup> - kasvatamine toetusõiguslikul maal

Tabel 8-11: Majanduslikkuse üldine hinnang

		Veise- läga	Sea- läga	Maisi- silo	Rohu- silo	Oma- rukis	Ostu- rukis	Rasva- jäätmed	Söögi- jäätmed
Sissetulek elektri müügist	€/t	7,19 <sup>1</sup>	7,62 <sup>1</sup>	60,19 <sup>1</sup>	61,37 <sup>1</sup>	193,16 <sup>1</sup>	193,16 <sup>1</sup>	12,51	32,02
Tehase hooldus	€/t	-0,62	-0,65	-5,16	-5,26	-16,56	-16,56	-1,63	-4,18
Süüteõli maksumus	€/t	-0,51	-0,54	-4,30	-4,38	-13,80	-13,80	-1,36	-3,48
Sissetulek v maksumus käärimiskambri juures	€/t	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	-31,06	-43,45	-125,65	-91	2,68	-11,89
Tehase püsikulude katteks	€/t	6,06	6,43	19,67	8,28	37,15	71,8	12,2	12,47
Püsikulud		-4,71 <sup>3</sup>	-4,74 <sup>3</sup>	-10,33	-10,44	-19,33	-19,33	-7,61	-9,65
Tehase palgakulude katteks		1,35	1,69	9,34	-2,16	17,82	52,47	4,59	2,82
Väärtus väetisena	€/t	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	4,46	8,64	11,71	11,71	0,52	4,40

<sup>1</sup> - arvestatud boonus energiakultuuride kasvatamise eest

<sup>2</sup> - oma ettevõtte läga

<sup>3</sup> - ilma lägahoidla püsikuludeta



## 8.12 Mudeltehaste kalkulatsioonid

Majanduse analüüs toimub nagu on näidatud peatükis 8.8. Seepärast me siin sellel pikemalt ei peatu. Tulemused on tabelis 8-12 esitletud (läga põllule viimist pole sisse arvestatud). Tulemused ei vasta kahjuks päriselt oodatule.

**Mudeltehas nr. 1** – Ühe eraettevõtja tehas 120 lü ja taastuvate energiataimede kasutamiseks. See tehas, vaatamata kõrgele elektri hinnale, on majanduslikkusega väga piiri peal. Tehase püstipanemiseks kulus 583 €/m<sup>3</sup> käärimiskambri ruumala kohta, st 4456 €/kW installeeritud elektrilise võimsuse kohta, mis on liiga kallis läga, maisi ja rohu kääritamiseks. Ainult siis, kui rohusilo asendatakse odavama taastuva energiataimega, on võimalik samade tingimuste juures vältida miinustesse langemist.

Ka **mudeltehases nr. 2** kasutatakse ainult läga (160 lü) ja taastuvaid energiataimi. Ka see tehas on liiga kallis sellise investeeringu juures. Siiski on siin väike ettevõtluskasum saavutatud ja seda tänu SEK paremale kasutegurile ja soodsale substraatide segule. Maisisilole tuleb lisaks soodsalt ostetud ja omatoodetud rukis.

Mõlemal tehasel on kindlasti probleeme, tõestamaks oma soojuse kasutamist, st miinimum kasutegurit, et saada maksusoodustust juurde ostetud süüteõli pealt.

**Mudeltehas nr. 3** – koos majandatav 250 lü veiseid ja 160 lü sigu, lisaks taastuvad energiataimed eesmärgiga kasutada ära juurde makstavat boonushinda. Lisaks veel ka soojuse müük, et ettevõtlust kasumlikumaks muuta. Soojuse müügist laekuv summa on u 13 000 €. Tänu soojuse müügile saadakse veel ka lisaboonust 8 400 € näol. Kulused alandavalt on mõjunud ka, võrreldes eelnevate näidetega, tunduvalt madalamad ehituskulud. Need on isegi kuni 30% madalamad.

Tulemused **mudeltehases nr. 4** – ühistuline, veiseid 2000 lü – näitab, et ainult oma ettevõtte läga kääritamine on kasumlik, kui on suhteliselt madalad kulud tehase paigaldamiseks. Arvutused näitavad, et ettevõtluse tulem on 160 000 € investeeringu juures, mis on 653 000 €. Spetsiifilised kulud koos SEK-iga on tehase püstitamiseks 200 €/m<sup>3</sup> käärimiskambri kohta. SEK on ka piisavalt suur, et saavutada head kasutegurit ja lisaks ei teki lisakulutusi substraadi tootmiseks, ladustamiseks ja välja vedamiseks. Väga head tingimused biogaasi tootmiseks.

**Mudeltehas nr. 5** - ühistuline ettevõtmine, 520 lü veiseid ja 320 lü sigu ja taastuvad energiataimed. On tänu taastuvate energiataimede boonushinnale väga kasumlik. Mitte ainult tänu oma suurusele, vaid ka tänu oma suhteliselt madalatele püstitamiskuludele. 320 €/m<sup>3</sup> käärimiskambri kohta on tunduvalt madalam kui mudeltehase nr. 3 puhul.

**Mudeltehas nr. 6** – ühistuline ettevõtmine, 520 lü veiseid, 320 lü sigu, taastuvad energiataimed ja biojäätmekasutus. Tänu biojäätmekasutamisele ei saa taastuvate energiataimede boonushinda, kuigi 45% substraatidest on taastuvad energiataimed. SEK on väga hea kasutegur ja tema soetamise kulud olid ka talutavad. Sellest aga ei piisa, et kõrgete substraatide maksumusi tagasi teenida. Selline tehas teeb aastas kahjumit 22 297 €. Sellisel kujul biojäätmekasutus pole just mõttekas.

Kui loobuda biojäätmekasutusest, siis saaks ka palju paremaid majanduslikke tulemusi. Esmapilgul ei paista ühtegi põhjust, miks ei võiks kasutada oma toodetud rukist või maisisilo, kuigi on saadaval biojäätmekasutusest kogustes. Biojäätmekasutuse loobumisel teeniks selline tehas aastas 80 000 € kasumit, kuna juurde saadakse taastuvate energiataimede boonust.

Tabel 8-12: Mudeltehaste kalkulatsioonid

Muutujad	Mõõtühik	Mudel I	Mudel II	Mudel III	Mudel IV	Mudel V	Mudel VI
<b>Substraadid</b>							
Veiseläga	t KA/a	2160		4536	36 000	9360	9360
Sealäga	t KA/a		1728	1728		3456	3456
Söödajäätmed	t KA/a	22		46	365	95	95
Allapanu	t KA/a	0					
Maisisilo	t KA/a	600	600	1000		2500	1700
Rohusilo	t KA/a	400		200		1500	
Rukis 40% oma, 60% ostetud	t KA/a		250	365		500	1500
Rasvajäägid	t KA/a						1000
Söögijäätmed	t KA/a						3000
Summa	t KA/a t KA/päevas	3182 8,7	2578 7,1	7875 21,6	36 365 99,6	17411 47,7	20 111 55,1
<b>Sisendid</b>							
Keskm. KA sisaldus sisendites	%	16,8	20,1	15,7	9,1	16,4	17,5
KA $\emptyset$ teor. lagunemiskraad	%	63,2	79,0	67,0	37,8	66,6	75,5
Käärimiskambri viibeaeg	päeva	43	60	43	30	45	48
Käärimiskambri netoruumala	m <sup>3</sup>	375	424	928	2999	2147	2645
Käärimiskambri brutoruumala	m <sup>3</sup>	420	480	1100	3300	2400	3000
Ruumi kasutus	kg org. KA/m <sup>3</sup> päevas	3,2	2,9	3,0	2,3	3,0	3,1
Käärimistemperatuur	°C	38	38	38	38	38	38
Sisestatava substraadi temp.	°C	12	12	12	12	12	12
Lisa lägahoidla (arvestamata loomaläga)	m <sup>3</sup>	410	270	530	0	1700	2770
<b>Väljund</b>							
Loodetav gaasi kogus	m <sup>3</sup> N/a	233 490	295 681	578 634	823 160	1 319 724	1 919 534
Oodatav CH <sub>4</sub> sis.	%	53,4	53,0	53,2	54,8	53,4	55,0
Gaasi tootmise katkemine	päeva/a	5	5	5	5	5	5
CH <sub>4</sub> tootmine	m <sup>3</sup> N/a	122 869	154 649	303 585	445 311	695 010	1 040 840
CH <sub>4</sub> tootmine	m <sup>3</sup> N/a	337	424	832	1220	1904	2852
Kütteväärtus	kWh/m <sup>3</sup> N	10	10	10	10	10	10
Biogaasi brutoenergia	kWh/a	1 228 689	1 546 488	3 035 848	4 453 107	6 950 103	10 408 399
<b>SEK</b>							
Mudel		Sädesüütega diiselmootor				Gaas-ottomootor	
El. kasutegur tootja järgi	%	33	35	36	37	39	40
Soojuslik kasutegur tootja järgi	%	50	49	48	47	50	53
Elektri suhtarv		0,66	0,72	0,76	0,80	0,77	0,75
Mootori tööaeg	h/a	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Reaalne elektriline kasutegur	%	30	32	33	34	35	36
Reaalne soojuslik kasutegur	%	40	39	38	38	40	42
Süüteõli osakaal	%	10	10	10	10	Ei kasutata	
Süüteõli kogus	l/a	13 652	17 183	33 732	49 479		
Süüteõli kütteväärtus	kWh/l	10	10	10	10		
Süüteõli brutoenergia	kWh/a	136 521	171 832	337 316	494 790		
Kogu brutoenergia	kWh/a	1 365 210	1 718 320	3 373 164	4 947 896	6 950 103	10 408 399
Arvutuslik võimsus	kW	51	69	139	210	304	468
Installeeritud võimsus	kW	55	75	150	220	330	500
<b>Energia tootmine</b>							
Kogu brutoenergia	kWh/a	1 365 210	1 718 320	3 373 164	4 947 896	6 950 103	10 408 399
Sellest elekter	kWh <sub>el</sub> /a	409 563	549 862	1 113 144	1 682 285	2 432 536	3 747 024
	kWh <sub>el</sub> /päev	1122	1506	3050	4609	6664	10 266
Sellest soojus	kWh <sub>soojus</sub> /a	546 084	673 581	1 295 295	1 880 201	2 780 041	4 413 161

Muutujad	Mõõtühik	Mudel I	Mudel II	Mudel III	Mudel IV	Mudel V	Mudel VI
Elektri tarbimine							
Protsessi elektrienergia	% toodetust kWh/a	3 12 287	4 21 994	5 55 657	5 84 114	6 145 952	7 262 292
Protsessi soojusenergia	kWh/a	28 152 400	20 136 400	27 355 500	78 1 461 400	27 747 000	40 1 765 300
<b>Investeering</b>							
Käärimiskambri m <sup>3</sup> kohta	€/m <sup>3</sup>	564	575	399	191	286	340
Sellest tehnika osakaal	%	40	40	40	40	40	40
Lisainvesteering mootoris	€/kW	150	150	100	100	240	160
Koguinvesteering	€ €/kW €/m <sup>3</sup>	245 057 4456 583	287 100 3828 598	453 976 3027 413	653 400 2970 198	765 050 2318 319	1 098 900 2198 366
<b>Tulud</b>							
Elektri hind	ct/kWh	17,50	17,50	17,50	17,15	16,76	10,46
Sissetulek elektri müügist	€/a	<b>71 674</b>	<b>96 226</b>	<b>194 800</b>	<b>288 507</b>	<b>407 797</b>	<b>391 979</b>
Kütteõli hind	ct/l	40	40	35	35	40	40
Elamu subsideeritud kütteõli osa	l/a	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Subsideeritud kütteõlist kokkuhoid	€/a	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1050</b>	<b>1050</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>
Soojuse müük ja kasutamine	kWh/a	-	-	526 274	-	-	-
Soojuse hind	ct/kWh	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Sissetulek soojuse müügist	€/a	-	-	<b>13 157</b>	-	-	-
Boonus soojuse müügist	€/a	<b>396</b>	<b>431</b>	<b>8414</b>	<b>477</b>	<b>462</b>	<b>448</b>
Soojuse kasutus ilma protsessi soojuseta	kasut. % toodetud energiast	5,5%	4,5%	42,9%	1,6%	1,1%	0,7%
<b>Kogu sissetulek</b>	€/a	<b>73 270</b>	<b>97 857</b>	<b>217 421</b>	<b>290 035</b>	<b>409 459</b>	<b>393 628</b>
<b>Kulud</b>							
Põhivara amortisatsioon	%	5	5	5	5	5	5
Tehnika amortisatsioon	%	10	10	10	10	10	10
Mootori amortisatsioon	%	22	22	22	22	22	22
GOM amortisatsioon	%	11	11	11	11	11	11
<b>Amortisatsioon</b>	€/a	<b>18 410</b>	<b>21 810</b>	<b>34 062</b>	<b>49 087</b>	<b>56 810</b>	<b>80 212</b>
Intressid	%	6	6	6	6	6	6
<b>Intressid</b>	€/a	<b>7352</b>	<b>8613</b>	<b>13 619</b>	<b>19 602</b>	<b>22 952</b>	<b>32 967</b>
Kindlustus	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Kindlustus</b>	€/a	<b>1225</b>	<b>1436</b>	<b>2270</b>	<b>3267</b>	<b>3825</b>	<b>5495</b>
Põhivara remont	%	2	2	2	2	2	2
Tehnika remont	%	3	3	3	3	3	3
Sädesüütega diiselmootori remont	ct/kWh <sub>el</sub>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
GOM remont	ct/kWh <sub>el</sub>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Remondid</b>	€	<b>7322</b>	<b>8820</b>	<b>14 988</b>	<b>21 883</b>	<b>26 191</b>	<b>39 442</b>
<b>Süüteõli maksumus</b>	€/a	<b>5461</b>	<b>6873</b>	<b>11 806</b>	<b>17 318</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Biogaasi tehase jälgimine	Tööjõu tunde/a	365	548	1095	730	1095	1825
Palk	€/h	15	15	15	15	15	15
<b>Palk</b>	€/a	<b>5475</b>	<b>8213</b>	<b>16 425</b>	<b>10 950</b>	<b>16 425</b>	<b>27 375</b>
<b>Tehase kulud</b>	€/a	<b>-46 473</b>	<b>-57 963</b>	<b>-98 736</b>	<b>-130 518</b>	<b>-140 797</b>	<b>-211 719</b>
<b>Tooraine maksumus</b>	€/a	<b>-36 016</b>	<b>-44 851</b>	<b>-78 024</b>	<b>0</b>	<b>-195 255</b>	<b>-243 082</b>
<b>Väärtus väetisena</b>	€/a	<b>6142</b>	<b>5609</b>	<b>10 473</b>	<b>0</b>	<b>30 005</b>	<b>38 877</b>
<b>Ettevõtluse tulem</b>	€/a	<b>-3077</b>	<b>651</b>	<b>51 134</b>	<b>159 517</b>	<b>103 413</b>	<b>-22 297</b>
<b>Elektri tootmise kulud</b>	ct/kWh <sub>el</sub>	<b>20,14</b>	<b>18,70</b>	<b>15,88</b>	<b>7,76</b>	<b>13,81</b>	<b>12,14</b>

### 8.13 Tundlikkuse analüüs

Sensitiivsuse analüüs peaks näitama, kuidas ettevõtluse tulem muudab mudeltest, kui üksikud mudelit iseloomustavad väärtused ületatakse või jäävad saavutamata. Olulisemate mõjufaktorite tulemused on toodud tabelis 8-13. Nende järgi paranevad muidu samade tingimuste juures tulemused, nt tehase nr. 1 puhul suureneb sissetulek 6830 €, kui suureneb SEK elektriline kasutegur 10% võrra, võrreldes arvutustes kasutatud kasuteguriga (kasutegur 33% 30% asemel). Kahjumist sai sellega 3753 € kasum. Kui tegelikkuses aga saadakse 10% võrra väiksem kasutegur, siis suureneb kahjum veelgi 6830 € võrra. Sarnaselt saab ka interpreteerida teisi parameetreid.

Tabel 8-13: Oluliste parameetrite mõju majanduslikkusele mudeltest

Parameeter	Muutus	Mudeltest tulemused €/aastas					
		Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3	Mudel 4	Mudel 5	Mudel 6
<b>Elektriline kasutegur</b>	±10%	6 830	9 159	18 400	24 943	37 425	32 798
<b>Gaasi kogus</b>	±10%	6 284	8 472	17 219	23 211	37 154	32 661
<b>Metaani sisaldus</b>	±10%	6 284	8 472	17 219	23 211	37 154	32 661
<b>Tooraine maksumus</b>	±10%	3 602	4 485	7 802	0	19 526	24 308
<b>Tehase ehitamise kulud</b>	±10%	3 267	3 848	6 049	8 711	10 005	14 313

Sensitiivsuse analüüs näitab, et ka mudeleid 1 ja 6 saab samade tingimuste juures majanduslikult edukalt tööle panna. Oodatud kahjumi asemel saab tekitada kasumit, selleks piisab ühest jõudluse parameetrist, mida parendada 10% võrra, ilma et teised halveneksid.

Ilmselt on võimatu elektrilist kasutegurit suurendada 10% võrra, kuna see on juba küllaltki kõrgelt hinnatud. Metaani sisaldust saab olenevalt kasutatud substraatidest vähe muuta. Kokku on võimalik hoida substraatide maksumuse pealt. Ka ehitamise koha pealt saab kindlasti rohkem, kui 10% kokku hoida. Reaalne on hea protsessi juhtimise tulemusena suurendada gaasi kogust üle 10%.

### 8.14 Kasutatud kirjandus

- /8-1/ Fachverband Biogas (2004) – persönliche Mitteilung
- /8-2/ Mitterleitner, H. (2003) – persönliche Mitteilung
- /8-3/ Mitterleitner, H. (2003) – persönliche Mitteilung
- /8-4/ Reinhold, G. (2003) – persönliche Mitteilung
- /8-5/ Keymer, U.; Schilcher, A. (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten in Biogasanlagen vergärbarer Substrate. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising
- /8-6/ Rutzmoser, K.; Spann, B. (2001): Zielwert Futteroptimierung. Bayerische Landesanstalt für Tierzucht, Grub
- /8-7/ Baserga, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512, Tänikon, Schweiz



# Projekti elluviimine

Selles peatükis käsitleme projekti kõiki etappe, alustades majandusanalüüsist kuni töötava tehase vastuvõtmiseni. Projekti üksikud etapid on esitletud joonisel 9-1:

Saamaks piisav ülevaade projekti üksikute etappide realiseerimisest ja üksikute olulisemate tööde detailidest, tuleb teil järgneva peatükiga tutvuda.

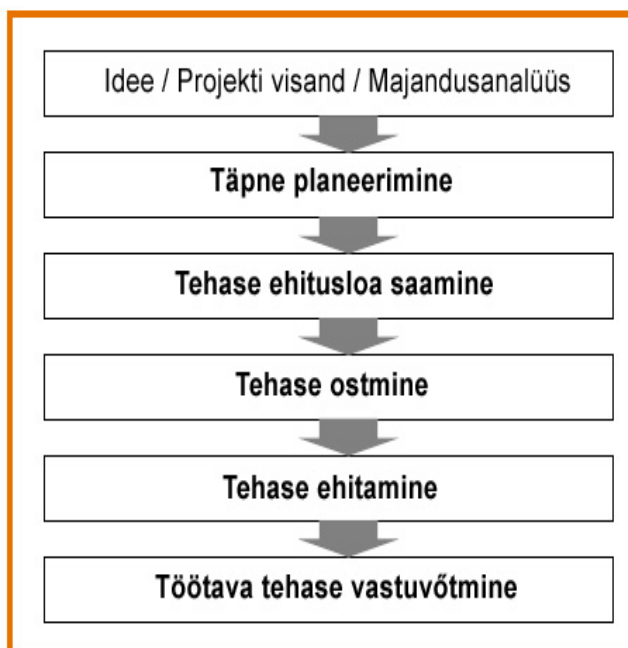
## 9.1 Idee ja projekti visand

Kui on sündinud idee ehitada biogaasi- tehas, siis on vaja projekti initsiaatoril olemasolevad andmed kanda projekti visandisse, et saada esimene võimalus projekti analüüsimiseks. Projekti visand on hinnangute aluseks ja põhimõttelisteks võimalusteks projekti finantseerida, esimesteks uuteks kontaktideks selles valdkonnas ja toetusrahade võimaluste otsimiseks.

Projekti visand on tähtis punkt ettevalmistuses ja oluline edasiseks hinnanguks kogu süsteemile, alustades substraatide tootmisest, muresemisest, ettevalmistusest, käärimisprotsessist ja ka elektri müümisest.

Järgmised aspektid on vaja projekti visandis läbi arvutada, näiteks selle käsiraamatu abiga /9-3/:

1. Millised substraadid on kasutada ning panna kokku biomassi tootmiskettide skeem;
2. Väga üldine tehase tehniline lahendus ja suurus;
3. Üle vaadata, kas on selleks piisavalt maad;
4. Kindlaks teha substraatide kogused;
5. Leida võimalikud kulude põhjused ja suurus, toetusmeetmete olemasolu ja koostada majanduslik tasuvusarvestus;
6. Hinnata, kas saadakse ehitusluba ja muud vajalikud kooskõlastused.



Joonis 9-1: Biogaasitehase projekti ellu rakendamise etapid.

## 9.2 Täpsema planeerimise etapp

Selles planeerimise etapis tuleb tähelepanu pöörata järgnevatele punktidele:

### 1. samm: Majandusliku bilansi koostamine ja selle ülevaatus

Kasutuses olevate substraatide pikaajaline kasutusvõimaluse kontrollimine

Millised ettevõttes olevad substraadid on pikaajaliselt kasutatavad?  
Kas ettevõttes muudetakse midagi lähemas või pikemas perspektiivis?  
Millised mõjud võivad minu biogaasijaama mõjutada?  
(bioloogilis/ainelised, tehnilised, energeetilised)  
Kas mul on võimalik substraate ka väljaspool ettevõtet pikaajaliselt kasutada?  
Kas neid substraate on ka seaduslikes raamidest tasuv kasutada?  
(suhtelisuse küsimus)

Kontrollida vajaliku tööaja lahendamise võimalusi	Igapäevase rutiinse töö tegemise aja vajadus, kontrollimiseks ja hooldustöödeks vajaliku aja olemasolu, töö tegijate olemasolu: Kas see on minu ettevõtte arengusuunaga ühildatav? Milline töösuhe on perekondlikult võimalik? (nt ettevõtte järglane) Kas on vaja väljast tööjõudu sisse osta?
Võimalus soojuse kasutamiseks	Kas tekkinud soojust on oma ettevõttes võimalik kasutada? Kas selleks vajalikud ümberehitustööd on tasuvad? Kas on võimalusi soojuse müügiks? Millised soojakogused on võimalik igakuiselt välja müüa?
Biogaasi tehaste külastamine	Tehaste külastamine kogemuste ja teadmiste saamiseks: Millised tehnilised ja ehituslikud lahendused on turul saadavad? Kus võivad tekkida ehituslikud ja tehnilised probleemid? Kuidas on need probleemid lahendatavad? Millised on teiste tehaste omanike kogemused erinevate komponentide/substraadi kombinatsioonidega?
Võimalikud rahalised vood	„Rünnak kassale” ? Milliste sissetulekutega ma võin arvestada? Kas need võivad tulevikus muutuda muutunud situatsiooni taustal?
<b>1. sammu eesmärk</b>	- <b>Esmane hinnang võimalikule ettevõtmistele</b> - <b>Ülevaade turust – mida pakutakse turul tehnilistest lahendustest, agregaatidest</b>
<b>2. samm: Ehitusliku kontsepti areng</b>	
Tellida kogenud ja tõsiseltvõetav planeerija, planeeringu eesmärgi püstitus ja leida kogenud ja tõsine tehase ehitaja Kontakti leidmine vastava nõustajaga	Nendel isikutel on edasisele projekti planeeringule ja arengule väga suur mõju ja nad on igas järgnevas etapis rakendatud. Nemad juhivad kogu kooskõlastusprotsessi ehituslubade saamiseks. Neil on kogemused ehitusel ja biogaasijaama töötamisel ning nad oskavad soovitusi jagada ehitusplatsi valikuks ja muudeks olulisteks aspektideks.
Välja valida konstruktsioonid ja tehnoloogiad ning tehase suurusjärk	Kohalike tingimuste definitsioon, maa hea kasutamine Koha valik (abimaterjalid: ettevõtte asupaik, hoonete asumine, hooned, siloks vajalikud põllud jne.) Vajalik otsus parima ehitusliku konstruktsiooni tehnika kohta, arvestades tekkivaid muutusi ettevõttes ja biogaasi tootmisest tulenevaid struktuuri- muutusi Vastavalt potentsiaali analüüsile valida tehase suurus Kuidas tuleb projekt ellu viia? Kas tuleb ehitada „võtmed kätte” põhimõttel? Millised on oma ehituslikud panused ja kui suures ulatuses? Millised tööd jäetakse detailselt teistele teha (nt mullatööd, elektritööd jne.) Ruumi jätta muutusteks!
2. sammu eesmärk	- <b>Ülesannete jagamine kogenud planeerijale</b> - <b>Kontakteeruda vastava eriala nõustajaga</b> - <b>Otsustada ehitatavad konstruktsioonid ja tehnoloogia valik</b> - <b>Ette valmistada eelprojektid lubade taotlemisteks ja nende esitlused</b>
<b>3. samm: Majanduslikkus ja rahastamine</b>	
Detailne kulude plaan koostada	Kui on otsustatud tehnoloogiad ja konstruktsioonid, siis saab ka täpsema detailplaneeringu koostada kuludele. Plaan tuleks nii koostada, et saab igal ajal kontrollida kulusid. Kulud saab jaotada järgnevatesse blokkidesse: - investeeingu suurused üksikutesse komponentidesse - mahakandmine (raamatupidamuslik) - hooldus, remont ja töös hoidmine - intressid - kindlustus



- palgakulud
- investeeringu ja kooskõlastuse maksumus
- planeerimise maksumus
- võrguga ühinemise maksumus
- transpordi maksumus
- üldised kulud (ruumid, telefon jne.)

Üksikute komponentide investeeringute maksumused tuleks välja tuua, oma jõudude kasutamise juures tuleks ka need detailselt lahti kirjutada

Toetuslike võimaluste kindlaks tegemine	Millistes kohtadesse on võimalik investeeringutoetuse projekte kirjutada? Millised on nõudmised toetusrahade kasutamisele? Millised dokumendid peavad olema olemas?
Rahastamine	Kui suure osas vajatakse väljaspoolset finantseerimisabi? Vastavad finantseerimispakkumised tuleb küsida erinevatelt pakkujatelt ja kontrollida neid ka oma ettevõtte situatsioonist lähtuvalt. Rahastamispakkumisi tuleb kindlasti võrrelda.
<b>3. sammu eesmärk</b>	<b>Majanduslikkuse arvestused ja muud eelised esile tuua (lõhn, voolavus jne.)</b> <b>Tulemus – võimalik kontakti leidmine naaberettevõtetega, et</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kasutada lisasubstraate</li> <li>- luua ühistulisi tehaseid</li> </ul> <p>=&gt; Uuenenud majandusanalüüs</p>

#### 4. samm: Kontaktide loomine ja ametkondadega suhtlemine

Kontaktide loomine ametkondadega ja institutsioonidega, et saada ehitusloa	Ümarlaua kohtumine ehituslubade väljastajaga, veterinaarametiga (kui vaja vastavate substraatide puhul), et esitleda oma ehituslikke ja muid eesmärke. See ei ole ainult personaalse kontakti loomine ametkondade esindajatega, vaid räägitakse lahti ka kõik raamtingimused ehitusloa saamiseks. Kas see, mis ees seisab, on ka väliste jõudude jaoks esmatahtis ülesanne? On muutused ja nõudmised vajalikud ja võimalikud? Mis paberid peab tegema? Milliseid andmeid on vaja veel lisaks?
Kontakti loomine elektrivõrgu haldajaga	Kokku leppida isiklik kohtumine, et presenteerida oma plaane elektri tootmiseks. See on vajalik võrguga ühinemise lahtiseletamiseks. Defineeritakse kõige soodsam ühinemispunkt. Võimsuse vajadus, muutused ja laiendused võrgu jaoks on vaja täpselt esitleda, et saada täpne kulude pakkumine selle teostamiseks. Ka seda pakkumist peab võrdlema teiste pakkujatega.
<b>4. sammu eesmärk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Esitleda oma planeeritavat ehitust ametkondadele ja elektrivõrgu haldajale</b></li> <li>- <b>Hinnata lubade ja kooskõlastuste saamise võimalusi, seletada väliseid probleeme ja raamtingimusi, dokumentide esitamine</b></li> <li>- <b>Elektrivõrgu haldajalt küsida pakkumine liitumiseks ja vajaliku läbilaskevõimsuse tagamine</b></li> <li>- <b>Võrrelda erinevaid pakkumisi energiasfirmadelt</b></li> </ul> <p>=&gt; Kalkuleerida tekkivate kulude juures ja korrata kolmandat etappi!</p>

### 9.3 Lubade taotlemise planeerimine

Lubade taotlemise planeering hõlmab peamiselt ehitusloaks vajalikku infot ja erineb täpsematest otsustest lõppplaneeringu faasis. Ka selle planeeringufaasi peaksid koostama tehase ehitaja, planeerija ja vastav nõustaja tihedas koostöös.

<b>Ehitusloa taotlemiseks vajalikud andmed</b>	
Taotluse vormid	Vastavad vormid ehitusloa väljastajalt
Nõuetekohane (1:100) asendiplaan	Selleks sobib katastri kaart maaameti poolt väljastatuna. Samuti väljastab vallavalitsus selle kaardi.
Vajalike põldude olemasolu ja nende tõestamine vajadusel	Seda nõutakse osades liidumaades ka nendelt ehitajatelt, kes ei tegele põllumajandusega, vaid ainult ostavad substraate ja müüvad kääritusjääki. See koostatakse planeerija ja vastava nõustaja koostöös
Tehase ja ettevõtte kirjeldus	Planeerijapoolne töö
Plaani koostamine	Planeerijapoolne töö
Detailsed joonised	Planeerijapoolne töö. - Torustiku plaan (substraadile ja gaasile) langusega, voolu suunaga, kasutatavad materjalid - Plahvatusohtlike tsoonide näitamine - Läga, silo ja lisasubstraatide käitlemine ja teed - Masinaruum koos vastavate installeeringutega - Kütetorustikud koos võimalike soojatarijatega - Energiabilanss SEKi töötamisel - Gaasihoidla ja gaasi käitlemise ettevaatusabinõud - Substraadi hoidlad
Biogaasijaama ja korstna suurte komponentide staatika	Selle annavad tehase seadmete tootjad ja müüjad Korstna staatika ja korstna kõrguse määravad vastavad insenerid oma arvutuste alusel
Müra taseme ja lõhna reostuse vältimine	Vastavad load annavad ametkonnad vastavalt kohalikele oludele, tavaliselt on planeerijatel selles küsimuses omad kogemused juba olemas
Tuleohtu vältimine	See koostatakse planeerija või seadmete müüja poolt

<b>Seaduste jälgimine</b>	
Kindlasti tuleb jälgida Eestis kehtivaid ettekirjutusi ja seadusi (käesolev tabel ei vasta originaalallikale, vaid on kohandatud Eesti oludele vastavaks):	
Biomassi kasutamise reeglid	Ettekirjutused läga käitlemise valdkonnast
Ettekirjutused emissioonide valdkonnast	- Veekaitsenõuded väetise- ja sõnnikuhooldatele ning siloladustamiskohtadele ja mineraalväetiste, sõnniku ning silomahla kasutamise ja hoidmise nõuded;
- Välisõhu kaitse seadus;	- Väetiseseadus;
- Vabariigi Valitsuse määrus: „Vääveldioksiidi, lämmastikoksiidide, lenduvate orgaaniliste ühendite ja ammoniaagi heitmete summaarsed piirkogused ja nende saavutamise tähtajad”;	- Sõnniku koostise nõuded (Veeseaduse alusel);
- Keskkonnaministri määrus: „Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid”;	- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 2003/2003, 13. oktoober 2003, väetiste kohta;
- Keskkonnaministri määrus: „Välisõhu saastatuse taseme piir-, sihtväärtused ja saastetaluvuse piirmäärad, saasteainete sisalduse häiretasemed ja kaugemad eesmärgid ning saasteainete sisaldusest teavitamise tase”;	- Nõuded väetise koostisele väetise liikide kaupa.
- Saastuse kompleksse vältimise ja kontrollimise seadus;	Reeglid jäätmekäitluse valdkonnast – Jäätmeseadus
	Vee kasutuse reeglistik - Veeseadus;
	- Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala kaitse eeskiri;
	Looduskaitseadusest tulenevad piirangud
	Biogaasitehase ohutusnõuete ettekirjutused
	Tööohutuse ettekirjutused: – Töötervishoiu ja tööohutuse seadus;

## 9.4 Tehase ostmine

Eduka planeerimise etapi lõpetab lepingu sõlmimine tehase ehitamiseks st leping tehase ostmiseks mingilt firmalt. Kõikvõimalikud lepingud, mis koostatakse ehituse algusest kuni tehase tööle hakkamiseni, tuleb sõlmida, arvestades üldisi häid tavaid. Selleks tuleb järgida järgmisi punkte /9-1/:

- 1) lepingut sõlmitakse ainult sellise partneriga, kellega on oodata head koostööd;
- 2) lepingud formuleeritakse nii, et ei tekiks tunne, nagu oleks teil partneriga „kana kitkuda”;
- 3) väldi lepingut, mis partnerit nõõrib, ainult see on hea leping, mis annab mõlemale poolele eeliseid. Ja ainult head lepingud motiveerivad partnereid head koostööd tegema.

Ükski väga hea leping ei asenda väga head usaldust ülesande andja ja täitja vahel.

Põhimõtteliselt saab lepinguid sõlmida ka seadmete ostmiseks või biogaasijaama ehitusjärgude kaupa. Ostuleping olgu aga üks kompleksne asi, et ei tekiks vastuolusid üksikute komponentide soetamisel, kuna need ei pruugi omavahel kokku sobida.

Lepingute lõpetamisel üksikute komponentide puhul või siis terve tehase puhul on vaja järgida, et peatöövõtja, see kes töötava tehase üle annab, on vastutav kõikide ehituslike etappide eest kuni tehase üleandamiseni. Kui aga üksikkomponentide soetamise lepingud on ülesande andja poolsed, siis muidugi on ka ta ise nende eest vastutav.

### Üldised ja organisatoorsed reeglid

Järgmised üldised ja organisatoorsed ettepanekud peaksid biogaasijaama puudutavates lepingutes jälgima järgmist:

- üldisi tingimusi kasutada kokkuhoidvalt, et vähendada igasuguseid mänguruume;
- üldisi ärireegleid, mis tavaliselt kajastuvad lepingutes, peab jälgima ka ülesande andja;
- pakkumised koos oma täpsete kehtivusandmetega võib teha ka lepingu osaks, sellisel juhul peab pakkumine sisaldama kõiki töötamiseks vajalikke spetsiifilisi komponente;
- ülesannete jagamisel ehituse ajal ja tehase katsetuse järgus tuleb selgeks teha, kes millal vastutab;
- defineerida eesoleva ehituse juhtimise mõiste;
- reguleerida, kui palju vajatakse maad ehituse läbiviimiseks;
- reguleerida tehase osade vastuvõtmine ja ka tehase vastuvõtmine;
- reguleerida võimalike muutuste tegemise kord;
- võimaliku finantsabi integreerimine rahastamisse;
- suurema töömahu korral saada tehtud töö eest õiglast tasu;
- lisaks veel klausel, et kõik lepinguid puudutavad muutused tuleb kirjalikult fikseerida;
- lisaks veel klausel, et üksikutel osadel probleemide tekkimisel ei muutu koheselt kogu leping.

### Tähtajad

Ka siin on soovitusi, mis peaksid olema lepingus käsitletud:

- aeg, millal antakse tehas tellijale üle;
- terminid üksikute komponentide kohale toimetamiseks või ehitusjärgude lõpetamiseks, proovikäivitamisest jms.;
- mõlemapoolsed leppetrahvide suurused;
- tasud ka mingite ülesannete mittetäitmise eest.

### Panustatav töö

Järgnevad soovitusid on meeldetuletuseks otseste töötulemuste saavutamiseks biogaasi tehase ehitamisel:

- andmed ja kohustused planeerijale, mis sätestatakse lepingus ja mis peavad olema saavutatud;
- ehitajatöö panustamine (vee ja kanalisatsiooni jaoks, elektrienergia, telefoni, tualettide, juurdepääsuteede ja puhkeala rajamisse ehituse ajal);
- täpsed kokkulepped kattuvatel tööaladel (oma töö/tellitav töö);
- täpselt kokkulepitud kasutuskogused (küte, elekter, vesi, kanalisatsioon) ja ehitajapoolsed panused nende tarbimisel;
- lepingus garanteeritud tööpanuse täpne kirjeldus;
- oma tehnikaga teostatud töö tõendamise vastavalt tunnustatud reeglitele;
- spetsifikatsioonid tüüpidele, jõudlustele, materjalidega ja tootja firma komponentidele;
- selge definitsioon kasutatavatele materjalidele koos nende omadustega ja defineerida materjalid, mida kindlasti ei või kasutada;
- kogu biogaasijaama töös oluliste komponentide proovimine enne seadmete saatmist tellijale;
- vajadusel müra ja muude emisioonide väärtused;
- võib-olla ka tulevase tehase töötajate koolitus;

- tehasele vajaliku dokumentatsiooni saatmine, kasutusjuhendid;
- võimalik juhendamine ka pärast tehase üleandmist;
- rakendada vajalikud mõõtmised ja proovide võtmine (lõhn, müra, staatika);
- elektrivõrguga ühinemine;
- ehitusjäätmete kõrvaldamine ja haljastustööd;
- tehnilise ja bioloogilise töö alustamine.

### Maksed

Lepingu sõlmimisel on tähtis maksete teostamine ja sellega seonduvad kokkulepped

- nõustuda pakutavates maksetingimustes;
- andmed maksete kohta, üksikute komponentide hinnad ja ehitusjärgude hinnad;
- maksete plaan;
- tasustamise viis (kindel hind, maksed vastavalt teostatud töödele), reeglid maksetele, mis ei ole lepingus kokku lepitud;
- maksegraafiku kokkulepe (võib olla ka sõltumatu lepingutest);
- reeglid mittekorrektsete maksete teostamise korral;
- reeglid hinnaalanduste kohta.

### Garantii ja vastutus

Lepingutes on kindlasti punktid ka vastutuse ja tagatiste kohta, nende kirjutamisel peaks meeles pidama järgnevaid punkte:

- kindel eristatavus tellitud ja oma tehtud tööde vahel;
- reeglid tagatistele erinevatel ehitusetappidel (ehitusfaasid, tehase vastuvõtmisel ja proovitöö ajal);
- suurusjärg garantiiile ja hilisemateks parandustöödeks (nt miinimumgaasi kogus);
- kindlustus peaehitustöövõtjale võib kasulikuks osutuda;
- vastutus ehitusplatsil oleva liikluse ja sõidetavuse kohta;
- reeglid, kui kaua kehtivad tagatised (nt hooldused, lisainstallatsioonid jne.);
- reeglid tagatistööde suuruste kohta (taandatuna üksikutele osadele).

### Lepingute mittetäitmine ja ülesütlemine

Juhuks, kui üks pool ei suuda täita kohustusi, on vaja lepingute sõlmimisel pöörata tähelepanu järgnevale:

- piisavalt suur varu erinevateks arusaamadeks, et lepingut ei peaks kohtus edasi arutama /9-2/;
- reeglid, kui partner peaks lepingust loobuma;
- reeglid täitmata jäänud maksetähtaegade juhuks;
- leppetrahvid.

## 9.5 Tehase ehitus

1. samm: Ehitusliku kontsepti areng	
Teostusplaani väljatöötamine	Kui biogaasijaama plaan on vaid 1:100, siis juhtub tihti nii, et tulevad muutused, esmalt juba ehitusplatsikoha leidmisega. Üks detailne teostusplaani, nt elektri ja kütteinstallatsioonide jaoks, vähendab spontaanseid otsuseid ehituse protsessis. Sellest tulenevad paralleelsed või järgnevad muutused võivad põhjustada ehituse kallinemise.
Plaan ehituse kulgemiseks	Planeerija poolt alustatud plaan näitab, mis järjekorras peab töid teostama, et kõik sujuks tõrgeteta. Erinevate tööjärgude üksteisest sõltuvus ja järgnevus (ettevalmistus-, teostustööd ja kuivamise aeg) ja kitsaskohad tuleb välja tuua. Plaanis peavad kajastuma puhkepäevad ja muud välja langevad ajad ja ka enda tööaeg.
<b>1. sammu eesmärk</b>	<b>- Detailne planeerimine;</b> <b>- Kõike hõlmav ehituse kulgemise plaan.</b>
2. samm: Oma tööpanuste otsustamine	
Oma jõu, oskuste ja ajalimiidi hindamine	Millise oma panuse suudan ma kõrge kvaliteediga anda? Milline oma töö on suurem kulude kokkuhoid ilma, et väheneks kvaliteet?

	<p>Millal peaks ehitus algama?          Kas mul on aega nende tööde teostamiseks ka ajaliselt kõrvuti minu ettevõtte teiste töödega?          Millist abi suudan ma organiseerida?          Kui suur ja millal on minu ajakulu?</p>
Oma tööpanused leppida kokku planeerijaga	Planeerijale on tööde teostamise kontroll on suurem kui tavaliselt, sinna saab ka oma tööd panustada ja see on väga oluline. Oma panustatud töödele kulub rohkem aega ja see on vajalik kindlasti kokku leppida planeerijaga
Defineerida kattuvad tööalad	Iga töö omab kattuvaid ja mitte kattuvaid tööloike eelnevatele, järgnevatele, paralleelsetele töödele (ettevalmistuse, teostamise ja kuivamise ajad) Eriti oluline on arvestada kui suur on enda panus tööloikudesse ja kui suur ettevõtja osa. Kui organiseerimise või töö teostamise aegadesse tulevad ajapikendused, siis viib see ajaplaani nihkumiseni, lisakulutusteni ja vastutuse probleemideni
<b>2. sammu eesmärk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oskuste hindamine;</li> <li>- Oma aja hindamine;</li> <li>- Oma tööde kokkuleppimine planeerijaga ja ehituse kulgemise plaani kajastamine;</li> <li>- Leida kattuvad kohad teiste ja oma töödega.</li> </ul>
<b>3. samm: Peamiste tööde jagamine</b>	
Peatööde jagamine	Kooskõlastatuna planeerijaga antakse peamised tööd lepingutega tööde teostajatele Otsida alternatiivseid teostajaid ja mitte kergekäeliselt anda tööd ära Valida kohalike pakkujate suurem hind, kuna nemad jõuavad kiiremini töökohale hoolduse ja kontrollimise teostamiseks
<b>4. samm: Ehitusplatsi ettevalmistamine</b>	
Ehitusplatsi organiseerimine ja kindlustamine	Kindlustada ehitusplats (tarastada või sildistada). Suletavad paigad ehitusmaterjalide ladustamiseks, tualettidele. Vastutuse mõlema eelneva punkti kohta saab ka tööde teostaja õlule panna. Ehitusettevõtja peaks kindlasti sõlmima kõikvõimalikud kindlustused, millest osa jääb töö tellija maksta. Vesi ja elekter on ehitusplatsil vajalikud. Kui minnakse üle ehitusplatsi piiride, võib ohutustehnika ja töötervisekaitse järgi panna rahalisi kohustusi tööde teostajale
<b>4. sammu eesmärk</b>	<b>Ehitusplatsi organiseerimine ja kindlustamine</b>
<b>5. samm: Ehituse järgus kvaliteedi tagamine</b>	
Ülesande andmise ka kvaliteedi kriteeriumid edastada ja neid kontrollida	Kvaliteedi kontroll hakkab siduvate kvaliteedistandardite olemasolust Kontrollida, kas on kasutusele võetud materjalid, mis on planeeritud.
Ehitusplatsil pidevalt viibimine ja ehituspäeviku täitmine	Ehitusplatsi tuleb iga päev külastada siis, kui töölised juba või veel ehitusplatsil on. Siis olete te kui partner küsimuste esitamiseks alati olemas. Teie märkused ja tähelepanekud peavad olema ehituspäevikus kajastatud. Sinna juurde kuuluvad ka probleemide, puuduste kirjeldused ja millised on olnud lahendused. Siia saab ka lisana juurde panna dokumente maksuametile!
Dokumentatsioon	Pildistamist tuleks alati kasutada ehituse juures kasutatud materjalide, installeeringute juures.
Noomida ehitusvigade eest ja lasta need kõrvaldada	Äratuntavad puudused peavad saama koheselt kirjaliku noomituse, kui neid jooksvalt ei parandata. Ainult nii saavutate oma õigusliku positsiooni ja puuduste õigeaegse kõrvaldamise tööliste poolt. Teil on ka võimalus lasta puudused

	<p>kõrvaldada kolmandal osapoolel. Ehituslikud puudused, mis koheselt kõrvaldatakse, väldivad hilisemaid järelprobleeme. Kui puudusi ei kõrvaldata koheselt, siis viib see ajaplaanis kaoseni. See maksab aga aega, närvide kulu ja raha.</p>
<b>5. sammu eesmärk</b>	<p><b>- Kontrollida materjale ja tööde graafikus pidamist</b>  <b>- Igapäevane ehitusplatsi külastus</b>  <b>- Ehituspäevikut täita ja kõike fotodega dokumenteerida</b>  <b>- Ehituslikud puudused tuua kiiresti välja ja lasta kiiresti kõrvaldada</b></p>
<b>6. samm: Kasutusse võtmine, proovitööd ja valmis tehase ülevõtmine</b>	
Ekspluatatsiooni võtmine	<p>Ekspluatatsiooni võtmise ülesandeks on üle kontrollida kõikide agregaatide töötamine. Kui on võimalik, siis kontrollitakse ka kõiki võimalikke juhtimis- ja häiresignaale.  Biogaasijaama ekspluatatsiooni võtmine tehniliselt võib toimuda nn „külmalt“ ehk käärimisanuma vedelikupidamise katsetamisel veega. Selle käigus saab proovida erinevaid sensoreid, nt täituvuse sensorit, et kas see hakkab tööle veetaseme teatud nivooi tõusmisel. Ülejäänud mõõtmisagregaate saab alles töö käigus kontrollida, nt üle- ja alarõhu ventiile.  Ka saab ekspluatatsiooni võtta üksikuid tehase komponente, nt pumпасid, siibreid ning SEKi mootorit kasutada süüteõli ja maagaasiga.  „Sooja“ ehk bioloogilisse kasutusse võtmine toimub substraatidega täitmisel ja massi ülessoojendamisega ja on sujuv üleminek proovitöötamisest tehase tööle.</p>
Proovitöötamine	<p>Proovitöötamist tuleb võtta kui „käimajooksmist“, et vaadata, kas kõik agregaadid on töökorras ja võimelised ka suuremate koormustega ning pikemaajaliselt töötama. Kui pikk on aeg, kuni tootjad ja ehitajad vastutavad ühe või teise asja eest, on individuaalne ja peaks olema eelnevalt kokku lepitud.  Seejuures peab arvestama, et proovitöö kestab tavaliselt mitmeid kuid ja selle aja jooksul tekkivad kulud peaks olema tehase ehitaja või agregaatide tootja poolsed.  Seega on see natukene ennustamine, kui kaua võtab aega, et tekiks stabiilne mikroobide populatsioon ja sellega koos ka stabiilne käärimisprotsess. Alles siis saab testida tehase jõudlust. Selleks kulub aeg on suuresti sõltuv kasutatavate substraatide segust – lühem stabiilsete substraatide puhul ja pikem ebastabiilsete ning muutuvate segude puhul. Seega peaks pidevalt käima analüüs kasutamise ja kulude kohta, et proovimine liiga pikaks ei veniks ning asjatuid kulutusi ei tekitaks ja sellegi poolest pakuks piisavalt aega jõudluse ja töökindluse kontrollimiseks.  Alles pärast edukat prooviperioodi toimub tehase ülevõtmine või osade ülevõtmine.</p>
Tehase vastuvõtmine	<p>Ärge tehke hinnaalandusi ka vormilise vastuvõtmise juures, isegi kui need on osade vastuvõtmised ja sellele järgnevad edasised ehitustööd. Kui on kindlaks tehtud puudused, siis on nende kõrvaldamine raske, kui puudub vastav vastuvõtuprotokoll.  Vastuvõtuprotokoll ülesanne on välja tuua puudused ning nende puuduste põhjused ja olla hilisemaks tõendusmaterjaliks.  Vastuvõtmisele peab alati kaasama ka vastavaid spetsialiste.  Suurte puuduste puhul saab vastuvõtmis- ja ka viimaseid makseid edasi lükata.  Mitteoluliste puuduste puhul tuleb kuni kolmekordne summa maha arvata viimasest maksest oletatavast puuduse kõrvaldamise maksumusest.  „Võtmed kätte“ tehase ostu korral läheb töötav tehase üle tellijale ja sellega kaasnevad vastavad kohustused ja vastutused.  Kui tehast ehitatakse osade kaupa ja juurdeehitistena, siis ei saa kunagi tervet tehast korraga vastu võtta vaid see toimubki vastava osa valmimise järgi.</p>

<b>6. sammu eesmärk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekspluatatsiooni võtmine</li> <li>- Proovitöötamine, proovi pikkus individuaalselt kokkuleppeline</li> <li>- Biogaasijaama vastuvõtmine või selle osade vastuvõtmine</li> <li>- Kaasata vastuvõtmisse spetsialiste</li> <li>- Esitleda formuleeritud vastuvõtuprotokoll</li> </ul>
-------------------------	---

## 9.6 Tehase töötamine

Et tagada tehase stabiilne töötamine, on vaja jälgida järgnevat nimekirja.

### Üleüldiselt

- tekitada tehase raamat ja seda ka täita (kui on vaja midagi tõestada!);
- töötada välja plaan hädajuhtumiteks ja õnnetusjuhtumiteks;
- töötajate koolitamine ja sissetöötamine.

### Kust saab vajalikke baktereid?

- täita käärituskamber juba laagerdunud lögaga või siis kääritusjäädiga sarnasest tehastest;
- kütta käärituskamber vajaliku temperatuurini (39 kuni 55°C);
- oodata esimese gaasi tekkimist;
- analüüsida esimest gaasi, oodata, kuni metaani sisaldus tõuseb üle 50%;
- analüüsida käärimiskambri sisu laboris (temperatuur, pH väärtus, hapete koostis, lämmastiku ja ammoniumi sisaldus, soolade jäägid) ja kontakteeruda nõustaja, ehitaja või planeerijaga;
- alustada substraadi lisamist.

### Substraadi lisamine

- lisada väikseid koguseid sobivat substraati (nt läga), et vältida bioloogilist ülekoormust → käärimiskambrit läbiv aeg peab olema esimestel nädalatel võimalikult pikk (kuni 120 päeva) → analüüsida käärimiskambri sisust ja tekkinud gaasist määravad ära juurdelisatava substraadi kogused, et väheneks viibeaeg;
- pidev gaasi analüüsimine, et metaani sisaldus ei langeks alla 50%;
- reeglipärane kontroll käärimiskambri sisu üle – analüüsida;
- stabiilse gaasitoodangu juures (nädalaselt suurendamiselt) suurendada aeglaselt päevaseid substraadi koguseid → vähendades käärimiskambri viibeaega u 10% igal korral;

**! Gaasi kvaliteedi halvenemisel, st metaani sisalduse langemisel alla 50%, lõpetada koheselt substraadi lisamine ja analüüsida käärituskambri hapete koostist ja pH väärtust!**  
**! Kui gaasi toodang väheneb, siis lõpetada koheselt substraadi lisamine ja analüüsida käärituskambri hapete koostist ja pH väärtust!**  
**Mitte mingil juhul suurendada substraadi kogust, kuna ilmselt on tegemist liigse käärimisbioloogia ülekoormusega!**  
**! „Küll küllale liiga ei tee” ei kehti biogaasijaama „söötmise” korral!**

- Bioloogilise ülekoormuse korral pikendada käärimiskambri viibeaega vähemalt nädala võrra → jooksev käärimiskambri hapete koostist ja pH väärtust kontrollimine;
- Metaani sisalduse suurenemisel biogaasis alustada jälle vähehaaval substraadi lisamisega → kokkuleppel nõustaja või planeerijaga.

### Gaasihoidla ning soojuste ja elektri koostootmiseade (SEK)

- Reeglipärane tiheduse kontroll;
- Kontrollida ohutusseadmeid;
- **Välisel gaasihoidlal:** kontrollida gaasitorustikku, siibri liikuvust, ummistust, tihedust ja külmumist;
- **Kilehoidlates:** gaasimull peab vaba olema. Hoidlasse ei tohi tungida teravad servad ja kruvid;
- Jooksev gaasi kvaliteedi kontroll (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ja võibolla ka O<sub>2</sub>);
- Bioloogilisel väävlieraldusel kontrollida õhu juurdelisamist (u 3-5% gaasitoodangust);
- Kondensaadi hulka pidevalt kontrollida ja tühjendada;



**! Biogaasijaamad töötavad gaasi rõhuga u 20 mbar! See vastab 20 cm kõrgusele veesambale. Kui torudesse koguneb liiga palju kondensaati, katkeb gaasi liikumine.**

- SEK-i ohutusseadmeid tuleb pidevalt kontrollida ja hooldada (automaatne väljalülitus liiga madala metaani sisalduse tõttu);
- **Gaasimootorite puhul:** gaasisegu ventiili reeglipärane kontrollimine ja hooldusaegadest kinnipidamine;
- **Sädesüütega diiselmootorite puhul:** süüteõli osa pidevalt kontrollida (<10%).

## 9.7 Kasutatud kirjandus

/9-1/ Ullrich, H. (1983): Anlagenbau. Georg-Thieme Verlag, Stuttgart, 1983

/9-2/ VDI (1997): VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.): Vertragsmanagement für energietechnische Anlagen: Planung bis Betrieb. VDI-Bericht 1337, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997

/9-3/ Fichtner GmbH & Co KG, Stuttgart, zitiert in: Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.

# Handreichung

## Biogasgewinnung und -nutzung



Bundesministerium für  
Verbraucherschutz, Ernährung  
und Landwirtschaft

