

Til  
**Miljøstyrelsen**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**Maj 2017**

# **PERFORMANCE BENCH- MARKING ENERGIGEVINST VED EKSTERN BIOMASSE OG ENERGIINDHOLD I ENERGIKILDER**

# PERFORMANCE BENCHMARKING ENERGIGEVINST VED EKSTERN BIOMASSE OG ENERGIINDHOLD I ENERGIKILDER

Revision -  
Dato **2017-05-10**  
Udarbejdet af **TOH/REOM**  
Kontrolleret af **TOH/REOM**  
Godkendt af **Thomas Jensen**

Ref. Energigevinst af biomasse ver2.doc

## INDHOLD

<b>0.</b>	<b>SAMMENFATNING</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>INDLEDNING</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DEFINITIONER OG PRINCIPPER</b>	<b>3</b>
2.1	Opgørelse af nettoenergiforbrug	3
2.2	Principper for opgørelse af energigevinst af ekstern biomasse	4
2.3	Biomasse	4
2.4	Forkortelser og ordforklaringer	5
<b>3.</b>	<b>RÅDNETANKE</b>	<b>5</b>
3.1	Forbehandlingssystemer	5
3.2	Rådnetanksdrift	5
3.3	Gasopgraderingsanlæg	6
3.4	Gasmotordrift	6
3.5	Opgørelse af energigevinst	6
3.6	Tykslam	8
<b>4.</b>	<b>SLAMFORBRÆNDINGSANLÆG</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>ENKELHED ELLER NØJAGTIGHED</b>	<b>11</b>

## BILAG

### Bilag 1

Energikilder til forsyning på renseanlæg

### Bilag 2

Uddrag af excel-model for rimelig teknologi

## 0. SAMMENFATNING

Som led i performancebenchmarking indenfor den danske vandsektor har Miljøstyrelsen udarbejdet "Vejledning om indberetning til performancebenchmarking", Februar 2017 (efterfølgende benævnt "Vejledningen").

I performancebenchmarkingen skal der anvendes data for købt og solgt energi samt angives en energigevinst ved tilførsel af ekstern biomasse til selskabernes renseanlæg.

I nærværende dokument findes tabeller for opgørelse af energigevinsten af ekstern biomasse, der ledes til renseanlæg og tabel for angivelse af andre energikilder.

Energigevinsten skal indgå ved spildevandsselskabernes opgørelse af netto energiforbruget, jf. vejledning om indberetning til performancebenchmarking, udarbejdet af Miljøstyrelsen.

I henhold til Vejledningen opgøres energiforbruget efter nedenstående formel.

Nettoenergiforbrug - Rensning	$\frac{([H] + [I] - [J] - [K] + [N])}{[O]}$	kWh/deb m <sup>3</sup>
-------------------------------	---	------------------------

De parametre, som er relevante for nærværende formål er:

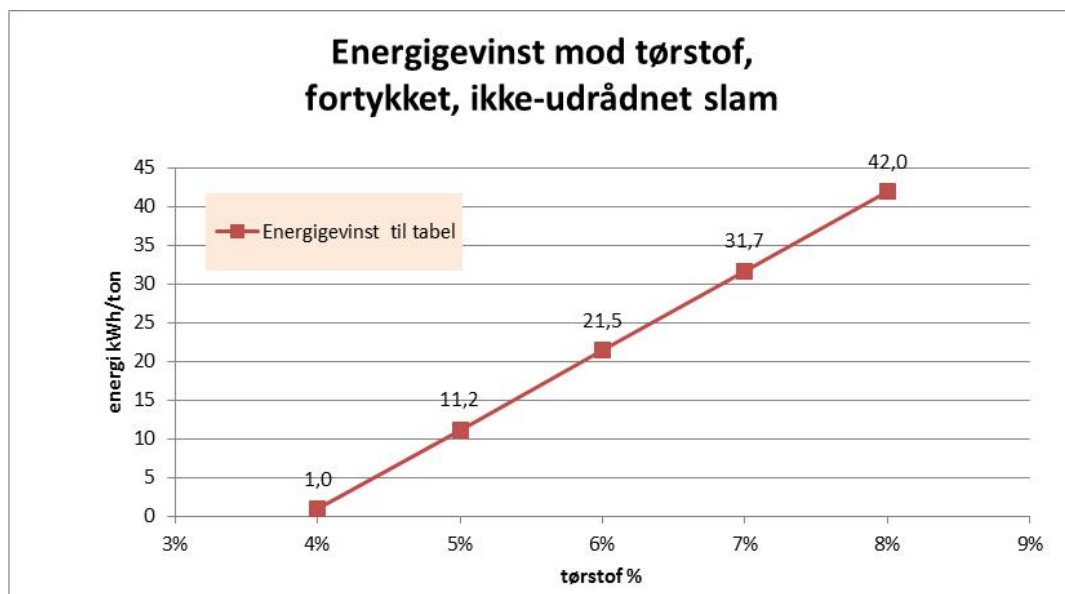
[I]	Købt varme i kWh (heri indgår anden købt energi som fx gas/olie)
[K]	Solgt varme (og biogas og tørret slam) i kWh
[N]	Energigevinst fra ekstern biomasse i kWh

Energigevinsten under parameter [N] medregnes alene for ekstern biomasse, dvs. biomasse der modtages fra kilder uden for eget opland. Som biomasse regnes fx overskudsslam fra andre spildevandsselskaber, septiktankslam, spildevandsrelateret biomasse fra virksomheder udenfor eget opland, biomasse, der ikke er spildevandsrelateret, fx køkkenaffald og organiske restprodukter fra industrier. Energigevinsten aflæses i Tabel 1 og Tabel 2 for henholdsvis tilledning til rådnetank og slamforbrændingsanlæg.

**Tabel 1 Energigevinst for tilførsel af ekstern biomasse til biogasanlæg, jf. parameter [N]**

Type biomasse	Energi-gevinst [kWh/ton våd vægt]
<b>Ikke-udrådnet slam, tykslam *</b>	21,5
<b>Ikke-udrådnet slam, tykslam (tørstof basis) *</b>	358
<b>Kildesorteret organisk dagrenovation (KOD)</b>	345
<b>Have- parkaffald</b>	170
<b>Grøftekanter</b>	205
<b>Fiskeindustri</b>	213
<b>Kartoffelindustri</b>	271
<b>Slagteindustri</b>	32
<b>Mælkeindustri</b>	184
<b>Glycerin</b>	1.793
<b>Affald fra service sektoren</b>	257
<b>Alger</b>	200
<b>Tang</b>	9
<b>Grødeskær</b>	455
<b>Septiktankslam</b>	0
<b>Langtidsbeluftet slam og udrådnet slam</b>	0
<b>Andet</b>	Kan opgøres efter samme principper som i notatet

\*: hvis tørstofindhold kendes, anvendes enten den tørstof-baserede værdi eller der aflæses i Figur 1.



Figur 1 Energigevinst af fortykket, ikke-udrånnet slam.

Tabel 2 Energigevinst for tilførsel af ekstern biomasse til slamforbrændingsanlæg, jf. parameter [N].

Type biomasse	Energi-gevinst I [kWh/ton våd vægt]
<b>Ikke-udrånnet slam (tørstof basis)</b>	358*
<b>Udrånnet slam (15-30 % tørstof)</b>	0
<b>Træflis</b>	2.100
<b>Træpiller</b>	4.560
<b>Halm</b>	3.730

\*: per ton tørstof

Energiindholdet under parameter [I] og [K] anføres med udgangspunkt i Tabel 3.

Tabel 3 Energikilder, varmekilder og brændsler, jf. parameter [I] og [K]

Type	Nedre brændværdi	Nedre brændværdi	Forudsætninger
<b>Metan</b>	35,9 MJ/m <sup>3</sup>	9,97 kWh/m <sup>3</sup>	100 % metan
<b>Naturgas</b>	39,6 MJ/m <sup>3</sup>	11,0 kWh/m <sup>3</sup>	Dansk naturgas
<b>Bygas</b>	20,2 MJ/m <sup>3</sup>	5,61 kWh/m <sup>3</sup>	51 % /49 % naturgas/luft
<b>Biogas</b>	21,5 MJ/m <sup>3</sup>	5,98 kWh/m <sup>3</sup>	60 % metan indhold
<b>Propan (LPG)</b>	46,0 GJ/ton	12,8 MWh/ton	
<b>Gasolie</b>	40,7 GJ/ton	11,3 MWh/ton	
<b>Træpiller</b>	17,5 GJ/ton	4,86 MWh/ton	Vandindhold: 7 %
<b>Halm</b>	14,5 GJ/ton	4,03 MWh/ton	Vandindhold: 15 %
<b>Andre brændsler</b>			Angives efter nedre brændværdi
<b>Fjernvarme</b>			Udnyttet energi angives som målt i kWh.

## 1. INDLEDNING

Som led i performancebenchmarking indenfor den danske vandsektor har Miljøstyrelsen udarbejdet "Vejledning om indberetning til performancebenchmarking", Februar 2017 (efterfølgende benævnt "Vejledningen").

I forbindelse med opgørelse af netto energiforbrug for spildevandsselskaber, ønskes foretaget en korrektion for det bidrag til energiproduktion, som hidrører fra "ekstern" biomasse, forstået som biomasse tilført fra kilder udenfor eget opland.

Formålet med nærværende notat er at udarbejde tabel for opgørelse af energigevinsten ved ekstern biomasse og tabel for andre energikilder. Begge værdier indgår ved indberetningen af performancebenchmark for energi.

Den politiske aftale, som ligger til grund for performancebenchmark, angiver bl.a.: " Den årlige performancebaserede benchmarking skal i størst muligt omfang basere sig på eksisterende data, for derved ikke at pålægge selskaberne nye administrative byrder". Det er derfor vigtigt, at tabellerne er enkle at anvende, således at energigevinsten som hovedregel kan opgøres alene ud fra tilført mængde og talværdi i tabellen.

Ud over præsentation af tabeller redegøres i nærværende notat for baggrunden for de talværdier, som oplistes i tabellen.

## 2. DEFINITIONER OG PRINCIPPER

### 2.1 Opgørelse af nettoenergiforbrug

I henhold til Vejledningen skal energigevinsten for ekstern biomasse indgå ved opgørelse af nettoenergiforbruget jf. formlen

Nettoenergiforbrug - Rensning	$([H] + [I] - [J] - [K] + [N]) / [O]$	kWh/deb m <sup>3</sup>
-------------------------------	---------------------------------------	------------------------

I formlen er

[O]	Debiteret vandmængde i m <sup>3</sup>
[H]	Købt el i kWh
[I]	Købt varme i kWh (heri indgår anden købt energi som fx gas/olie)
[J]	Solgt el i kWh
[K]	Solgt varme (og biogas og tørret slam) i kWh
[N]	Energigevinst fra ekstern biomasse i kWh

Nettoenergiforbrug er købt energi fratrukket solgt energi, som korrigeres for den energiproduktion, der tilskrives eksterne energikilder (ud over el og varme).

Grænsefladen for spildevandsselskabet er, hvad der er købt og solgt. For det enkelte renseanlæg er det dermed normalt, hvad der passerer skel til virksomheden. Det gælder også for ekstern biomasse.

Der sondres ikke mellem energiformer for så vidt angår tilførte varmekilder og brændsler. Alle disse energiformer regnes efter deres energiindhold i kWh, og brændsler (biogas, naturgas, gasolie mm.) regnes efter deres nedre brændværdi uden korrektion for virkningsgrad for konvertering til nytteenergi. Ekstern biomasse regnes dog ikke efter brændværdi, men efter tabelopslag for energigevinst.

Varmekilder og brændsler indgår under [I] i formlen for nettoenergiforbrug.

Med "ekstern biomasse" menes biomasse, der ikke stammer fra spildevandsselskabets eget opland. Hvis et anlæg ikke modtager ekstern biomasse, er N nul.

Baggrunden for at regne med et bidrag fra ekstern biomasse er, at ekstern biomasse forventes at forøge energiproduktion fra rådnetank og/eller slamforbrændingsanlæg. Den energimængde udgør en andel af den samlede produktion (af gas, el og varme), og den kan derfor ikke måles. Den opgøres ud fra **mængde** og **art** af den tilførte energiform og tilhørende tabelopslag for energigevinster for den pågældende art.

## 2.2 Principper for opgørelse af energigevinst af ekstern biomasse

Her beskrives de principper, som forfatterne af nærværende notat har benyttet for at opgøre energigevinsten, som er anført i tabellerne.

Energigevinsten opgøres ud fra den forventede energiproduktion fra den eksterne biomasse, hvorunder der tages hensyn til forventet virkningsgrad af de energisystemer, som udnytter biomassen. Ved opgørelsen forudsættes, at der anvendes en teknologi af "**rimelig standard**", som sikrer en energiproduktion, som står i rimeligt forhold til arten af biomassen.

Det betyder, at det for renseanlægget er neutralt ved opgørelse af nettoenergiforbruget, hvis produktionen af energi fra biomassen på det aktuelle anlæg svarer til den forudsatte "rimelige standard". Renseanlægget opnår et positivt bidrag på benchmarket, hvis den faktiske produktion af energi fra biomassen overstiger den forudsatte "rimelige standard", dvs. renseanlægget angiver relativt lavt nettoenergiforbrug. Og omvendt fås et negativt bidrag, hvis energiproduktionen ligger under "rimelig standard".

Virkningsgraden fastlægges med udgangspunkt i de teknologier, som typisk anvendes til de enkelt biomasser. Det gælder først og fremmest bioforgasning i rådnetank og forbrænding i slamforbrændingsanlæg.

Virkningsgraden er netto-virkningsgrad, dvs. der fraregnes procesforbrug, fx elforbrug til blæsere og pumper og varme til opvarmning af rådnetank.

Den resulterende energigevinst gøres så vidt mulig teknologineutral, således at samme biomasse opgøres med samme energigevinst uanset anvendt teknologi.

For valg af "rimelig standard" er der tale om en teknologi, der sikrer en vis udnyttelse af energiindholdet uden at være så ambitiøs, at modtagelse af eksternt biomasse i mange tilfælde bliver en straf på energibenchmarket.

## 2.3 Biomasse

I henhold til Vejledningen er "Ekstern" biomasse tilført biogasanlæg eller slamforbrændingsanlæg beskrevet i Vejledningen som:

- Overskudsslam fra andre spildevandsselskaber
- Biomasse fra septiktanke udenfor eget opland
- Spildevandsrelateret biomasse fra industrier udenfor eget opland
- Biomasse, der ikke er direkte spildevandsrelateret f.eks. køkkenaffald og organiske restprodukter fra industrier

Den sidste kategori kan suppleres med mange typer biomasse, fx

- Græsskær fra grøftekanter
- Industriaffald
  - o Fiskeindustri

- o Kartoffelindustri
- o Slagteindustri
- o Mælkeindustri
- o Glycerin
- Affald fra service sektoren
- Grødetyper
  - o Alger
  - o Tang
  - o Grødeskær
- Biobrændsler
  - o Træflis
  - o Halm
  - o Træpiller

Den biomasse, som tilføres renseanlæg, men ikke direkte bidrager til energiproduktionen, skal ikke medregnes som Ekstern biomasse. Det gælder fx kulstofkilder, som tilledes renseanlægget for at understøtte rensningsprocesserne. Disse kunne i mange tilfælde anvendes til at øge energiproduktionen, men ved den pågældende anvendelse produceres ikke energi (ud over den effekt, som består i, at slammængden muligvis øges).

## 2.4 Forkortelser og ordforklaringer

Udvalgte forkortelser og begreber er forklaret nedenfor:

Forkortelse/begreb	Forklaring
KOD	Kildesorteret organisk dagrenovation
LPG	Liquified petroleum gas, her anvendt som synonym for gassen propan (tryksat og derved gjort flydende)
RA	Renseanlæg
RT	Rådnetank
TS	Tørstofindhold
VS	Volatile solids, det samme som organisk stof (typisk bestemt ved en glødetabsanalyse) VS angives normalt som % af TS
CH <sub>4</sub>	Kemisk betegnelse for gassen metan
kWh	Energienheden kilo watt timer,
MWh	Energienheden mega watt timer, 1 MWh = 1000 kWh

## 3. RÅDNETANKE

Her beskrives teknologier og energiproduktion ved rådnetanksdrift samt grundlaget for opgørelsen af energigevinsten.

### 3.1 Forbehandlingssystemer

Der er på mange renseanlæg etableret forskellige typer forbehandlingssystemer. Forskellige systemer fremgår af nedenstående:

- Termisk hydrolyse
- Ultralydsbehandling
- Trykbehandling
- Tilsætning af enzymer

De forskellige forbehandlingsprocesser indgår ikke separat i benchmarking beregningen.

### 3.2 Rådnetanksdrift

Rådnetanksdriften er som udgangspunkt enten baseret på mesofil eller termofil drift, dette refererer til procestemperaturen i den pågældende rådnetank. Dette er afgørende for, hvilke metan-

dannende bakterier der er i processen, samt hastigheden på udrådning af det organiske materiale i biomassen, samt gasproduktion.

#### Temperatur

- Mesofil (ca. 38 °C - typisk 35-40 °C )
- Termofil (ca. 52 °C - typisk 51-57 °C)

Der tages udgangspunkt i mesofil proces i forbindelse med virkningsgrad på rådnetanksdrift på renseanlæg.

#### Effektivitet af udrådning

Der tages udgangspunkt i en rådnetankseffektivitet på 50 % vel vidende at der i praksis er store variationer. Dette afspejles i, at værdier for gasudbytter udgør 50 % af biogaspotentialet ved udrådning i rådnetank på renseanlæg.

For rådnetanke er der varmekonsum til opvarmning af indgående slam til rådnetankstemperaturen. Ofte varmeveksles ind- og udgående slam, så behovet for tilførsel af varme begrænses. Der til kommer varmetilførsel for at dække varmetab fra rådnetanke.

Der regnes for rimelig teknologi med et netto-opvarmningsbehov på 25 kWh per ton tilført, svarende til opvarmning på godt 20 °C for det tilførte slam, inklusiv dækning af varmetab.

Rådnetanke kræver et elforbrug til bl.a. tilførsel af slam, drift af cirkulationspumper og mekanisk afvanding af slammet efter rådnetanke. For ekstern biomasse regnes for rimelig teknologi med et elforbrug på 15 kWh per ton tilført.

### **3.3 Gasopgraderingsanlæg**

På nedenstående anlæg er der etableret gasopgraderingsanlæg eller anlæg til levering af gas til bygasnettet:

- Fredericia Centralrenseanlæg (Fredericia Spildevand og Energi A/S)
- Renseanlæg Avedøre (BIOFOS)
- Renseanlæg Lynetten (bygas) (BIOFOS)

Opgraderet biogas svarer til metan og bygas til bygas (se bilag 1 med energikilder).

Der er i opgørelsen af energigevinst ved ekstern biomasse regnet med, at rensning og opgradering indebærer et vist energiforbrug og/eller tab af biogas, og at det svarer til 10 % af gassens energiindhold.

Der er ved opgørelse af energigevinst regnet med, at 80 % af gassen afsættes eksternt.

### **3.4 Gasmotordrift**

Ved omsætning af metan til el og varme på egen gasmotor på renseanlæg regnes med følgende virkningsgrader:

- El-virkningsgrad: 35 %
- Varme-virkningsgrad: 50 %
- Tab: 15 %

Der er ved opgørelsen af energigevinst ved ekstern biomasse regnet med, at 20 % af gassen udnyttes i gasmotor.

### **3.5 Opgørelse af energigevinst**

I nedenstående tabel er tørstof (TS), organisk stof (volatile solids = VS) og metanudbytte baseret på kendte værdier i biogasbranchen og litteraturen. En forsimpning af biomassetyperne er nødvendigt for at kunne beregne metanproduktion pr. ton indkommen biomasse (pr. ton våd

vægt) baseret på mange forskellige kvaliteter og versioner af den samme type biomasse. Ud fra disse tre værdier er metanproduktion pr. ton våd vægt beregnet.

Værdien for energigevinst ved rådnetank (RT) på renseanlæg (RA) er baseret på 50 % omsætning af det organiske stof i biomassen til metan. Der tages udgangspunkt i denne værdi ved beregning af energigevinst. Værdierne for energigevinst (markeret med gråt) anvendes til beregning af N i benchmarking beregningen.

**Tabel 4 Energigevinst for tilførsel af ekstern biomasse til biogasanlæg.**

Type biomasse	TS [%]	VS [% af TS]	Metan-potentiale [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS]	Metan-potentiale [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton våd vægt]	Gasproduktion ved RT på RA (50 %) [kWh/ton våd vægt]	Energigevinst til tabel [kWh/ton våd vægt]
<b>Ikke-udrånnet slam, tykslam*</b>	6	70	330	13,9	69,1	21,5
<b>Ikke-udrånnet slam, tykslam* (tørstofbasis)</b>	100	70				358
<b>KOD</b>	30	85	340	86,7	432	345
<b>Have- parkaffald</b>	30	90	175	47,3	236	170
<b>Grøftekanter</b>	25	90	245	55,2	275	205
<b>Fiskeindustri</b>	10	95	600	57,0	284	213
<b>Kartoffelindustri</b>	13	90	600	70,2	350	271
<b>Slagteindustri</b>	15	90	121	16,3	81,4	32
<b>Mælkeindustri</b>	14	90	400	50,4	251	184
<b>Glycerin</b>	87	95	500	413	2060	1.793
<b>Affald fra service sektoren</b>	15	95	470	67,0	334	257
<b>Alger</b>	30	90	200	54,0	269	200
<b>Tang</b>	58	90	21	11,0	54,6	9
<b>Grødeskær</b>	31	90	400	112	556	455
<b>Langtidsbeluftet slam og udrånnet slam **</b>						0
<b>Septiktankslam **</b>						0
<b>Andet***</b>						

RT: RådneTank, RA: RenseAnlæg

\*: For ikke-udrånnet slam (tykslam fx i form af primærslam eller aktivt slam) sondres ikke mellem slamtyper. En anden kendt værdi for tørstofindholdet end 6 % TS kan anvendes, ved beregning af energigevinst. Til det formål kan efter eget valg anvendes værdier aflæst i Figur 2 eller den i tabellen anførte tørstofværdi.

\*\* : Der påregnes et mindre gasudbytte, men det forventes modsvaret af egetforbrug.

\*\*\*: Biomasse, som ikke er anført i tabellen, kan opgøres efter samme principper som tabelværdierne, jf. teksten.

#### Beregningseksempel

1 ton ikke-udrånnet slam vurderes at have et gaspotentiale på 13,9 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton våd vægt. På et renseanlæg med 50 % udrånningseffektivitet omsættes det til 6,9 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton våd vægt (13,9 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton våd vægt \* 50 % udrånningseffektivitet = 6,95 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton våd vægt). Omregnet til energiproduktion svarer dette til 69 kWh/ton våd vægt tilført biomasse (6,95m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton våd vægt \* 9,97 kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> = 69 kWh/ton våd vægt tilført biomasse).

Afhængig af nyttiggørelsesmetode varierer den endelige udnyttelsesgrad af den producerede energi.

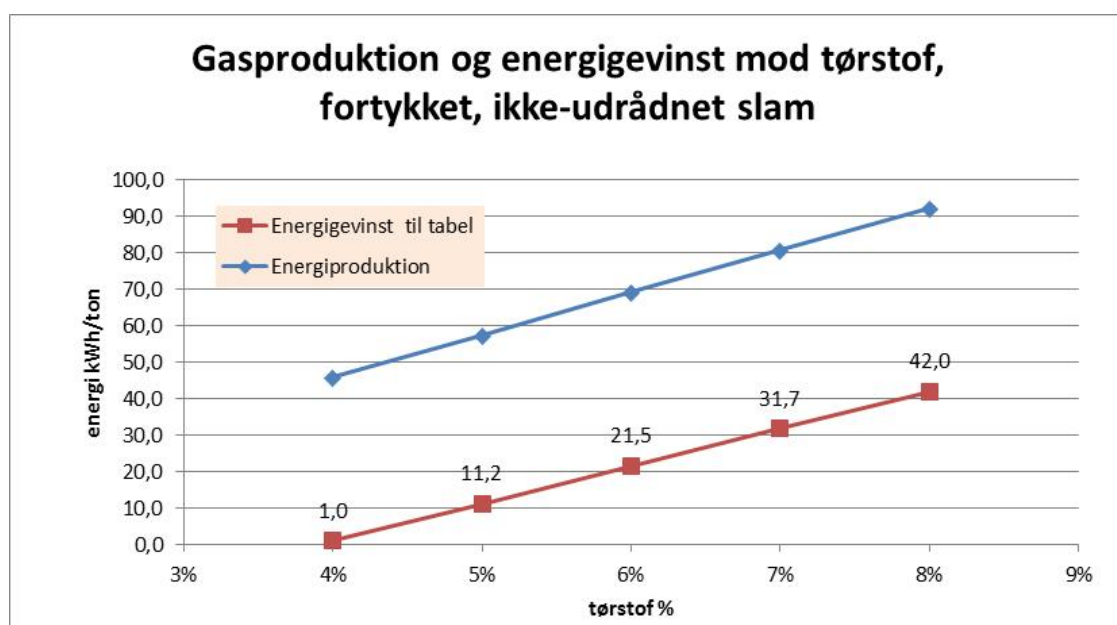
Ved udnyttelse i gasmotor omdannes de 69 kWh/ton våd vægt til 25,9 kWh/ton våd vægt som elektricitet (35 %) og 34,5 kWh/ton våd vægt som varme (50 %), i alt 60,4 kWh/ton. Ved opgradering omdannes de 69 kWh/ton våd vægt til 62 kWh/ton våd vægt (90 %). Gasmotor og opgradering vægtes 20/80, så bruttoudbyttet af energi er 61,5 kWh/ton. Til udvinding af denne energimængde går egetforbrug på 23 kWh til opvarmning og 15 kWh til el-forbrug. Netto udvindes derfor  $61,5 - 23 - 15 = 23,5$  kWh/ton.

Eksterne biomasser, som ikke er brændsler og ikke nævnt i Tabel 5, medregnes ud fra følgende principper: Gaspotentiale angives som fundet ved måling eller tabel-opslag, ellers regnes med  $300 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$  per ton VS. Gasudbyttet opgøres til 50 % af gaspotentialet, og omregnes ved hjælp af brændværdi for  $\text{CH}_4$  til energiproduktion. Egetforbruget fratrækkes med 30 kWh per ton til opvarmning og 15 kWh til el-forbrug. Den resulterende værdi anvendes ved opgørelse af energigevinst.

### 3.6 Tykslam

For tykslam svarer energiudbyttet for teknologi af rimelig standard ved 6 % tørstof til 658 kWh/ton tørstof. Der åbnes mulighed for at anvende denne værdi, hvis tørstofindholdet kendes.

Det skyldes at energigevinsten er meget afhængig af tørstofindholdet, hvad der illustreres i nedenstående figur.



Figur 2 Gasproduktion og energigevinst for fortykket, ikke-udrådnet slam.

## 4. SLAMFORBRÆNDINGSANLÆG

Slamforbrændingsanlæg omfatter normalt en række delsystemer:

- Slamafvanding
- Evt. modtagesystem for eksternt afvandet slam
- Slamlager
- Evt. fortørring
- Ovn
- Kedel
- Røggasrensning

Mekanisk afvanding af slam foretages for det meste ved brug af dekantercentrifuge til et tørstofindhold så højt som den pågældende slamtype og afvandingssystem tillader under hensyntagen til bl.a. polymerforbrug, el-forbrug, mekanisk slid og efterfølgende anvendelse af det afvandede slam. Tørstofindholdet efter afvandingen er normalt i intervallet 20-30 %, og slammet pumpes eller snegles til slamsiloen.

Eksternt afvandet slam, tilføres typisk et påslag hvorfra det overføres til slamsiloen ved hjælp af snegle eller pumper.

Slamlager er typisk en lukket silo med udtagssystem med akselløse snegle eller bundskraber, hvorfra snegle eller pumper overfører slammet til fortørrer for slam, evt. via buffersilo.

Om der etableres en fortørrer afhænger af bl.a. slamtype og anlægskoncept.

I fortørreren tilledes en varmekilde i et lukket system (fx hedtolie eller hedtvand). Varmekilden er opvarmet i slamforbrændingsanlæggets kedel.

Afdamp fra tørreren føres til kondenser, hvor dampen kondenserer og overfører kondensationsvarmen til et kølemedie. Kølemediet kan være rensset spildevand, hvorved varmen tabes. Det kan på de mest avancerede anlæg være en lukket vandkreds, som opsamler varmen med henblik på anvendelse internt, fx til opvarmning af rådnetank, eller eksport til fjernvarmenettet.

I fortørreren tørres slammet typisk enten til enten ca. 35 % tørstof eller 90 % tørstof afhængig af ovnkoncept eller anvendelse eksternt.

Større slamforbrændingsanlæg i Danmark er alle baseret på en såkaldt fluid-bedovn, hvor slammet tilledes et sandlag, som holdes svævende af en opadgående luftstrøm. Bedden holdes ved forbrændingstemperaturen ved kombinationen af energifrigivelse fra slammet og forvarmet forbrændingsluft. Det kan være nødvendigt at supplere i mindre omfang med støttefyring i form af en energikilde fx i form af biogas/naturgas eller gasolie.

Luften forvarmes ved hjælp af en luftforvarmer, som varmeveksler den varme røggas med indgående forbrændingsluft.

I kedlen afkøles røggassen ved varmeveksling med et varmemedie, som typisk er hedtolie eller hedtvand. Det opvarmede varmemedie anvendes i fortørreren til fortørring af slammet.

Eventuelt kan overskydende varme anvendes til opvarmning af rådnetank eller overføres til fjernvarme (internt og eksternt).

Den samlede energibalance for fortørrer ovn/kedelsystemet kan resultere i et mindre energiunderskud, som må dækkes af tilsat energi, eller et mindre overskud, som står til rådighed for anvendelse på renseanlægget (fx opvarmning af rådnetank) eller kan afsættes som fjernvarme.

Resultatet af energibalancen afhænger først og fremmest af slamtype og afvandingsgrad. Fx vil en kraftig mekanisk afvanding til over ca. 25 % TS kunne give energioverskud afhængig af det konkrete indhold organisk stof (VS).

I røggasrensningsanlægget renses røggassen til det krævede niveau for partikler, sure gasser mv. Der tilsættes nogle kemikalier/forbrugsstoffer som led i røggasrensning, fx kalk, hydratkalk, aktivt kul og natronlud.

Et enkelt anlæg, Renseanlæg Lynetten (BIOFOS), er endvidere udrustet med røggaskondensering, som genvinder kondensationsvarme fra vanddamp i røggassen ved varmeveksling mellem en varm skrubbervæske og det lidt mindre varme fjernvarmevand.

I den samlede energibalance er der følgende energiforbrugere, og energiforbrug forudsat for rimelig teknologi i ( ):

- Støttefyring til ovn (50 kWh/ton TS)
- El-forbrug til drift af pumper, snegle, blæsere mv. (250 kWh per ton TS)

Der er mulighed for følgende produktion af energi fra forbrændingsanlægget:

- Kondensationsvarme af afdamp fra fortørrer
- Varmeoverskud fra ovn/kedel-systemet
- Røggaskondensering

I rimelig teknologi for slamforbrænding regnes med, at forbrænding af udrådnet slam kan dække egetforbruget af energi ved varmeoverskud fra ovn/kedel eller udnyttelse af kondensationsvarme i afdamp fra tørrer eller røggaskondensering. I rimelig teknologi er det valgt kun i ovennævnte omfang at medtage kondensationsvarme fra kondensation af afdamp fra fortørrer og fra røggaskondensering, fordi det ikke forudsættes for flertallet af slamforbrændingsanlæg.

Eksternt slam med højt tørstofindhold kan give et vist samlet energioverskud, mens slam med lavt tørstofindhold kan kræve forøget støttefyring og dermed give energiunderskud.

Det er for enkeltheds skyld valgt ikke at sondre mellem eksternt slam med forskellige tørstofindhold. Det forventes, at renseanlæg har egeninteresse i at vægte højt tørstofindhold i det eksterne slam.

Ikke-udrådnet slam med højere VS indhold forventes fortrinsvis tilledt rådnetank (inden mekanisk slutafvanding). Hvis det modtages slutafvandet og tilledes forbrændingsanlæg, tillægges det samme energiproduktion (per ton TS) som ved tillædning til rådnetank.

For det tilfælde at brændsler (fx træflis, træpiller eller halm) anvendes som støttefyring, medregnes dette som tilført energi med nedre brændværdi, jf. tabel.

**Tabel 5 Energigevinst for tilførsel af ekstern biomasse til biogasanlæg.**

Type biomasse	TS [%]	VS [% af TS]	Energi-udbytte, brutto [kWh/ton våd vægt]	Eget forbrug [kWh/ton våd vægt]	Energigevinst til tabel [kWh/ton våd vægt]
<b>Ikke-udrådnet slam, (tørstof basis)</b>	15-30	70			358*
<b>Udrådnet slam (15-30% TS)</b>	100	70	300	300	0
<b>Træflis</b>	50	98	2.300	200	2.100
<b>Træpiller</b>	93	99	4.860	300	4.560
<b>Halm</b>	86	95	4.030	300	3.730

\*: kWh per ton tørstof

## 5. ENKELHED ELLER NØJAGTIGHED

Det er i opgørelsen af energigevinst valgt at prioritere enkelhed i anvendelse bl.a. under hensyn tagen til den politiske aftale om, at performance benchmarket ikke skulle udløse nye administrative byrder for spildevandsselskaberne.

Med enkelheden følger en række simplificeringer, som betyder at det resulterende nettoenergiforbrug for det enkelte anlæg ofte kræver nærmere forklaring, når det anvendes som grundlag for optimering eller til sammenligning mellem anlæg. Ved en eventuel senere revision kan man overveje at øge nøjagtigheden, så talværdier bedre kan sammenlignes og optimeres efter.

Man skal dog ikke forvente, at talværdier vil kunne stå alene. Dertil er der for store forskelle på ekstern biomasse, renseanlægs tekniske indretning og deres rammebetingelser, fx om mulighed for afsætning af biogas eller fjernvarme.

Følgende punkter kan bidrage til større nøjagtighed – men i en vis udstrækning med øget indsats i forbindelse med opgørelsen og behov for standardiseret tilgang:

- Energikvalitet kunne indgå, fx så gas og el vægtes højere end varme. Det vil være i tråd med fysisk værdi (evne til at skabe arbejde) og energipolitisk målsætninger. Fx ses i de fleste tilfælde som fordelagtigt at importere varme til opvarmning af rådnetaanke frem for at anvende eget-produceret biogas, selvom det ud fra den enkle, energibaserede tilgang (i kWh) er ligeværdigt. Derved bør brændsler også vægtes med en virkningsgrad for effektivitet i omdannelse til el og varme med deres respektive vægte.
- Gaspotentialet – og dermed energigevinsten - for de eksterne biomasser kunne opgøres med større nøjagtighed med udgangspunkt i faktisk måling af tørstofindhold og VS frem for tabellernes forudsatte TS og VS for de enkelte arter af biomasse.

Af andre forhold af mere overordnet karakter kan nævnes (til dels afledt af modtagne kommentarer):

- Det bør overvejes, om opgørelsen af nettoenergiforbrug per kubikmeter spildevand er det bedste mål som grundlag for sammenligning.

- Det enkelte anlæg kan supplere benchmarket med masse- og energibalancer for egne anlæg og heraf udvikle egne KPI (Key-Performance Indicators), for derved at godtgøre værdi af ekstern biomasse og identificere optimeringspotentialer – også i forhold til konkrete rammer for afsætning af produceret energi.
- Afgrænsningen af "eget opland" kan formentlig beskrives mere detaljeret, dvs. hvad der er eksternt, og hvad der er internt og dermed ikke indregnes i benchmarket
- Afgrænsningen af spildevandsselskab i forhold til energiudbytte og energiudnyttelse bør muligvis inkludere evt. tilhørende energiselskab for at give retvisende billede.

## BILAG 1 ENERGIKILDER TIL FORSYNING PÅ RENSEANLÆG

Følgende energikilder er vurderet relevante i forbindelse med forsyning af energi i transportnettet og på renseanlæg. Det er endvidere muligt at anvende el og fjernvarme, der typisk afregnes pr. kWh i forvejen.

Tabel 6 Energikilder, varmekilder og brændsler

Type	Nedre brændværdi	Nedre brændværdi	Forudsætninger
<b>Metan</b>	35,9 MJ/m <sup>3</sup>	9,97 kWh/m <sup>3</sup>	100 % metan
<b>Naturgas</b>	39,6 MJ/m <sup>3</sup>	11,0 kWh/m <sup>3</sup>	Dansk naturgas
<b>Bygas</b>	20,2 MJ/m <sup>3</sup>	5,61 kWh/m <sup>3</sup>	51 % /49 % naturgas/luft
<b>Biogas</b>	21,5 MJ/m <sup>3</sup>	5,98 kWh/m <sup>3</sup>	60 % metan indhold
<b>Propan (LPG)</b>	46,0 GJ/ton	12,8 MWh/ton	
<b>Gasolie</b>	40,7 GJ/ton	11,3 MWh/ton	
<b>Træpiller</b>	17,5 GJ/ton	4,86 MWh/ton	Vandindhold: 7 %
<b>Halm</b>	14,5 GJ/ton	4,03 MWh/ton	Vandindhold: 15 %
<b>Andre brændsler</b>			Angives efter nedre brændværdi
<b>Fjernvarme</b>			Udnyttet energi angives som målt i MWh.

## BILAG 2

### UDDRAG AF EXCEL-MODEL FOR RIMELIG TEKNOLOGI

Forudsætninger:	Værdi	Enhed	Bemærkninger
Effektivitet af RT på RA	50 %		
Gasmotor drift andel:	20 %		
Gasmotor - el-effekt:	35 %		
Gasmotor - varme-effekt:	50 %		
Gasopgradering andel:	80 %		
Gasopgradering effekt:	90 %		inkl. tab af gas og energiforbrug til opgradering
Metanindhold:	60 %		
Opvarmning RT (varme)	25	kWh/tons våd vægt	Opvarmning netto 21,5 °C
Strømforbrug RT:	15	kWh/tons våd vægt	
Strømforbrug gasopgradering:	0,0	kWh/m <sup>3</sup> rå gas	elforbrug mv. (0 for det regnes indeholdt i 90 % virkningsgrad)
Eksportværdi af el	100 %		energiværdi af el
Eksportværdi af varme	100 %		energiværdi af varme til/fra fjernvarme
Eksportværdi af opgraderet gas	100 %		Energiværdi af biogas og opgraderet biogas, uanset trykniveau

Type biomasse	TS [%]	VS [%]	Metanpotentiale [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS]	Kilde
<b>Ikke-udrådnet slam, tykslam</b>	6 %	70 %	330	1
<b>KOD</b>	30 %	85 %	340	2
<b>Have- parkaffald</b>	30 %	90 %	175	2
<b>Grøftekanter</b>	25 %	90 %	245	2
<b>Fiskeindustri</b>	10 %	95 %	600	3
<b>Kartoffelindustri</b>	13 %	90 %	600	3
<b>Slagteindustri</b>	15 %	90 %	121	3
<b>Mælkeindustri</b>	14 %	90 %	400	3
<b>Glycerin</b>	87 %	95 %	500	3
<b>Affald fra service sektoren</b>	15 %	95 %	470	3
<b>Alger</b>	30 %	90 %	200	4
<b>Tang</b>	58 %	90 %	21	5
<b>Grødeskær</b>	31 %	90 %	400	5
<b>Ikke-udrådnet slam, afvan- det slam</b>	22 %	70 %	330	1

Type	Nedre brændværdi	Enhed	Nedre brændværdi	Enhed	Forudsætninger	Kilde
<b>Metan</b>	35,9	MJ/m <sup>3</sup>	<b>9,97</b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>		3
<b>Naturgas</b>	39,6	MJ/m <sup>3</sup>	11	kWh/m <sup>3</sup>		3
<b>Bygas</b>	20,2	MJ/m <sup>3</sup>	5,61	kWh/m <sup>3</sup>	51 %/49 % natur- gas/luft	4
<b>Biogas</b>	21,5	MJ/m <sup>3</sup>	5,98	kWh/m <sup>3</sup>	60 % metanindhold	3
<b>Propan (LPG)</b>	46	GJ/ton	12,8	MWh/ton		3
<b>Fyringsolie</b>	40,7	GJ/ton	11,3	MWh/ton		3
<b>Træpiller</b>	17,5	GJ/ton	4,86	MWh/ton	vandindhold: 7 %	3
<b>Halm</b>	14,5	GJ/ton	4,03	MWh/ton	vandindhold: 15 %	3

Type biomasse	Metan-potentiale				Realiseret gasproduktion				Gasmotor drift			Gasopgradering			Eksport		
	TS	VS			ved RT på RA (50%)	Opvarmning	El-forbrug		Andel	Varme	El	Andel	Varme	El	Gas	El+Varme+Gas	
Enhed	[%]	[%]	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS]	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton*]	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton*]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[%]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[%]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]	[kWh/ton*]
Ikke-udrånnet slam, tykslam	6	70	330	13,9	6,9	69,1	-25	-15	20	6,9	4,8	80	49,7	-18,1	-10,2	49,7	21,5
KOD	30	85	340	86,7	43,4	432	-25	-15	20	43,2	30,3	80	311	18,2	15,3	311	345
Have- parkafald	30	90	175	47,3	23,6	236	-25	-15	20	23,6	16,5	80	170	-1,4	1,5	170	170
Grøftekanter	25	90	245	55,1	27,6	275	-25	-15	20	27,5	19,2	80	198	2,5	4,2	198	205
Fiskeindustri	10	95	600	57,0	28,5	284	-25	-15	20	28,4	19,9	80	205	3,4	4,9	205	213
Kartoffelindustri	13	90	600	70,2	35,1	350	-25	-15	20	35,0	24,5	80	252	10,0	9,5	252	272
Slagteindustri	15	90	121	16,3	8,2	81,4	-25	-15	20	8,1	5,7	80	58,6	-16,9	-9,3	58,6	32,5
Mælkeindustri	14	90	400	50,4	25,2	251	-25	-15	20	25,1	17,6	80	181	0,1	2,6	181	184
Glycerin	87	95	500	413	207	2.060	-25	-15	20	206	144	80	1.483	181	129	1.483	1.793
Affald fra service sektoren	15	95	470	67,0	33,5	334	-25	-15	20	33,4	23,4	80	240	8,4	8,4	240	257
Alger	30	90	200	54,0	27,0	269	-25	-15	20	26,9	18,8	80	194	1,9	3,8	194	200
Tang	58	90	21	11,0	5,5	54,6	-25	-15	20	5,5	3,8	80	39,3	-19,5	-11,2	39,3	8,6
Grødeskær	31	90	400	112	55,8	556	-25	-15	20	55,6	38,9	80	401	30,6	23,9	401	455
Ikke-udrånnet slam, afvandet slam	22	70	330	50,8	25,4	253	-25	-15	20	25,3	17,7	80	182	0,3	2,7	182	186

\*: våd vægt

Kilde	Titel	Forfatter	Udgiver	Udgave/årstal
1	Intelligent udnyttelse af kulstof og energi på renseanlæg	Envidan	Miljøstyrelsen	2013
2	Biomasse til biogasanlæg i Danmark - på kort og langt sigt	Torkild Birkmose, Kurt Hjort-Gregersen og Kasper Stefanek	Agrotech	Revideret udgave, november 2013
3	Erfaringstal fra biogasbranchen	-	-	-
4	Algae Biomass for Bioenergy in Denmark - Biological/Technical Challenges and Opportunities	Susse Wegeberg, Department of Biology, SCIENCE	University of Copenhagen	2010
5	Udnyttelse af tang og restprodukter til produktion af biogas - FASE 1	Anders M. Fredenslund (Solrød Kommune) m.fl.	Solrød Kommune	November 2010