



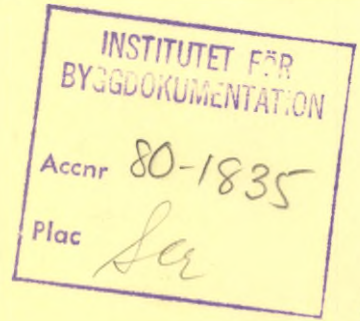
Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Metanjäsning — en framtida  
behandlingsmetod för avfall  
och avloppsvatten i tätorter  
och på landsbygden?**

**Birgitta Jerkbrant**



Ser

R118:1980

Metanjäsning - en framtida behandlingsmetod för  
avfall och avloppsvatten i tätorter och på landsbygden?

Birgitta Jerkbrant

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791117-8 från  
Statens råd för byggnadsforskning och från VIAK AB, Göteborg  
till EFEM arkitektkontor, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt  
anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit  
ställning till åsikter, slutsater och resultat.

R118:1980

ISBN 91-540-3344-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLL

FÖRORD.....	5
INLEDNING.....	6
A    METANJÄSNINGSPROCESSENS FRAMTIDA MÖJLIG- HETER I I-LÄNDERNA.....	10
A.1  Ny teknik och utformning av jäsnings- anläggningarna.....	10
A.2  Olika möjligheter till lagring och användning av metangas.....	44
B    UTVECKLINGEN AV METANJÄSNINGSTEKNIKEN I U-LÄNDERNA.....	51
LITTERATURLISTA.....	59





## Förord

Den första internationella konferensen om metanjäsning anordnades vid University College Cardiff i England den 17 till 21 september 1979.

Arrangörer och ansvariga var Department of Microbiology and Industry Centre of University College, Cardiff.

Till konferensen kom deltagare från 20 länder och från samtliga världsdelar.

USA, England, Belgien, Holland, Danmark, Västtyskland, Malaysia och Nya Zeeland presenterade forskningsresultat i form av föredrag. Resultaten finns redovisade i en skriftserie (se litteraturlista).

Under de diskussioner som uppstod och vid den utställning som arrangerades i samband med konferensen offentliggjordes även intressanta erfarenheter och forskningsresultat från andra länder.

De resultat och erfarenheter som presenterades på konferensen spände över ett mycket brett fält, alltifrån biokemisk och mikrobiologisk forskning till frågor av teknisk och praktisk natur, som berörde själva utformningen av anläggningarna och till frågor som handlade om ekonomi och säkerhetsproblem.

Anledningen till mitt eget deltagande i konferensen var i första hand att få kännedom om pågående forskning och utveckling kring möjligheterna att direktjäsa kommunalt avloppsvatten och organiskt hushållsavfall. Detta intresse har därför präglat urvalet av det material som presenteras i rapporten. Jag anser även att de framsteg ur ekonomisk synpunkt som erhållits vid jäsning av gödsel i bl a USA, är av stor betydelse, liksom utvecklingen av metanjäsningstekniken i U-länderna. Resultat från dessa områden ingår därför också i rapporten.

Deltagandet i konferensen och denna konferensdokumentation har bekostats av dels VIAK AB, Göteborg och dels Statens Råd för Byggnadsforskning genom EFEM arkitektkontor, Göteborg.

Synpunkter och redigeringshjälp har erhållits av Conny Jerkbrant.

Ett tack riktas till Inger Gegerfelt för hjälp med bildmaterialet och till Ingela Linderå och Siv Andersson för hjälp med utskriften.

Göteborg i februari 1980

Birgitta Jerkbrant  
VIAK AB och EFEM arkitektkontor

## Inledning

Inom olika delar av det industrialiserade samhället har vi idag växande avfallsproblem, som i framtiden måste lösas med andra metoder än de som utnyttjats hittills, och som i stor utsträckning byggts på kvittblivning (förbränning eller deponering). Det gäller exempelvis den organiska delen i hushållsavfallet.

Det blir allt svårare att finna mark för deponering i tätorterna. Förbränning av organiska material innebär en förlust av potentiella växtnärings- och jordförbättringsmedel. Både deponering och förbränning ger upphov till miljöförstöringar.

Även inom jordbruket finns det avfallsproblem. Dagens rationella och högmekaniserade djurhållning innebär en gödselhantering som orsakar hygieniska problem, luktproblem m m både under lagerhållningen och vid spridningen av gödseln. Hos gårdar som saknar djurhållning och som specialiserat sig på växtproduktion finns det ett halm- och blastöverskott som idag endast plöjs ned eller bränns upp.

Metanjäsning är en metod som lämpar sig för behandling av organiskt avfall och avloppsvatten av olika slag, och som tycks erbjuda en lösning på många av dagens avfallsproblem. Dessutom produceras en energirik gas under processen, som förutom att den gör behandlingsprocessen självförsörjande på energi även bidrar med ett energiöverskott, som kan utnyttjas för uppvärmningsändamål, elproduktion etc.

Inte minst i U-länderna innebär metanjäsningstekniken goda möjligheter till en lösning på energi- och avfallsproblemen. Avsaknaden av tekniska system för omhändertagande av latrin på landsbygden och bristen på energi för matlagning, belysning m m gör metoden särskilt intressant för befolkningen i dessa länder. Dessutom är det i allmänhet varma klimatet gynnsamt för metanjäsningprocessen, eftersom denna kräver en viss temperatur för att fungera optimalt.

Metanjäsning som process är känd sedan lång tillbaka. Redan på 1600-talet visste man att det bildades en brännbar gas vid förruttelse av organiskt material. På 1800-talet byggdes de första jästankarna. I England tillverkades den första tanken 1895 för jäsning av latrin. Den alstrade gasen användes till belysning.



Metanjäsningsprocessen har sedan dess främst utnyttjats för behandling av slam från avloppsreningsverk. (Förutom en del anläggningar för jäsnings av gödsel som byggdes i England, Västtyskland och Frankrike under kriget). Syftet med processen har varit att uppnå en stabilisering av slammet, dvs en hygienisering och minskad mängd organiskt material. Den gas som producerats har i allmänhet betraktats som en biprodukt och tas ofta endast omhand för uppvärmning av rötkastrarna. Resten ventileras eller bränns upp. Undantag är England och Västtyskland, där man länge utnyttjat gasen från rötningen för elproduktion.

Först under senare år har man i I-länderna börjat intressera sig för metanjäsnings som en metod för energiproduktion. De avfallstyper man inriktar sig på är framför allt jordbruksavfall, men även avloppsvatten och avfall från livsmedelsindustrin, kommunalt avloppsvatten, hushållsavfall etc.

I I-länderna har ett antal försöksanläggningar för metanjäsnings av gödsel vuxit upp inom lantbruket, av ekonomiska skäl hittills främst på de större gårdarna ( $\geq 100$  djurenheter).

I U-länderna sprids metanjäsningsstekniken ute på landsbygden med större och mindre framgång. Anläggningarna byggs i familjestorlek och jäser gödsel, latrin m m.

Det finns emellertid vissa begränsade faktorer för metanjäsningssteknikens framtida möjligheter i I-länder och U-länder. En sådan viktig faktor är investeringskostnaden för anläggningarna. I mindre skala, dvs för en enskild gård eller enskild familj (i U-länderna), är det kostnaden för själva jästanken och för gasbehållaren som är det mest betungande och som hindrar många från att skaffa sig en jäsningsanläggning. Nya utformningar av jästank och gasbehållare och nya billigare material behöver därför tas fram.

Av konferensen framgick att en hel del forskning och undersökning har gjorts på detta område under de senaste åren, inte minst i USA. Många idéer är emellertid i laboratorieskala och behöver testas i större sammanhang och under olika yttre förhållanden innan de kan få spridning på marknaden.

I U-länderna har de länder kommit längst, som använt billiga material "på platsen" och använt fantasi och kreativitet i utformningen av anläggningarna. Inte minst spelar kultur och tradition en viktig roll för framgångarna på metanjäsningsområdet i dessa länder.

Ytterligare ett hinder för metanjäsningens framtida möjligheter har varit de små ansatser, som gjorts att jäsa starkt utspädda substrat, t ex kommunala avloppsvatten. Inte heller har man någon lämplig teknik för att jäsa "torra" substrat, som exempelvis utsorterat matavfall, grödor och jordbruksavfall med en t.s.-halt av omkring 30 %. De metoder som prövats hittills har mest använt ett substrat med en torrsbstanshalt på 5 - 9 % (t.s.-halterna för slam och flytgödsel).

Av konferensen framgick emellertid att metoder håller på att utvecklas, som skall kunna jäsa dessa substrat med gott resultat.

I bl.a. U S A och Sverige har man i laboratorie-skala fått fram anaeroba filter, som jäser utspädda substrat (avloppsvatten m.m.) med hög hastighet (endast en halvtimme till några timmars hydraulisk uppehållstid) och vid låg temperatur (20 - 25°C).

Detta kommer att öppna möjligheter att i framtiden ersätta dagens aeroba och energikrävande behandlingsmetoder för behandling av exempelvis kommunalt avloppsvatten med anaeroba energiälskande metoder.

Försök med jäsning av "torra" substrat i U S A har visat att processen fungerar väl vid jäsning av substrat med upp till 32 % torrsbstanshalt. Den i processen utvecklade värmen antas dessutom räcka för att hålla temperaturen på optimal nivå.

Detta öppnar möjligheter att ersätta kompostering av "torrare" organiska substrat med metanjäsning. Idag planerar t ex många kommuner i Sverige att kompostera den organiska delen av hushållsavfallet. Den i processen alstrade energin som "vädras bort" i en kompost, kan tas tillvara i form av ett bränsle (metangas) i en jäsningsanläggning. Förutsättningen för att jäsning av torrare substrat skall bli realistisk i framtiden, är emellertid att nya okonventionella och billiga jästankstyper utvecklas, eftersom den jäsningsprincip som troligen behöver tillämpas (satsvis jäsning) kräver stora jästanksvolymer.

Metanjäsningsteknikens framtida möjligheter är även starkt beroende av de metoder som finns att lagra och utnyttja gasen på ett effektivt sätt. På symposiet presenterades från Västtyskland några olika mer eller mindre välutvecklade metoder att lagra och utnyttja metangas (kapitel A2).

Denna rapport tar upp några viktiga erfarenheter och forskningsresultat från de områden som idag begränsar metanjäsningens utvecklingsmöjligheter i I-länder och U-länder.

Mycket av rapporten handlar om den forskning som pågår vid Cornell University, Ithaka, USA. Här arbetar för närvarande ett tvärvetenskapligt sammansatt forskarteam med att definiera olika driftkrav vid jäsning av olika typer av avfall, och att utveckla olika jäsningsmetoder.

Även intressanta projekt inom Norden tas upp, t ex STUB-projektet i Danmark. Danmark satsar sedan 1978 stort på FoU inom metanjäsningen. Närheten till Sverige, och likheten mellan det danska och det skånska jordbruket, har motiverat att de danska projekten fått ett stort utrymme i rapporten.

## A METANJÄSNINGSPROCESSENS FRAMTIDA MÖJLIGHETER I I-LÄNDERNA

---

### A.1 NY TEKNIK OCH UTFORMNING AV JÄSNINGS- ANLÄGGNINGARNA

Professor W Jewell, Cornell University, U S A, beskrev utifrån dagens situation i U S A de behov som finns ifråga om utveckling av metanjäsnings-tekniken. Dessa behov kan anses gemensamma för hela den industrialiserade världen. Alla länder har visserligen inte system för naturgas, men det finns många andra sätt att tillvarata den alstrade gasen (se kap A.2 ).

De senaste åren har det bedrivits en intensiv forskningsverksamhet i USA kring utveckling av metanjäsningstekniken. Anledningen är den förändring i energisituationen som uppstått i samband med att energi håller på att bli en bristvara.

Jordbruksenheter, självförsörjande på energi, liksom storskaliga metanjäsningsföretag, håller snabbt på att bli attraktiva.

Metangasproduktion har också blivit intressant på grund av det stora befintliga distributions-systemet för naturgas, som försörjer industrier och byggnader med energi för uppvärmning etc. Eftersom egenskaperna hos metangas är mycket lika naturgasens, kan metangas producerad ur biomassa ledas ut på naturgasnätet.

Således har bl a behovet av billig naturgas och möjligheterna att producera ett tillskott från biomassa legat till grund för forskning och utveckling av metanjäsningstekniken i USA.

Det finns idag ett stort behov av en jäsnings-teknik, som kan utnyttjas för direktjäsnning av utspädda substrat, som exempelvis kommunala avloppsvatten. Vid användning av en sådan process, t ex i USA för kommunal avloppsvattenbehandling, skulle enligt Jewell en energiproduktion av  $0,15 \times 10^{12}$  kWh kunna erhållas. Förutsättningen är att processen kan reducera halten organiskt material till den tillåtna utsläppsnivån 30 mg/l BOD<sub>5</sub> och suspenderade ämnen.

Dessutom skulle de  $0,15 \times 10^{12}$  kilowattimmar elektrisk energi som nu förbrukas genom konventionella reningsmetoder (aktivt-slam m m) kunna sparas in.

En annan tillämpning av en sådan process är metanjäsning av odlade högproduktiva mikroskopiska alger. För närvarande begränsar bristen på lämplig jäsningsteknik potentialen hos denna energikälla.

Ett ännu större hinder för utveckling av metanjäsningstekniken är de gränser som sätts för processen, när den tillämpas på torra substrat som t ex halm och annat organiskt avfall med höga t.s.-halter. Jäsning av torra substrat enligt konventionell teknik innebär en omständig hantering, sönderdelning, förbehandling m m.

Att kunna jäsa torra substrat är emellertid högtintressant ur energisynpunkt då den potentiella mängden energi från vegetabiliskt avfall (halm, skörderester, gräs m m) är 10 ggr så stor som den potentiella mängden energi från gödsel.

En optimerad process behövs därför, som effektivt kan omvandla torra substrat och samtidigt eliminera många av de konventionella hanterings- och behandlingsstegen.

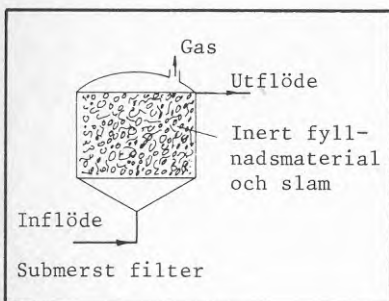
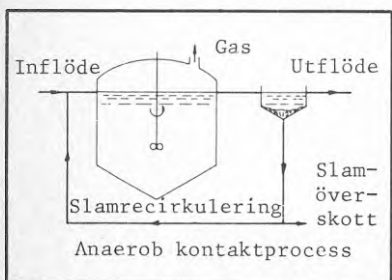
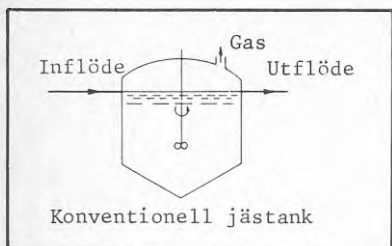
När det gäller metanjäsning av gödsel med 5-12 % t.s.-halt behöver ny, enkel och billig jäsningsteknik utvecklas. Idag begränsar investeringskostnaderna möjligheten att utnyttja metanjäsningstekniken, framförallt vid de mindre jordbruken.

Denna korta översikt visar att det finns tre huvudområden där ny jäsningsteknik och utformning av jäsningsanläggningarna kan få stor betydelse för metanteknologins möjligheter i framtiden.

- 1) Teknik för jäsning av utspädda organiska substrat och slam med låg t.s.-halt (mindre än 5 %), t ex kommunala och industriella avloppsvatten, algsuspensioner m m.
- 2) Utformning av billiga och enkla system för jäsning av gödsel och andra organiska substrat med t.s.-koncentrationer mellan 5 och 12 procent.
- 3) Teknik för jäsning av torra organiska substrat, t ex halm, växtavfall m m. (Även organiskt hushållsavfall hör hit, även om det ej togs upp av Jewell.)



## 1. Teknik för jäsning av utspädda substrat, avloppsvatten m m



Under de senaste decennierna har olika försök gjorts både i Europa, Kanada och USA att utveckla och utforma anläggningar för jäsning av utspädda organiska substrat.

Professor W Jewell sammanfattade dessa försök:

Problemet med jäsning av utspädda substrat var från början att uppnå tillräcklig uppehållstid i jästanken, så att materialet hann brytas ned. Försök gjordes därför att separera bakterier från det utgående flödet för att öka bakteriernas uppehållstid i systemet. Man lät således sedimenterat utjäst slam återcirkulera. På så vis skulle flödet genom processen kunna öka och ändå genomgå en effektiv behandling. (Jfr aktivt slam-processen.) Denna modifikation ledde till en process kallad den "anaeroba kontaktprocessen" som har använts framgångsrikt för behandling av industriellt avloppsvatten. Det har dock funnits vissa problem med att få det utjästa materialet att sedimentera och recirkulera, pga att gasutvecklingen fortsätter i sedimenteringstanken.

I en ansträngning att nå ytterligare processstabilitet, utvecklades därför den statistiskt fastsittande filmen, det submersa filtret. Filtret bestod av fastsittande mikrober på ett inert material, stenar m.m. Härigenom blev den mikrobiella uppehållstiden lång trots en hög genomströmningshastighet, och en sedimentering av den utgående vätskan var ej längre behövlig.

Fastän denna modifikation bidrog till en betydande ökning i processtabilitet, så begränsades användningen av filtret av att endast 3,5 kg  $BOD_5$  reduceras per kubikmeter reaktor och dag. Detta kräver en stor reaktorvolym för ett avloppsvatten med halter över 1000 mg/l  $BOD_5$ .

Kapitalkostnaderna för denna metod blev därför inte mycket annorlunda än för andra metoder. En annan nackdel med det submersa filtret är sannolikheten för igensättning av filtret efter långa driftperioder.



### Exempel på forskning i U S A

Enligt Jewell har man vid Cornell University i U S A försökt att optimera det biologiska filtret genom att kraftigt öka massan av aktiva bakterier i systemet. Den hypotes man arbetar efter är att om den tillgängliga ytan för bakteriernas vidhållning maximeras och den volym som rymmer själva vätskan minimeras, så skall detta resultera i en maximal levande vidhäftande bakteriemassa i systemet.

Vid Cornell University beräknades att ett filter sammansatt av extremt små partiklar (d.v.s. mycket stor yta per volymsenhet) skulle medföra en mångdubblad ökning av den levande bakteriemassan per volymsenhet och alltså resultera i en optimerad process med kraftigt ökade behandlingshastigheter.

För att undvika igensättning av filtret konstruerades jäsningsanläggningen med ett uppåtgående flöde. Detta ledde till framtogandet av en jäsningsenhet liknande fluidiserade bäddar.

Genom att begränsa hastigheten på det uppåtgående flödet, vilket samtidigt innebar en besparing av processenergi, erhöles en jämn fördelning av flödet runt varje partikel.

Sammanfattningsvis ledde detta till en process kallad "den anaeroba fastsittande film expanderade bäddreaktor" (AAFEB). Data från denna process visar att metoden kan användas för att behandla primärt sedimenterat avloppsvatten vid rumstemperatur (20<sup>0</sup>) och med en hög effektivitet (d.v.s hög reduktion av suspenderade ämnen och organiskt material) med så kort uppehållstid som 30 minuter.

Laboratorieförsök har visat att processen är mer effektiv vid höga flödeshastigheter och låga temperaturer än många jämförbara biologiska processer.

En studie av AAFEB-reaktorer med väl utvecklade bakteriytor utfördes för att bestämma inverkan på processtabiliteten av ökande svängningar i variation hos olika huvudparametrar. (Temp: 10<sup>0</sup>C till 30<sup>0</sup>C, COD: 50 till 1000 mg/l och flödes-hastighet: 30 minuter till 6 timmars hydraulisk uppehållstid). En överraskande upptäckt var att plötsliga förändringar hos dessa variabler hade mycket liten påverkan på processens stabilitet och effektivitet.

Fastän dessa data härstammar från laboratorieförsök (maximala flödes hastigheten för avloppsvattnet var 400 liter per dygn), så visar de att denna anaeroba process eliminerar svårigheterna att jäsa vätskor med låga substratkoncentrationer under varierande miljöbetingelser.

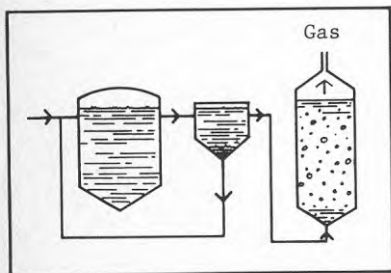
Eftersom AAFEB-processen inte riskerar igensättning, skulle det också vara möjligt att använda den för organiskt slam, som t ex utspädd flytgödsel och avloppsslam.

Försök har visat att uppehållstiden för flytgödsel (2 % t.s.-halt) var så kort som 3 timmar utan att processen blev instabil. Detta skulle öppna möjligheten att behandla utspädd flytgödsel och homogena substrat av liknande slag enligt denna metod. Bl a skulle nya möjligheter öppnas att jäsa vatten från algdammar på ett enkelt och effektivt sätt. Idag har man problem i U S A med alg tillväxt i stabiliseringsdammar för avloppsvatten. Det vatten, som skulle renats genom uppehållstiden i dammen, har därför ofta högre halt organisk substans (BOD) när det passerat dammen än det hade innan. Metanjäsning på algsuspensionen möjliggör rening av vattnet (minskad BOD) samtidigt som ett energiutbyte erhålls.

Professor W J Oswald från University of California, U S A, beskrev i sitt föredrag hur han tillsammans med sina medarbetare har prövat metanjäsning av alger i enkla täckta jorddammar. På grund av en avsevärd uppehållstid (över 20 dagar) och en låg t.s.-halt (ca 2 %) måste emellertid dammarna byggas i mycket stor skala. Man har även haft problem med skumbildning m.m. Jäsning enligt AAFEB-processen skulle kunna minska dessa problem.

#### Exempel på forskning i Sverige

Även i Sverige, på IVL i Stockholm, pågår forsknings- och utvecklingsarbete av submersa filter.



Den process, som utvecklats på IVL, sker enligt en tvåstegsmetod, som framförallt syftar till att behandla avloppsvatten från livsmedelsindustrin.

I en tvåstegsreaktor delas nedbrytningskedjan upp i ett första övervägande hydrolytiskt steg och ett andra metanbildande steg. I det första steget optimeras betingelserna för hydrolys av de komplexa organiska föreningarna och överföring av dessa i löslig form. Det suspenderade materialet i det utgående flödet avskiljs och pumpas tillbaka in i hydrolynsreaktorn eller tas ut som överskottsslam.

Vätskefasen från det första steget leds in i ett s.k. submerst filter där det organiska materialet slutligen omvandlas till metangas.

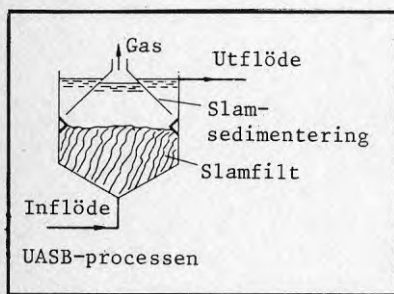
Fördelarna med denna metod är möjligheten att optimera processen efter avloppsvattnets sammansättning. Det går t.ex. att anpassa den mikrobiella uppehållstiden i hydrolysyreaktorn till hur svårhydrolyserat avloppsvattnet är. En annan fördel är att processen fungerar väl vid en för jäsnings så låg temperatur som 25°C. Om reaktorn förvaras mycket väl isolerad eller t.ex. inomhus, räcker den i jäsningsprocessen alstrade värmen till att underhålla temperaturen.

Man har på senare tid försökt utveckla processen så att den också skall kunna användas för jäsnings av starkt utspädda vätskor och klara en hög flödes-hastighet. Granulerat aktivt kol med diametern ca 1 x 3 mm har prövats som fyllnadsmaterial i det submersa filtret, i syfte att öka den mikrobiella uppehållstiden och därmed flödes-hastigheten.

Metoden har gett goda resultat som visar på möjligheterna att jäsa starkt utspädda vätskor, t.ex. kommunalt avloppsvatten, med en hög behandlings-hastighet (några timmars hydraulisk uppehållstid) och vid en temperatur på 20 - 25°C.

#### Exempel på forskning i Holland

Vid Wageningen Agricultural University i Holland har en metod utvecklats för jäsnings av avloppsvatten från sockerindustrin med mycket goda resultat, den s.k. UASB-processen.

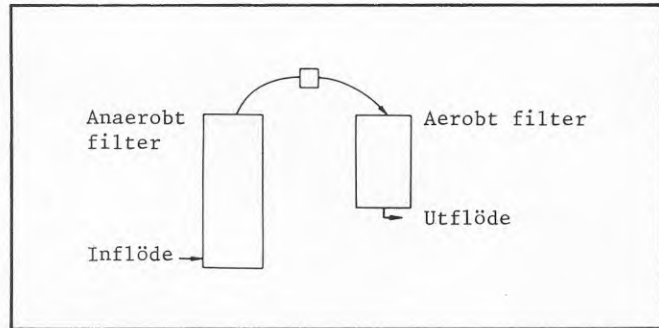


Metoden presenterades av Dr G. Lettinga på konferensen. Processen är ett "fluidiserad bädd"-system. Avloppsvattnet leds in i botten på jästanken och passerar genom en slamfilt där nedbrytningen sker av det organiska materialet. En mycket hög koncentration av mikroorganismer erhålles i jästanken tack vare en effektiv sedimenteringsteknik. Processen tillåter därför en exceptionellt hög belastning av organiskt material (ca 15 kg COD/m<sup>3</sup>·d).

### Exempel på forskning i Finland

På forskningscentrat i Imatra och på universitetet i Helsingfors har man nyligen utvecklat ett anaerobt filter för rening av industriella avloppsvatten som innehåller klorofenoler (exempelvis avloppsvatten från pappersmassafabriker). Anläggningen består av två filter, ett anaerobt och ett aerobt. Båda filtren är uppbyggda av tallbark. När avloppsvattnet passerat filtren har halten klorofenol minskat med 97,9 procent.

Sammanfattningsvis tycks det således som om "direktjäsning" av avloppsvatten, både kommunala och industriella, har goda framtidsutsikter. I dag sker i allmänhet behandlingen av dessa avloppsvatten med aeroba, energikrävande metoder. Framförallt gäller detta kommunalt avloppsvatten. Utnyttjande av anaeroba metoder för avloppsbehandling skulle kunna vända denna energiförbrukning till en energiproduktion i framtiden.



## 2. Jäsning av gödsel och liknande organiskt material

### Exempel på forskning i U S A

Inom en nära framtid tycks det finnas möjligheter till en utbredd användning av metangasanläggningar inom jordbruket. Nya billiga reaktorutformningar har utvecklats i U S A, som tycks ha goda möjligheter att få stor användning vid jäsning av gödsel i länder med både varmt och kyligt klimat. Främst är det gödsel och annat organiskt substrat med en t.s.-halt mellan 8 och 13 procent som lämpar sig för jäsning enligt denna teknik.

Nedan följer den beskrivning av förhållandena i U S A som framställdes av Dr T Hayes på konferensen om de möjligheter som metanjäsningstekniken beräknas kunna erbjuda inom jordbruket i framtiden.

Det har uppskattats att organiskt avfall från allt jordbruksland i U S A skulle kunna användas till att årligen producera energi till ett värde av mer än 30 billioner dollar.

Ökad växtproduktion och utnyttjande av nyligen nedlagd jordbruksmark skulle kunna öka denna mängd till så mycket som en tredjedel av U S A:s totala energibehov, vilket överskrider den nuvarande mängden av alla importerade bränslen.

Storleken och fördelningen av lantbruk i U S A och den alstrade mängden organiskt avfall tyder på, att så mycket som 75 procent av den totala jäsbara avfallsmängden produceras på mindre gårdar.

Dessa gårdar har en gödselproduktion på mindre än 3 ton torrsvikt per dag, räknat över hela året (3 ton motsvarar en gödselmängd från 600 kor).

Detta mönster understryker behovet av att utveckla metangeneratorer som kan konstrueras, skötas och underhållas på ett sätt som är ekonomiskt möjligt för de mindre gårdarna.

Vid Cornell University i U S A utfördes år 1976 detaljerade energibalansstudier för medelstora gårdar med mjölk- eller köttproduktion. Den totala energiförbrukningen per mjölkko vid 40- resp 100 djurenheter befanns vara  $4,1 \times 10^6$  resp  $3,1 \times 10^6$  kcal/år. Beroende på utformningen av jäsningsanläggningen uppskattades den potentiellt tillgängliga energin erhållen ur jordbruksavfall till  $3,4 \times 10^6$  -  $5,4 \cdot 10^6$  kcal för en 100-koenhet. Dessa energibalanser visade att den energimängd, som används inom jordbruket, ofta är lika



stor eller överskrids av den energimängd, som kan alstras ur avfall.

Resultaten visade således på den intressanta möjligheten att utveckla jordbruksenheter som är självförsörjande med energi. Vanliga bränslen som bensen, dieselolja och naturgas skulle kunna ersättas med metangas. Även elproduktion på gårdarna skulle vara möjlig.

Emellertid tycks konventionella jäsningsmetoder inte vara ekonomiskt gångbara. De höga fasta kapitalkostnaderna har gjort att priset på den resulterande energin ligger mellan 2 och 10 gånger så högt som priserna för de energislag som används idag.

Hittills har utformningen av jästankar för jordbruksavfall och industriavfall ofta baserats på de riktlinjer som gäller för stabilisering av avloppsslam vid reningsverk. Rekommendationerna vid utformning av dessa anläggningar har de senaste årtiondena bestått i en cylindrisk stabil tank, en hög grad av omblandning, upphettning till 35°C, pH-kontroll och kontinuerlig beskickning.

Fastän det finns data i litteraturen, som dokumenterar de positiva effekterna av var och en av dessa faktorer när det gäller reaktorutformning för avloppsslam så skulle det vara fel att anta att samma kriterier gäller för jäsnings av gödsel.

Det är helt klart att det behövs nya kriterier för jästanksutformning, som är anpassade till jäsnings av gödsel och annat jordbruksavfall.

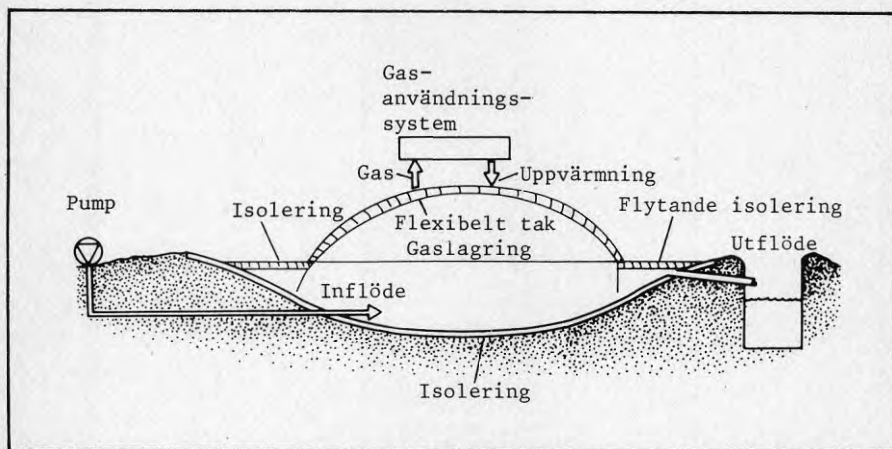
Den största nackdelen med att använda dessa tjockväggiga jästankar enligt konventionell typ på små lantgårdar är den höga kostnaden. I en analys utförd på Cornell University befanns priset på de flesta tjockväggiga tankar i 50 - 100 n.e.-skalan vara omkring 100 dollar per kubikmeter. Å andra sidan visade det sig att en jästank konstruerad som en jordbassäng, försedd med ett täckdike och en gummiduk, skulle kunna kosta omkring en tredjedel, dvs 35 dollar/kubikmeter. Från dessa exempel framgick att med enkla jord-anläggningar skulle ekonomin för metanjäsning på enskilda gårdar kunna förbättras avsevärt.

Huvudmålet vid Cornell University blev att utveckla enkla reaktorer, genom att använda billiga byggnadsmaterial och införa en förenklad kontroll och drift av reaktorn.

n.e. = djurenheter

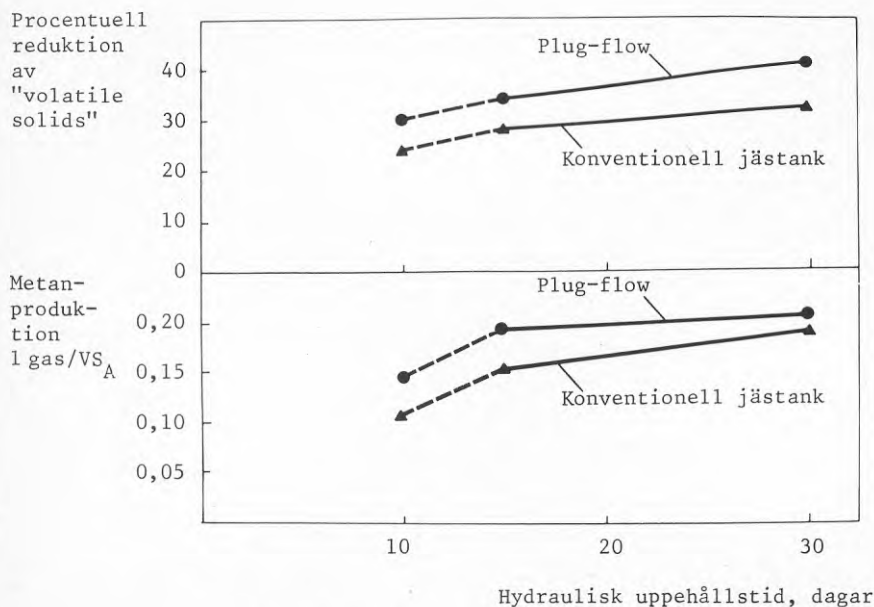


Man inriktade sig på att utveckla jordanläggningar som isoleras och kläds invändigt med ett gummimaterial (hypalon). Anläggningarna var av plug flow-typ och hade begränsad eller ingen omrörning under jäsningsförloppet.  
(En "plug-flow"-anläggning kan i princip liknas vid ett horisontellt rör, genom vilket materialet förflyttas successivt under jäsningsprocessen.)



För att undersöka effekten hos en sådan jästankskonstruktion byggdes en fullskaleanläggning samt en annan anläggning av konventionell typ. Plug-flow-reaktorn byggdes i en urgrävning i jorden och av gummimaterial medan den konventionella reaktorn av motsvarande storlek byggdes enligt typ rötkammare för avloppsslam.

Anläggningarna kördes parallellt på kogödsel (från 22 - 65 mjölkkor) och under varierande driftförhållanden: 10 - 12 procent t.s.-halt, 10 - 30 dygns hydraulisk uppehållstid och vid temperaturerna 35°C och 22°C.



Jämförelse mellan plug-flow-reaktorer och konventionella jästankar i fråga om omvandling av organiskt material och metanproduktion vid jäsning i full skala (13% t.s.)

VS (volatile solids) = det organiska material som förbränns vid upphettning till ca 600°C.

Plug-flow-designen uppnådde vid denna test 10 till 30 procent större omvandling av organisk substans än den konventionella reaktorn och en betydligt större metanproduktion per enhet nedbruten substans.

För första gången visades därmed att den enkla billiga plug-flow-reaktorn är mer effektiv än den som vanligen används för behandling av avloppsslam.

Man har även gjort mätningar på jordanläggningarna vintertid. De data man fick fram visade att oisolerade eller dåligt isolerade jordanläggningar inte gav ett nettoenergitillskott under vintern.

När plug-flow-reaktorn kördes med taket ("gas-locket") exponerat utan isolering, behövdes 17 % mer energi för att upphetta jästanken än som producerades (omgivn.temp. var 10°C). Emellertid visade resultaten att om anläggningen isolerades erhöles en mycket god nettoenergiproduktion. Till och med vid en omgivningstemperatur på omkring -18°C erhöles en nettoenergiproduktion på 44 % av den totala gasproduktionen.

Med hjälp av ett computer-program, som konstruerats utifrån fysikaliska/kemiska reaktioner och kända förhållanden kan man vid Cornell University förutsäga energibalansen för plug-flow-anläggningar av varierande storlek, beskicksningshastighet och utformning. Stigande reaktorskala ökar nettoenergiproduktionen per ko, vilket främst beror på en minskning i yt/volym-förhållandet och därmed minskade värmeförluster genom väggarna.

Man har också genom simulering av jäsningsprocessen vid olika reaktorstorlekar kommit fram till att den mesta energin går åt till att värma upp det ingående materialet. Denna energiförlust går dock att åtgärda genom att använda värmväxlare m m.

#### Ekonomi för metangasproduktion enligt plug-flow-metoden

Ekonomi för produktion av metangas vid små gårdar med mjölkproduktion beror på ett antal faktorer som är svåra att generalisera för alla typer av jordbruk. Det kan med säkerhet påstås att två lantbruk inte kan vara exakt lika i utformning, driftmetoder, teknik för gödselhantering, produktion etc.

De allra viktigaste aspekterna på metanproduktionsekonomi, kan emellertid anges. Kostnaderna kan baseras på antaganden som är realistiska för ett brett tvärsnitt av lantbruk.

Ekonomisk analys av jäsning av kogödsel enligt plug-flow-modellen  
vid Cornell-universitetet

	25 kor	50 kor	100 kor	500 kor
Kapitalkostnader, dollar	12.947	16.900	22.300	54.000
Räntekostnader, dollar	4.839	5.069	6.050	9.053
Underhåll, dollar	454	590	781	1.899
Driftskostnader, dollar	356	512	825	3.325
Nettoenergi prod $10^6$ Kcal/år	51,4	108	219	1.080

Resultat:

Energiproduktionskostn, dollar/ $10^6$ Kcal	28,50	19,60	14,25	9,60
Med lejd arbetskraft	28,50	19,60	14,25	9,60
Utan lejd arbetskraft	21,55	14,85	10,48	6,47
Avskrivningsperiod, år	6,9	4,9	3,6	2,2

De största kostnaderna för de två anläggningar på 100 och 500 kor som har undersökts, är kostnaderna för isolering av jordbassängerna (omkr 20 % av den totala kostnaden), för arbete (16 %) och för den duk som samlar upp gasen.

För gårdar med mindre än 100 mjölkkor, är inte storleken på jordanläggningen en kostnadskänslig variabel. En 33 %-ig ökning av volymen resulterar i en tilläggskostnad på 7 till 8 %, för dessa mindre gårdar.

Förklaringen är den relativt låga konstruktionskostnaden för själva reaktorbassängen jämfört med fasta kostnader såsom värmeutrustning, ledningar, elektrisk utrustning etc. Även vid en 500-kreaturskala ökar kostnaderna endast med 15 procent vid en 33 procentig volymökning. Det finns således en flexibilitet i valet av reaktorstorlek för att matcha förväntade metangasbehov utan att därför väsentligt öka kapitalkostnaderna.

Computerberäkningar har visat att om nästan all metangas kan utnyttjas i jordbruket, så kan kostnaderna för att omvandla boskaps gödsel till metangas tävla med kostnaderna för propan och eldningsolja. Produktionskostnaderna för metangas tycks speciellt gynnsamma för gårdar på 50 djur eller mer.

För gårdar med 100 mjölkkor eller mer uppskattas att metangas kan alstras med förenklade anaeroba system (enligt plug-flow-modell) till en kostnad av 50 till 60 procent av kostnaderna för flytande bränsle i U S A.

Det poängterades emellertid av Hayes, att fastän ekonomin tycks lovande, så kommer värdet på den producerade metangasen att bero på den grad som konventionella bränslen kan ersättas av metangas från gården. De ekonomiska analyser som presenterades här förutsatte att mer än 90 % av den årliga alstrade metangasen utnyttjas.

De ekonomiska analyserna belyser emellertid inte kostnaderna för förvaring av gasen och möjligheterna till effektivt utnyttjande av gasen inom jordbruket (matchning av gaskonsumtion och gasproduktion).

Anledningen är att olika lagrings- och användningssystem kan variera avsevärt i fråga om kostnad och komplexitet.

Det är emellertid klart att om metangas kan alstras på gården till en kostnad långt under dagens energipriser, så kan en viss grad av gasförluster tolereras. Enligt data i tabellen som gäller gårdar med 50 mjölkkor eller större, så kan 20 till 40 % av nettogasen gå till spillo innan metanproduktionskostnaderna börjar överstiga kostnaderna för flytande bränslen i U S A.

Den enklaste användningen av metangas är uppvärmning av vatten och luft genom direkt förbränning. För större jordbruk ( $\geq 100$  kor) kan ytterligare investeringar i utnyttjandesystemet behövas. Produktion av elektricitet från metangasdrivna interna förbränningsmotorer kan framstå som attraktivt, beroende på den mängd elektrisk utrustning, frysningsenheter m.m. som förekommer på gården. Dessa skulle då kunna drivas direkt med metangas.



Gaskompression och lagring av komprimerad gas innebär i allmänhet en betydande kapitalinvestering; sådana system skulle dock kunna medföra en förbättrad matchning mellan energibehov och energiproduktionsmönster inom jordbruket. Överenskomelser med myndigheterna om att få sälja överskott av metangas eller elektricitet framställd på gården kan också behövas i framtiden. Sådana arrangemang skulle kunna försäkra ett totalt utnyttjande av metangasen. Mer forskning och analyser i fråga om utnyttjande och lagring av metangas på små gårdar är utan tvekan behövt.

#### Exempel på forskning i Danmark

Danmark är det land i Norden, där det finns satsas mest på metanjäsning. De höga oljepriserna och tillgången på stora högmekaniserade gårdar har drivit på utvecklingen av metangastekniken.

Eftersom jordbruket i södra Sverige bedrivs på liknande sätt som i Danmark, är den forskning och utveckling som pågår i Danmark intressant även för Sveriges del.

Situationen för Danmarks jordbruk kan karaktäriseras enligt följande.

Utvecklingstrenden för animalieproduktionen i Danmark är hög mekanisering och specialisering. Ett typiskt framtida danskt jordbruk är en gård med ca 70 mjölkkor eller en gård med omkring 800 svin. Jordbruket drivs som familj jordbruk och är högmekaniserat.

För Danmarks lantbrukare och för det danska samhället är gödselhanteringen ett problem idag, som kommer att bli ännu större i framtiden. Hög mekanisering och modern gödselhantering innebär att gödsel, urin och vatten (vid renspolningar) samlas upp i en lagringstank i anslutning till djurstallarna. Vid lagringen av flytgödseln uppstår illaluktande, giftiga gaser. Flugor och parasiter förökar sig snabbt i flytgödseln.

Förhållandet mellan antalet djur och arealen åkermark ökar också stadigt. Vid spridningen av gödseln är det därför lätt att överbelasta det hydrologiska systemet. Genom ytavrinningen förenas vattendrag runt åkermarken.



Metanjäsning är för dessa högmekaniserade jordbruk en metod som innebär bättre kontroll av gödselhanteringen, och som gör att de ovan beskrivna miljöproblemen försvinner helt eller delvis. Den kan göra gårdarna självförsörjande med energi för uppvärmning, torkning av foder, elektricitet etc.

#### STUB-projektet:

År 1978 anslog det danska handelsministeriet 3 miljoner Dkr för ett forsknings- och utvecklingsprojekt rörande metangasproduktion ur gödsel. Syftet med projektet är att utveckla en metangasteknologi som är anpassad till det danska jordbruket. Projektet genomförs av en grupp kallad STUB-gruppen (Projektgruppen för utveckling av biogasteknologi).

Gruppen består av nio organisationer:

Askov Forsøgsstation  
 Danmarks Ingeniør Akademi  
 Jordbruksteknisk Institut  
 Jordbruksøkonomisk institut  
 Landskontoret for Bygninger og Maskiner  
 Instituttet for Veterinaer Mikrobiology og hygiejne, KUL  
 SBI, afd. for landbrugsbygninger  
 Teknologisk Institut  
 Carl Bro A/S, konsulterande ingenjörer

Projektet omfattar följande punkter:

1. Bygga och testa tre fullskaleanläggningar på tre befintliga lantgårdar.
2. Mäta och testa redan befintliga metangasanläggningar i Danmark.
3. Experiment med och utveckling av processteknologin.
4. Experiment, som gör det möjligt att bestämma de jordförbättrande egenskaperna hos det jästa slammet, reduktionen av parasiter under jäsningsförloppet samt miljövinster i samband med jäsningen, d.v.s. minskningen av luktproblem och organisk belastning (BOD).
5. Informationservice när det gäller jordbruksfrågor och tekniska frågor till landbrukare, småindustrier och allmänheten i övrigt.

De tre fullskaleanläggningarna, punkt 1 i projektet, presenterades på konferensen av Ing. G.Gron, Carl Bros Ing., Glostrup, Danmark. Anläggningarna startade vid midsommar 1979.

I den förundersökning som gjordes innan den slutliga utformningen av anläggningarna bestämdes kom man fram till följande:

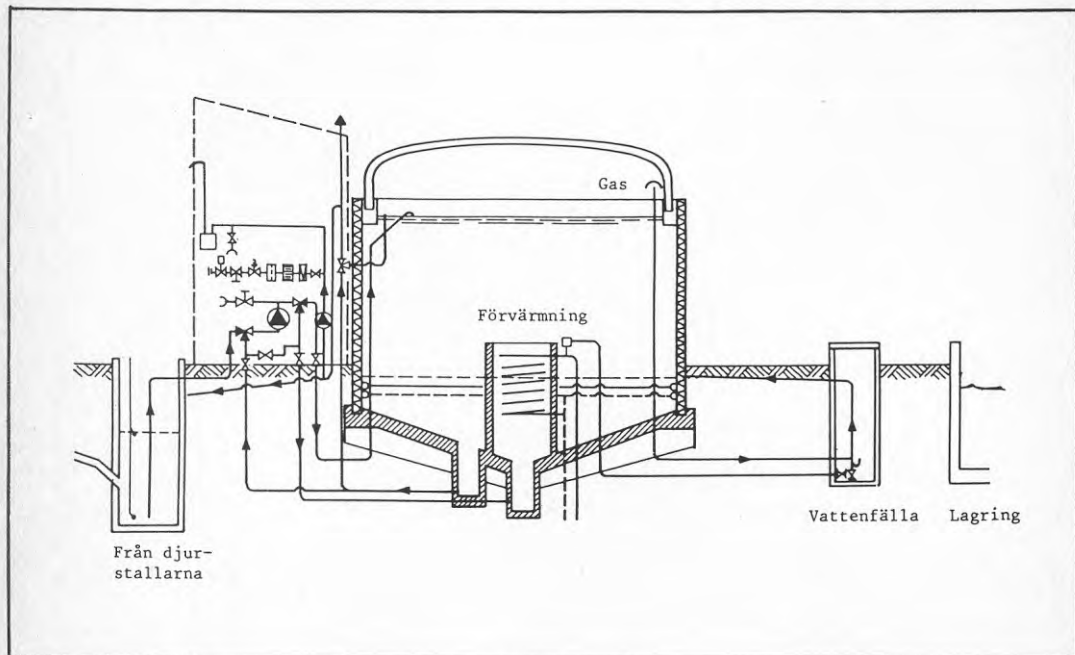
- Stora ståltankar kostar i Danmark 50 % mer per kubikmeter volym än betongtankar.
- Separat gaslagring i vanliga gasbehållare eller tryckcylindrar kostar tre till fyra gånger mer än lagring under rörligt lock (flytande gas-klocka).
- Yttre värmväxlare är alltför dyra jämfört med inre värmeslingor.
- Recirkulering av vätska med hjälp av pump är det billigaste sättet att klara omrörningen, under förutsättning att pumpen dubbelutnyttjas, det vill säga används både för recirkulering av slam och transport av gödsel till tanken.

Anläggningarna konstruerades så att de skilde sig åt i fråga om processutformning, byggnadsmaterial och gasanvändningssystem. Varje anläggning anpassades för en viss gödseltyp.

De karakteristiska egenskaperna framgår av nedanstående tabell.

Anläggn nr	1	2	3
Gödseltyp	Svin	Mjölkkor + svin	Mjölkkor
Antal gödselproducerande djur	1700 svin	96 kor 500 svin 100 suggor	150 kor med kalvar
Processtyp	Kontinuerlig ett-stegs-jäsning	Kontinuerlig två-stegs-jäsning	Kontinuerlig ett-stegs-jäsning
Processutformning	Fullständig omrörning	Fullständig omrörning	Plug-flow
Reaktorstorlek	1 x 270 m <sup>3</sup>	2 x 180 m <sup>3</sup>	2 x 200 m <sup>3</sup>
Reaktormaterial och konstruktion	Glasfiber förstärkt med polyester med flytande GRP gasklocka	Gjuten betong med rörlig PVC-gasklocka (1 mm tjock PVC-duk)	Betongsten med rörlig PVC-gasklocka
Gasanvändning	Elproduktion + värmeåtervinning	Gaseldade varmvattenpannor	Elproduktion + värmeåtervinning

## Nr 1. (Gadebjerggård)

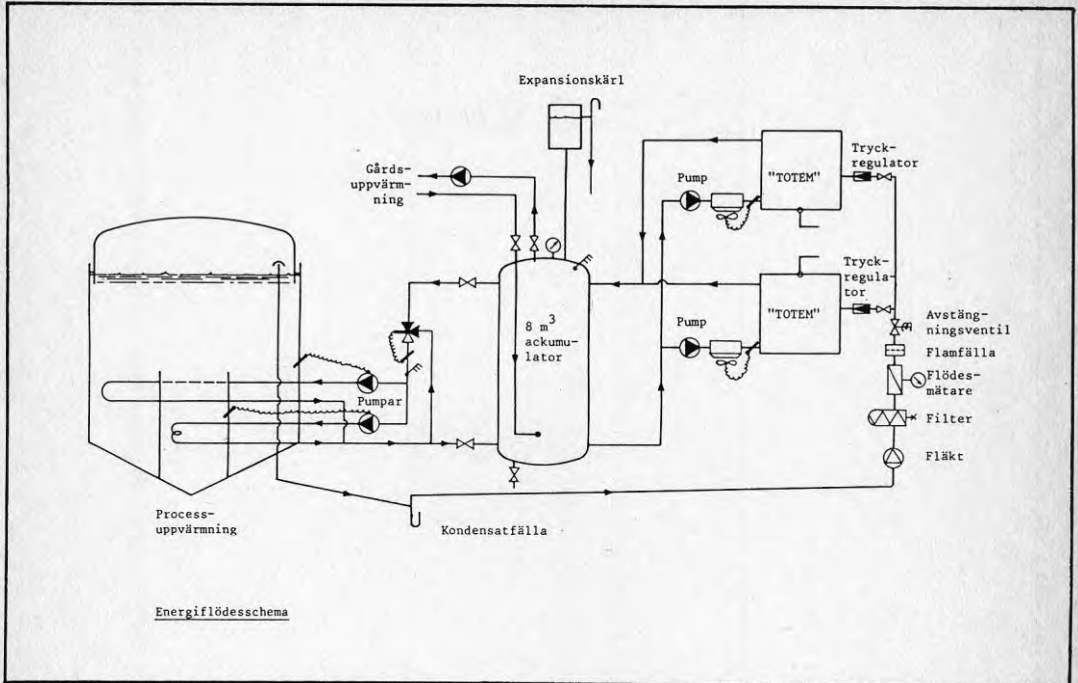


Anläggning: 1 reaktor å  $290 \text{ m}^3$   
 1 förvärmningstank å  $10 \text{ m}^3$   
 1 gasklocka å  $50 \text{ m}^3$

Djurantal: 1500-1800 svin

Gödselelængd: I genomsnitt  $10 \text{ m}^3/\text{dag}$

Förväntad gasproduktion: Ungefär  $250 \text{ m}^3/\text{dag} \sim 130 \text{ kg olja/dag}$   
 Energin omvandlas i en gasdriven elgenerator. Spillvärmen från kylvattenet och avgaserna återvinns och utnyttjas för uppvärming.



### Ekonomi

#### Kapitalkostnader

Reaktor och jordarbete	140.000 Dkr
Ledningsarbete	115.000 "
El-arbete	25.000 "
Generator	80.000 "
Pump och generatorhus	30.000 "

Byggnadskostnader	390.000 Dkr
Detaljarbeten m m	30.000 Dkr

Total investering 420.000 Dkr

Statsbidrag	180.000 Dkr
Lantbrukarens investering	240.000 "

Löpande kostnader (förväntade) 10.000 Dkr/år

Årlig inkomst

Producerad elenergi 135.000 kWh/år

Värdet av den utnyttjade  
elenergin (100.000 kWh/år)  $100.000 \times 0,27$   
= 27.000 Dkr

Värdet av den elektricitet som  
säljs till det allmänna elnätet  
(35.000 kWh/år)  $35.000 \times 0,13$   
= 4.500 Dkr

Värdet av spillvärmén  $180.000 \text{ kWh/år}$   
=  $180.000 \times$   
 $0,15 \text{ Dkr} =$   
27.000 Dkr

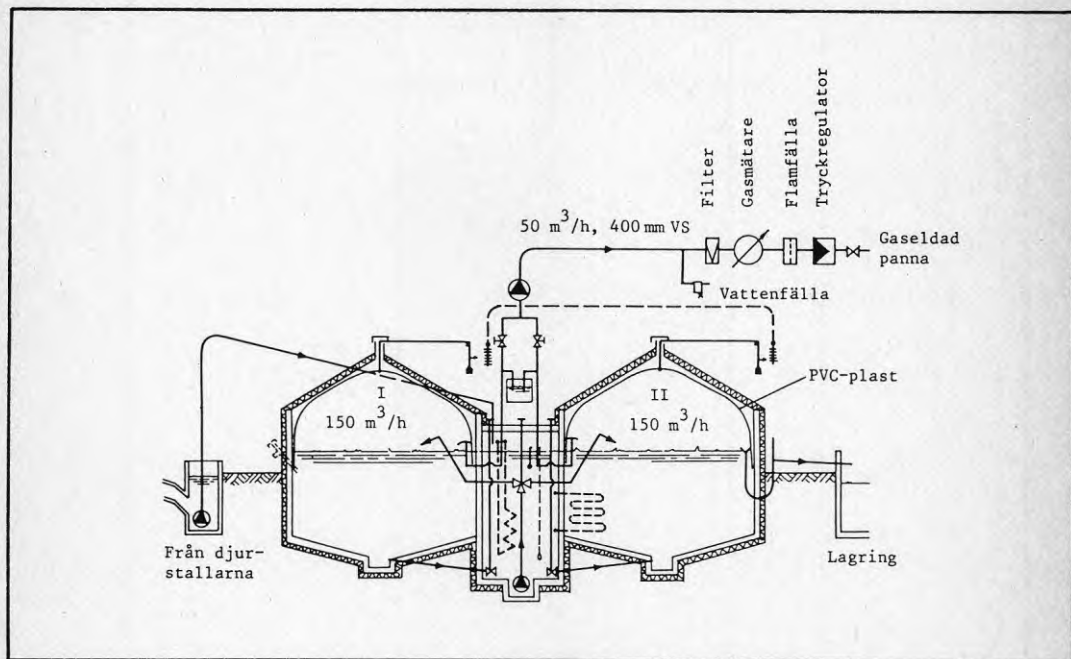
Det antas emellertid att endast hälften av den  
alstrade spillvärmén skall kunna utnyttjas direkt  
inom jordbruket.

Den totala inkomsten blir därför:

$$27.000 + 4.500 + \frac{27.000}{2} = 45.000 \text{ Dkr}$$



## Nr 2. (Gråsten)

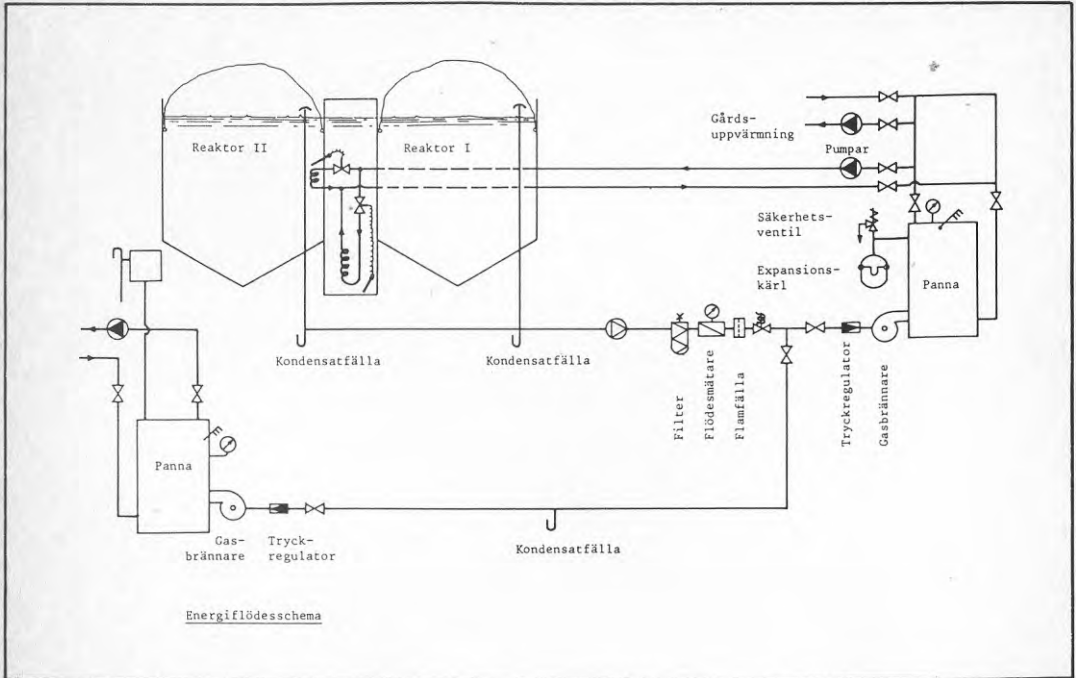


Anläggning: 2 reaktorer à  $180 \text{ m}^3$  vardera  
 1 förvärmningsrum à  $20 \text{ m}^3$   
 2 "gasballonger" à  $80 \text{ m}^3$  vardera

Djurantal: 100 mjölkkor  
 100 suggor med avkomma  
 500 svin

Gödselmängd: Totalt  $15-18 \text{ m}^3$ /dag.

Förväntad gasproduktion: Ungefär  $350 \text{ m}^3$ /dygn, motsvarande  
 180 kg olja/dygn ( $1 \text{ m}^3$  gas =  
 5600 kcal).  
 Energin omvandlas till varmvatten i  
 2 gaseldade pannor. Ungefär 1/3 av  
 energin går åt till att värme göd-  
 seln till  $35^\circ\text{C}$  och att täcka värme-  
 förluster i systemet.



### Ekonomi

#### Kapitalkostnader

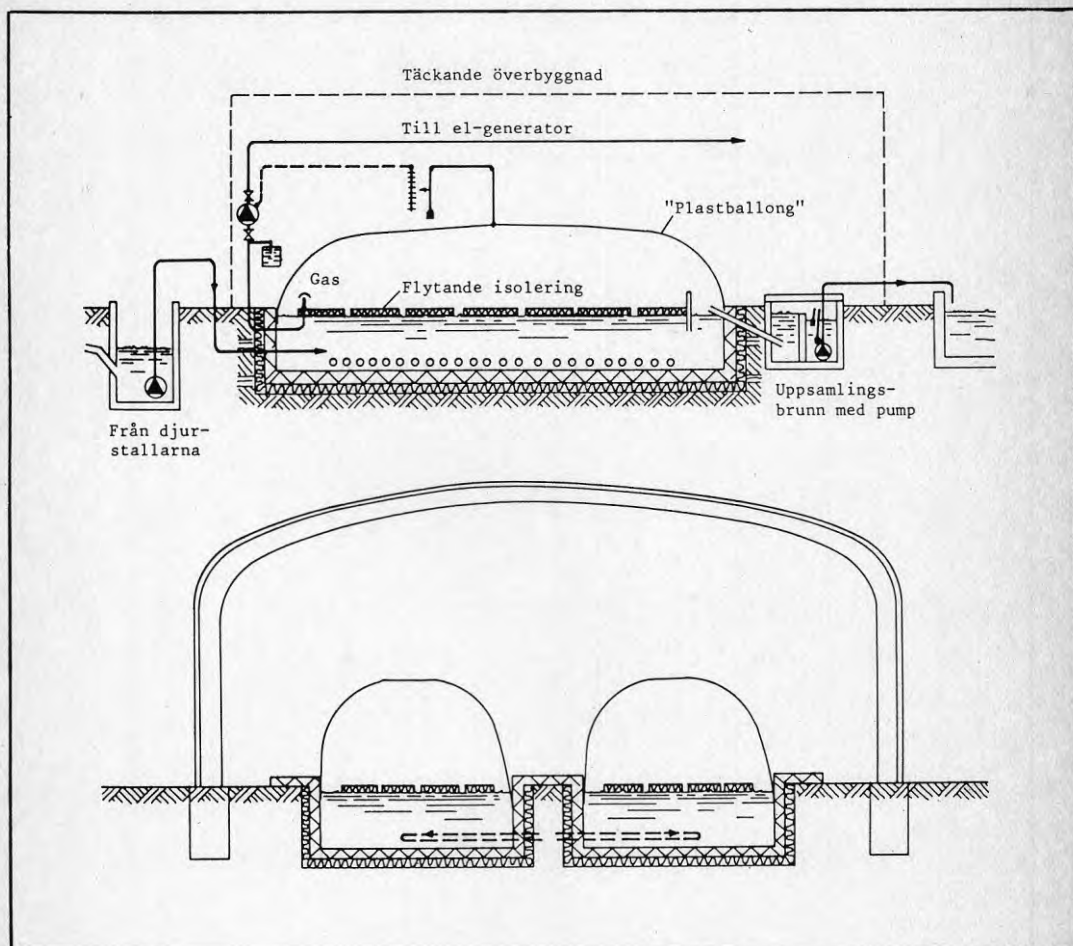
Reaktorer, byggnadsarbeten, jordarbeten	285.000 Dkr
Ledningsarbeten, varmvatten- pannor etc	185.000 "
El-arbeten	35.000 "
<b>Totala byggkostnader</b>	<b>505.000 Dkr</b>
Statsbidrag	245.000 Dkr
Lantbrukarens investering	260.000 "
Löpande kostnader (förväntade)	10.000 "

#### Årlig inkomst

Värmeproduktion:  $\frac{2}{3}$  av 180 kg olja per dygn =  
 $120 \times 365 = 43.800 \text{ kg/år}$   
 nuvarande oljepris:  
 $1,5 \text{ Dkr/liter} = 1,72 \text{ Dkr/kg}$

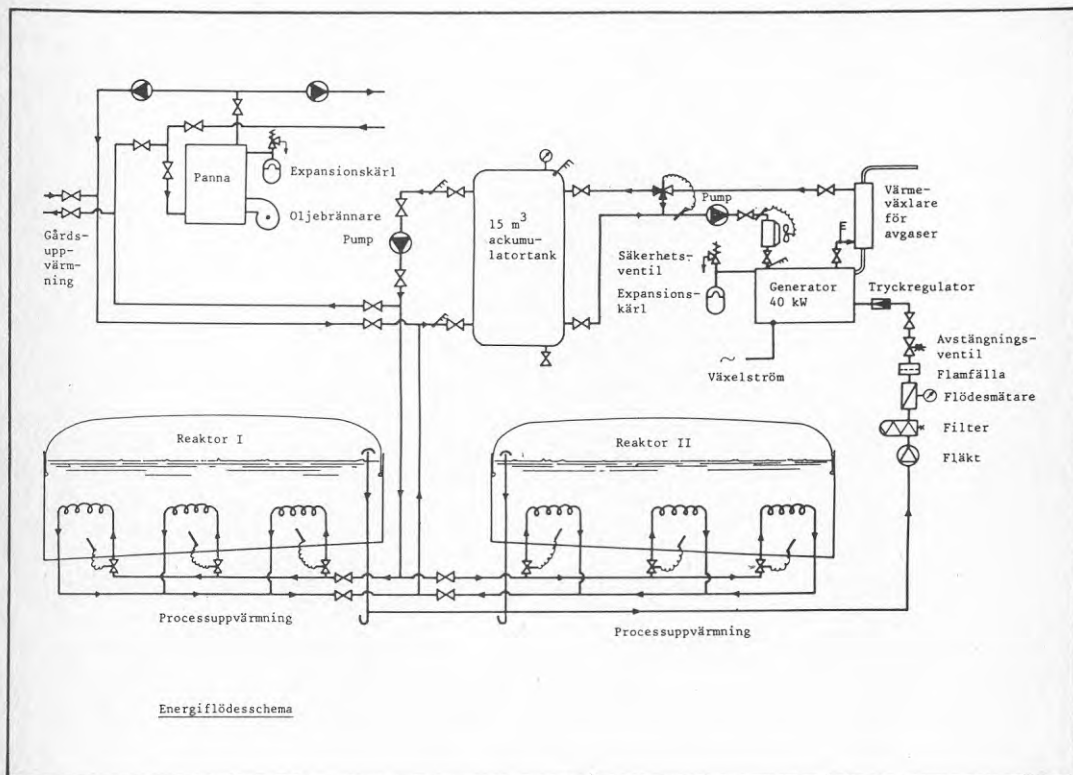
Total årlig inkomst:  $43.800 \times 1,72 = 75.000 \text{ Dkr}$

## Nr 3. (Assendrup Hovedgaard)



- Anläggning: 2 isolerade betongbassänger à 200 m<sup>3</sup> vardera  
 2 "gasballonger" à 120 m<sup>3</sup> vardera  
 1 uppsamlingstank med pump
- Djurantal: 160 mjölkkor
- Gödsemängd: 12,5 m<sup>3</sup> dag

Förväntad Ungefär  $300 \text{ m}^3/\text{dygn} \sim 150 \text{ kg}$  olja/  
 gasprodukton: dygn. Energin omvandlas i en gas-  
 driven generator. Spillvärmern från  
 kylvattnet och avgaserna återvinns  
 och används för uppvärmning.



Ekonomi

Reaktorer, byggnads- och jordarbeten	160.000 Dkr
Ledningsarbeten	190.000 "
El-arbeten	65.000 "
Generator	<u>65.000 "</u>
Totala byggkostnader	<u>480.000 Dkr</u>
Statsbidrag	120.000 Dkr
Lantbrukarens investering	360.000 "
Löpande kostnader	10.000 "

Årlig inkomst

Elproduktion:	160.000 kWh/år	
Värdet av utnyttjad elektricitet (110.000 kWh/år)	$110.000 \times 0,27 =$	30.000 Dkr
Värdet av såld elektricitet:	$(50.000 \times 0,13) =$	6.500 Dkr
Värdet av spillvärmen (215.000 kWh/år):	<u><math>215.000 \times 0,14</math></u>	<u>Dkr = 32.000 Dkr</u>
Total årlig inkomst:		68.500 Dkr

Kapaciteten hos generatorm, gaslagringen och vattenackumulatorm är balanserade så att generatorm stannar på kvällen när gaslagret fylls på och vattnet är uppvärmt i ackumulatorm.



3. Teknik för jäsning av torra substrat  
(halm, växtavfall, organiskt hushållsavfall m.m.)

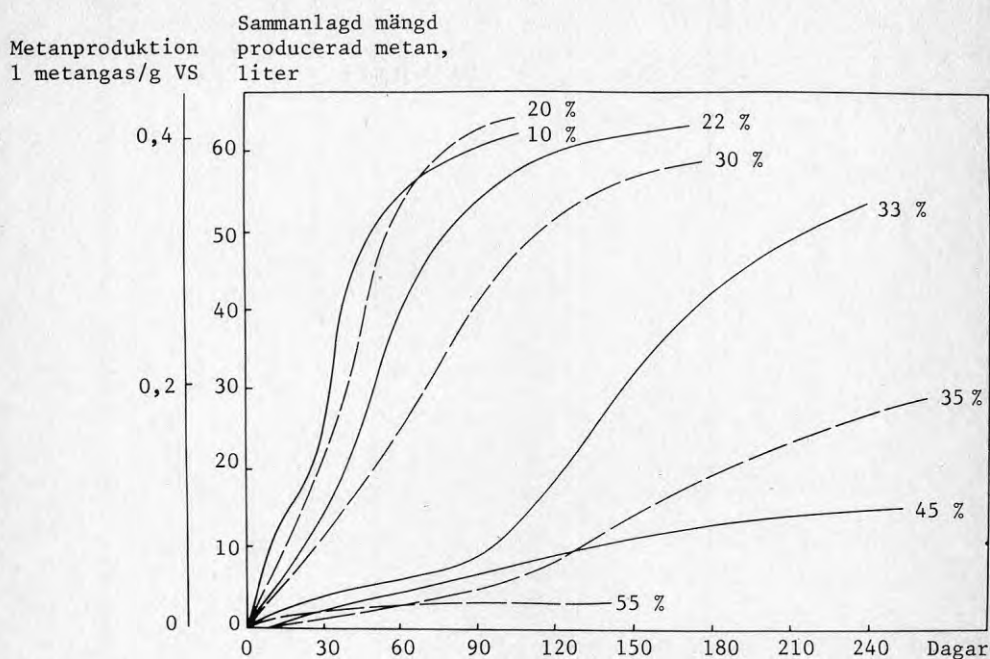
Forskning vid Cornell University, U S A, och på andra platser har nyligen visat intressanta resultat i fråga om jäsning av torra substanser.

Fastän de flesta typer av jäsningsanläggningar fordrar en t.s.-halt på 10 % eller mindre på det ingående substratet, finns det klara bevis på att en betydande metangasproduktion kan uppnås vid mycket högre t.s.-koncentrationer.

I ett försök i laboratorieskala på Cornell University 1976 visade det sig att omvandlingshastigheten vid jäsning av en blandning av halm och kogödsel med en t.s.-halt på 25 % inte skilde sig nämnvärt från omvandlingshastigheten vid jäsning med 10 % t.s.-halt.

Vattenhaltens betydelse för produktionshastigheten av metangas vid jäsning av organiskt material framgår av fig. Dessa data visar en betydande sänkning av produktionshastigheten först vid t.s.-halter över 32,5 procent. Försöken utfördes i 1 - 20 litersreaktorer under pH-kontroll och med bakterieympning (Wujcik 1979).

(Se fig. nästa sida).



T.s.-haltens betydelse för metangasproduktionen.  
Substratet är kogödsel med varierande ursprunglig t.s.-halt.

För att undersöka potentialen vid en uppskalering av dessa "torra" reaktorer, startades jäsningsförsök i en 5 m<sup>3</sup> tank med en blandning av halm, vatten och kogödsel. pH-sänkningen i försökets början kontrollerades genom tillsats av natriumbikarbonat. Denna reaktor startades i oktober 1978 och 9 månader<sup>3</sup> efter starten, producerar reaktorn fortfarande 0,3 m<sup>3</sup> gas per dag.

Av de laboratorieförsök och småskaliga försök som gjorts på torra substrat verkar det således som om reaktorer utformade för dessa substrat under kontroll kan ge motsvarande kvantiteter metangas som reaktorer för våtare substrat och som utrustats med mekanisk omrörning.

Fastän de "torra" reaktorerna tycks vara en intressant vetenskaplig upptäckt, kvarstår frågan: "Hur kan de nya kunskaperna om "torra" reaktorer användas för att utforma ett praktiskt och användbart system".

För det första behöver man utreda olika metoder för beskickning av jästanken. När det gäller jordbruksavfall kan man emellertid utgå ifrån att satsvis jäsning krävs. Detta hänger framförallt samman med antagandet att metoderna för insamling, transport och förvaring av vegetabiliskt avfall i framtiden kommer att vara ungefär desamma som idag.

Ur nettoenergisympunkt är minimal hantering och förbehandling ett huvudkrav om jäsning av torra substrat skall bli intressant. Satsvis beskickning en eller två gånger per år kan antas minimera kravet på arbete och hantering av avfallet samt behovet av förbehandling.

Den långa tiden mellan beskickningarna vid satsvis jäsning är också motiverat av andra skäl. Nedbrytningshastigheten kommer att vara relativt långsam för den cellulösrika delen av avfallet. Uppehållstider på 100 till 300 dagar kan därför krävas för att hög omvandling av det organiska materialet skall uppnås.

För att illustrera vad jäsning av torra substrat kan innebära ur energisympunkt har beräkningar gjorts utifrån följande exempel:

En jästank fylls med jordbruksavfall av följande sammansättning: 70 procent består av vatten, 30 % av organiskt material, varav 80 % är volatile solids (VS), 50 % av VS är nedbrytbart.

Totala gasutbytet från denna jästank är omkring  $90 \text{ m}^3/\text{m}^3$  jästank. Halten metan i gasen är större än 60 procent. Detta innebär en energiproduktion på  $477,960 \text{ kcal}/\text{m}^3$  jästank. Varje "satsning"<sup>3</sup> producerar energi till ett värde av 5,6 dollar/ $\text{m}^3$  jästanksvolym.

Om det ryms två eller tre "satsningar" på ett år, blir således den totala inkomsten 11,2 dollar och 16,8 dollar per  $\text{m}^3$  och år.

Denna inkomstpotential begränsar den acceptabla investeringen i kapital för de storskaliga reaktorer som det här blir fråga om. Särskilda försök krävs att få fram reaktorer till låga kostnader.

Den totala mängd värme som avges under själva processen är  $39536 \text{ kcal/m}^3$  reaktor. Det är intressant att jämföra denna kvantitet energi med den som krävs för att upprätthålla reaktortemperaturen på optimal nivå. Två energitillskott krävs för detta ändamål: 1) ett initialt energitillskott för att höja temperaturen i reaktorinnehållet till en önskad nivå, 2) ett kontinuerligt energitillskott för att kompensera för värmeförluster.

Om man antar att det organiska materialet tillförs jästanken vid en medeltemperatur på  $10^\circ\text{C}$ , så skulle den erforderliga energimängden för att värma jästanken till mesofila temperaturer (ca  $35^\circ$ ) och termofila temperaturer (ca  $65^\circ$ ) vara  $20120 \text{ Kcal/m}^3$  resp  $36040 \text{ Kcal/m}^3$ . Således skulle den alstrade värmemängden från processen vara tillräcklig för att värma jästanken upp till antingen mesofila eller termofila temperaturer.

Det finns ett praktiskt problem med att klara uppvärmningen av jästanken i början av processen med enbart värme från den anaeroba reaktionen. Det tar nämligen många dagar innan denna energimängd kan avges.

Emellertid skulle man kunna utnyttja aeroba värmealstrande processer i början av jäsningsen, dvs låta nedbrytningen ske under syretillförsel för att på så vis höja temperaturen. Den aeroba processen skulle då omvandla en del organiskt kol till koldioxid i stället för metan. Aerob start innebär således en viss energiförlust. Denna kompenseras emellertid av att andra fördelar kan vinnas med en sådan självuppvärmande start, t ex en reduktion av mängden producerade syror som annars skulle krävt ett stort tillskott av neutraliserande kemikalier.

Fastän värmeförlusterna från torr-reaktorer i drift är okända kan dessa ändå uppskattas. En jämförelse av värmeförlusterna från reaktorväggarna i "plug-flow-anläggningen" vid Cornell University, kan t.ex. ge en uppfattning om det dagliga behovet av energitillskott. Denna anläggning som är dimensionerad för en gödselmängd från 65 mjölkcor är isolerad med billigt flexibelt isoleringsmaterial. Dagligen förlorar denna anläggning en värmemängd på omkring  $494 \text{ Kcal/m}^3$  när utomhustemperaturen är  $-10^\circ\text{C}$ .

Eftersom de torra reaktorerna kommer att vara mycket större än denna reaktor (och alltså ha en lägre energiförlust/ytenhet), kommer energiförlusten att vara mindre, kanske tiondelen, dvs 49,4 Kcal per m<sup>3</sup> och dag. Alltså skulle drift av denna enhet i 200 dagar kräva ett maximalt energitillskott på 9880 Kcal per m<sup>3</sup>. Detta exempel visar att jäsning av torra material skall kunna alstra tillräcklig värme under processen för att upprätthålla en optimal reaktortemperatur. Endast liten eller ingen tilläggsenergi tycks behövas. Till och med i den termofila temperaturskalan (ca 65°C) skulle detta vara möjligt.

### Sammanfattning

De resultat kring reaktorutformning, som erhållits i Cornell Universityprojektet och på andra håll ökar kraftigt den potentiella mängd biomassa som kan användas för metangasproduktion.

Utspädda substrat såsom kommunala avloppsvatten och vatten från algdammar, innehållande 50 - 100 mg/l mikroskopiska alger, bör vara möjliga att utnyttja för metangasproduktion med hjälp av den nya anaeroba AAFEB-reaktorn eller med de reaktorer som prövats i Sverige (IVL Stockholm).

När det gäller metanjäsning på mindre enskilda gårdar framstår plug-flow-reaktorn, konstruerad av billigt flexibelt gummimaterial, som en attraktiv reaktortyp för framtiden.

Det mest revolutionerande tycks vara den lyckade jäsningen av torra substrat, halm, gröda m.m. En utvecklad jäsningsteknik för komplexa organiska ämnen med en t.s.halt av 25 - 35 % kan komma att få en dramatisk betydelse för framtida möjligheter att behandla avfall av olika slag. Utsorterat organiskt hushållsavfall har t.ex. en torrsubstanshalt omkring 30 % och skulle lämpa sig väl för en sådan teknik.

Inom jordbruket kommer kanske helt nya typer av energireaktorer att utvecklas: I USA och Europa har jäsning av torra substrat hittills främst skett i konventionella jästankar med kontinuerlig beskickning. Materialet späds med vatten till 8 - 10 % t.s.-halt och pumpas in i jästanken.



En liten gårdsreaktor som skall jäsa ett ton torr organisk substans per dag med konventionell teknik behöver således utformas så att den kan behandla ytterligare 9 eller 20 ton vatten varje dag. Denna kvantitet vatten innebär stora krav på uppvärmning, slutlig kvittblivning av rötresterna, förbehandling för att göra materialet möjligt att pumpa och på många andra områden. Blandningar av djurgödsel och strö och många grödor har ett t.s.-innehåll på 25 till 50 %. Att jäsa dessa material i sin torrare form skulle reducera kraven på olika åtgärder och därmed kostnaderna för jäsningen.

Undersökning av termodynamiken vid aerob och anaerob jäsning visar att en kombination av dessa reaktioner i en jäsningsprocess kan göra processen självförsörjande i fråga om energi och endast kräva liten, eller ingen metangas för att upprätthålla reaktortemperaturen.

Sammanställning av fördelar och nackdelar med att använda "torra reaktorer" vid omvandling av jordbruksgrödor och -avfall till metan:

#### Fördelar

1. Små krav på hantering och förbehandling av jordbruksprodukterna. Användning av "teknik på platsen".
2. Exceptionellt enkel utformning och drift.
3. Små krav på arbetsinsats.
4. Många olika typer av organisk substans kan användas.
5. Litet eller inget krav på vatten.
6. Den potentiella energiproduktionen skulle kunna tillfredsställa en stor del av energibehovet för många samhällen i U.S.A. (enligt Jewell).
7. Tycks vara en självförsörjande reaktion i fråga om energi för uppvärmning, vilket ytterligare förenklar reaktorutformningen.

8. Har stora fördelar ur miljövärdande synpunkt - eliminerar mängden flytande avfall inom jordbruket, och producerar ett jordförbättringsmedel med en långsam avgång av kväve.
9. Tycks vara kapabel att producera en slutlig organisk rest med ett vatteninnehåll som är mindre än 50 procent.
10. Projektet ekonomi visar att ett sådant system skulle kunna bli ekonomiskt fördelaktigt.

#### Nackdelar

1. Stora reaktorer krävs.
2. Två stora behållare krävs för lagring av flytande och fasta avfallsprodukter.
3. Processens begränsningar är dåligt definierade.

#### Ett exempel:

En 100-mjölko-anläggning.  
Den totala mängden gödsel, urin, ladugårdsströ och avloppsvatten från mjölkhanteringen resulterar i produktion av 180 ton t.s./år. Blandningen innehåller 85 % vatten. Det antas att denna gård också har 100 ha mark från vilken för närvarande ej använt avfall skulle kunna skördas med en hastighet av 5 ton t.s. per ha och år. Detta kan vara halm eller gräs och ogräs från oanvänd mark.

Gödsel och jordbruksavfall blandas i reaktorn en eller två gånger per år. På så vis begränsas arbetsinsatsen. Vatteninnehållet i reaktorn är 65 procent. Avfallsvätskan från detta system är således eliminerad vid blandningen. Även kol/kväveknoten är sådan att allt kväve kommer att bindas i restprodukten såsom organiskt bundet kväve. Nettoenergiproduktionen från detta system skulle enligt Jewell kunna överstiga  $3 \cdot 10^6$  kWh/år, vilket har ett årsvärde överstigande \$ 30.000.

Kostnaden för reaktorn för detta system är okänd men kan uppskattas om man använder den designinformation som baserats på tidigare resultat.

Om man antar att den resulterande tätheten i reaktorn är 353 kg torrsbstans per  $m^3$ , skulle den totala reaktorvolymen bli 5479  $m^3$ . Om huvudreaktorn hade två celler, skulle var och en vara omkring 2740 kubikmeter i volym. Dessa siffror visar att det är reaktorkostnaderna som är begränsande för denna typ av jäsning. Emellertid skulle användningen av en svetsad gummiduk som reaktor resultera i en reaktorkostnad på omkring \$ 10,6 per  $m^3$ , eller en total reaktorkostnad på omkring \$ 60.000. Detta förutsätter naturligtvis att "plug-flow"-konstruktionen som använts för Cornellreaktorn verkligen är användbar för detta ändamål.

(Kommentar: Vid kontroll av dessa beräkningar tycks det som om mängden torrsbstans (sammanlagt 680 ton) är för lågt angiven.)

## A.2 OLIKA MÖJLIGHETER TILL LAGRING OCH ANVÄNDNING AV METANGAS

E. Dohne från Darmstadt i Västtyskland, beskrev olika metoder, beprövade och oprövade, att lagra och utnyttja biogas.

### 1. Lagring

Liksom alla gasproduktionssystem måste en metangasanläggning utrustas med ett gaslagringssystem som kan balansera

- variationer i gaskonsumtionen
- skillnader i gaskvalitén
- tillfälliga avbrott i gasproduktionen

Endast om gasen kan ledas ut på ett allmänt gasnät, kan ett gaslagringssystem undvaras.

Gasbehållaren är den dyraste komponenten i en metangasanläggning. Av detta skäl är det vanligaste valet av gasbehållare en som endast täcker de dagliga konsumtionstopparna. Sådana anläggningar som bygger på principen satsvis alternerande jäsnings, behöver en gaslagringsvolym som räcker att fylla jästanken i samband med tömning, (för att förhindra att luft tränger in i jäsningsanläggningen).

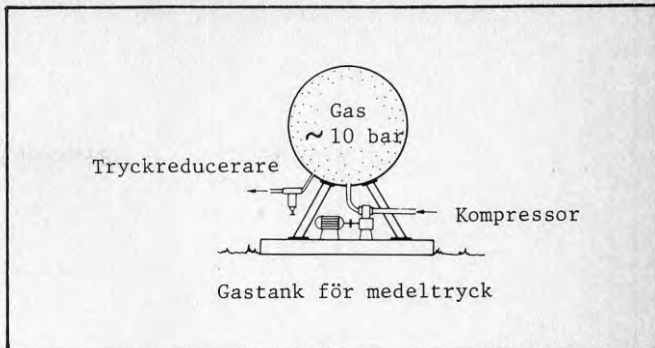
Olika metoder:

#### Högtryckstankar för gastryck mellan 200 och 300 atm

Dessa tankar kräver en avancerad teknisk utrustning. Bl.a. fordras rening av gasen och fullständig avvattning. Strängare regler gäller också för användning av gas under tryck. De är därför ej lämpliga för lagring av gas i mindre skala (på enskilda gårdar). Det kan emellertid i vissa fall vara möjligt att använda dem för traktorbränsle (se nedan).

#### Mellantryckstankar för gastryck mellan 10 och 20 atm

Den relativt låga kostnaden för dessa tankar kan göra dem intressanta inom t.ex. jordbruket. Idag används de främst inom industrin. Fördelarna med tankarna är de relativt små dimensionerna och avsaknaden av rörliga delar. Den främsta nackdelen är behovet av kompressor. För att använda gasen måste gastrycket reduceras till 10 eller 20 mbar. (Se fig. nästa sida).



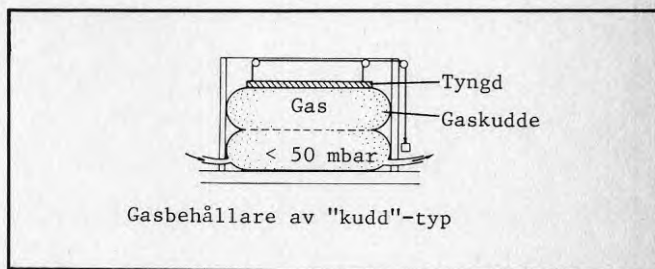
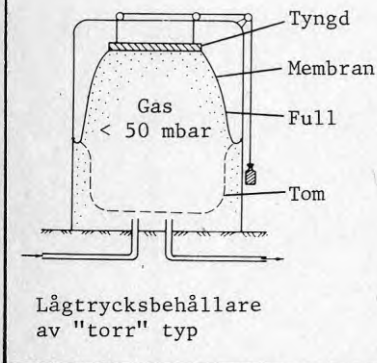
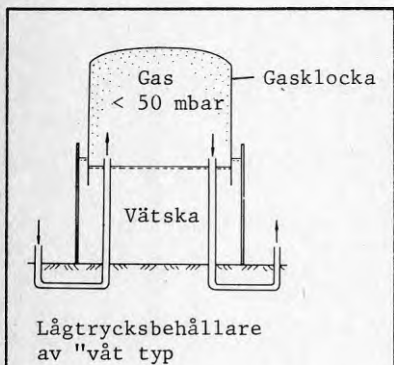
Lågtrycksbehållare av våt eller torr typ för gasstryck upp till 50 mbar

De flesta gasbehållare för metangas är av denna typ, t.ex. gasbehållarna till röttkamrarna vid reningsverken.

Gasbehållare av våt typ flyter antingen på en vattenkanal eller på själva toppen av jästanken (se fig).

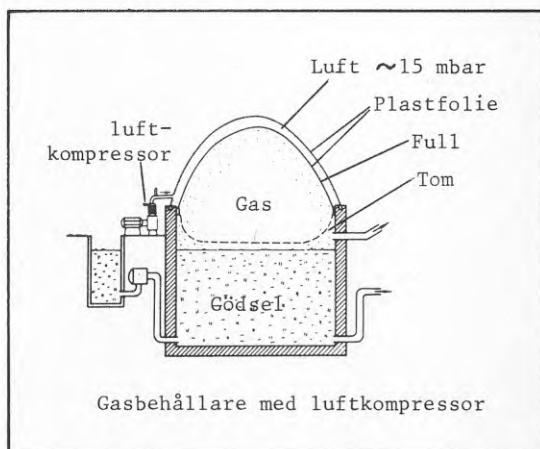
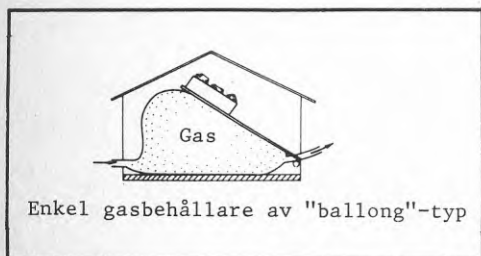
Gasbehållare av torr typ består av ett membran inneslutet i en ståltank.

Kuddbehållare förvarar gasen i kuddar, som skyddas av ett yttre hölje.





Eftersom lågtrycksbehållarna fortfarande är relativt dyra har olika enkla gaslagringssystem föreslagits, av vilka någon mer omfattande erfarenhet ännu inte existerar. Den första typen är en enkel gasbehållare av ballongtyp (fig). Den andra är en gasklocka av plast, som sitter direkt på toppen av jästanken. För att kunna använda gasen fordras ett jämnt gastryck. Detta klaras med hjälp av en luftbuffert och en enkel luftkompressor (se fig).

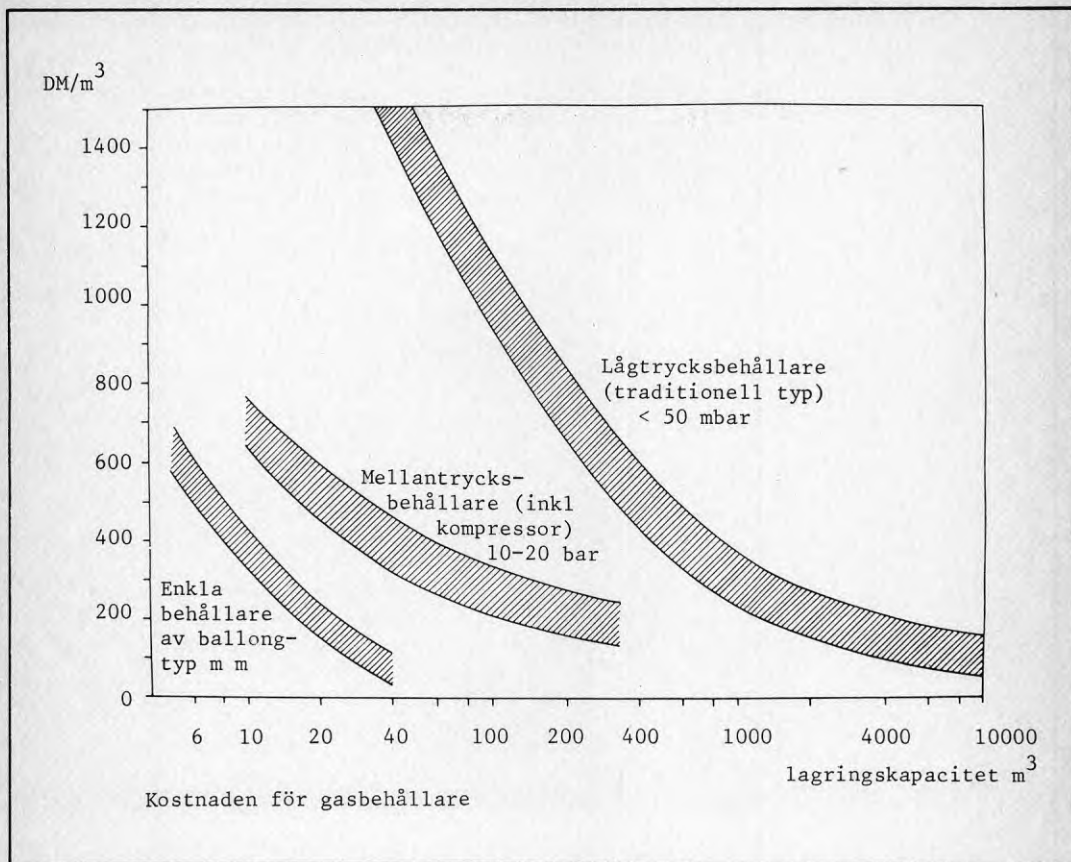


### Tankar för flytande naturgas och absorptionstankar

Framställning av flytande metangas fordrar nedkylning till låga temperaturer och är därför inte realistiskt vid enskilda anläggningar, inom t.ex. jordbruket. Absorption av metan under tryck i absorptionstankar innehållande flytande kolväten, fordrar också nedkylning och är därför inte heller realistiskt annat än i mycket stor skala. Absorptionstekniken medför annars 2-6 gånger större lagringskapacitet än som annars kan klaras vid motsvarande tryck och gasmängd.

### Kostnader

Diagrammet nedan visar att ur kostnadssynpunkt är mellantrycksbehållare liksom enkla gasbehållare av ballongtyp av speciellt intresse vid små gasvolymmer.



Eftersom kostnaderna minskar snabbt med ökande gasvolym vore ett samutnyttjande av metanjäsningsutrustning för flera gårdar, eller åtminstone samutnyttjande av gasbehållare, värt att undersöka. Än så länge finns inga erfarenheter från någon sådan "multifarm-gaslagring".

## 2. Användning

Det enklaste sättet att utnyttja metangas är direkt förbränning, t ex uppvärmning av vatten i gaspanna.

Metangas liknar i sina egenskaper mycket naturgas och kan därför också användas som ersättning för denna i länder med utbyggt ledningssystem för naturgas.

Den mesta gasutrustningen för naturgas kan utnyttjas för metangas efter vissa justeringar. Gasbrännarna kräver ett gastryck på 7-10 mbar. De klarar även högre gastryck, men om trycket blir alltför högt måste en tryckreducerare användas.

Komprimerad gas i högtrycksbehållare är möjlig att använda för exempelvis motorfordon.

På femtiotalet komprimerades metangas från röttkammare på den tyska landsbygden. Gasen fylldes i tryckbehållare och användes för traktordrift. Tekniskt sett existerar inga problem vid en sådan hantering. Problemen ligger på kostnadssidan. Installation av en högtrycks-kompressor är en dyrbar historia. Den minsta anläggningen på marknaden har idag en kapacitet på 15 m<sup>3</sup>/h. För en större gård kostar komprimeringen 1,6 DM/m<sup>3</sup>. Dessutom förbrukas energi (0,3-0,4 kWh/m<sup>3</sup> gas) under processen.

Idag går det rykten om en högtryckskompressor som skall vara mycket billigare än de som använts hittills (kostar endast en tredjedel av dagens pris). Empiriska data från denna anläggning existerar emellertid inte ännu.

Användning av komprimerad gas för traktordrift förutsätter att fordonen fylls på (byter gastuber) med täta intervall. Gastuberna väger mycket. Fem tuber som skall ersätta 32 l dieselolja väger tillsammans 400 kg.

En intressantare lösning när det gäller gasanvändning är att utnyttja stationära förbränningsmotorer för förbränning av lågtrycksgas. (Förbränningsmotor kräver ett gastryck på upp till 20 mbar). Flera företag saluför redan gasmotorer med en drivkraft som varierar mellan 15 och några hundra kW. (Se Fiats "TOTEM" nedan).

Det går också att justera befintliga bensin- och dieselmotorer för drift med metangas. Detta försämrar dock verkningsgraden med 30 %.

I princip är två typer av förbränningsmotorer möjliga: Gas-Otto-motorn och gas-diesel-motorn. Den senare har fördelen att den kan köras på ren diesel, t.ex. vid brist på biogas.

genom att alsta både kraft och värme gör stationära gasmotorer det möjligt att utnyttja upp till 90 % av energiinnehållet i biogasen. Det finns tre möjligheter att använda gasen på detta sätt:

- 1) att driva torkningsutrustning och samtidigt värma upp luft med hjälp av värme från kyl- och avgassystemet,
- 2) att alstra elektrisk ström och samtidigt värma upp vatten med hjälp av värmen från kyl- och avgassystemet,
- 3) att utnyttja gasvärmepumpar för uppvärmning av gårdsbyggnader etc.

Den enklaste formen för kombinerat kraft- och värmeutnyttjande utgör alternativ 1, d.v.s. torkning genom luftblåsning. Den luft som blåses ut värms samtidigt upp ca 40 °C.

Vid elproduktion är det möjligt att alstra mellan 1,6 och 1,9 kWh elektricitet per m<sup>3</sup> gas, beroende på generatorns effektivitet och dessutom ytterligare 3,5 kWh i form av värme.

När det gäller användning av värmepumpar inom jordbruket är en uppvärmningseffekt på 30 kW tillräcklig. De första absorptionsvärmepumparna med uppvärmningseffekter på 20 till 40 kW kom nyligen ut på marknaden i Västyskland.

Dessa gasvärmepumpar är intressanta genom att de är slitstarka (mycket få rörliga delar). Jämfört med en vanlig gaspanna har den en högre verkningsgrad. Nackdelen är priset, som idag ligger långt över priset för en vanlig gaspanna (se tabell). Det förväntas dock sjunka när värmepumpar börjar massproduceras.

<u>Värmepumpskostnader</u>	
Gas-absorptionsvärmepump	
25 kW uppvärmningseffekt	15.000 DM
40 " "	20.000 DM
Gaspanna	
40 kW uppvärmningseffekt	3.000 DM

### "TOTEM", Fiat-motorn

TOTEM presenterades vid en utställning på konferensen. TOTEM är en Fiatmotor typ 127 och maximal effekt på 15 kW som kan drivas med gas, bl.a. från metanjäsning. Motorn producerar både elektricitet och värme (från kylvatten och avgaser) med en verkningsgrad som enligt försäljarna är högre än 90 procent.

Den producerade värmen (33.000 kcal per timme) är tillräcklig för att värma upp fyra lägenheter på omkring 100 m<sup>2</sup> eller att producera varmvatten för 16 lägenheter. Den alstrade elektriciteten kan användas direkt eller ledas ut på det allmänna elnätet.

Om motorn används på en gård med en jäsningsanläggning för gödsel från 80-100 kor (eller motsvarande mängd andra djur), räcker den alstrade gasen för att driva TOTEM-motorn i ca 2.000 timmar per år. Varmvattnet och elektriciteten som produceras kan användas i Jordbruket på olika sätt, till exempel vid rengöring av mjölkningsutrustning, drift av automatiska utfodringsystem, belysning, torkning av foder, ventilation och mjölkkyllning.

För att starta måste TOTEM sättas i gång med hjälp av elektricitet från nätet. Med elström startar en elektrisk motor som i sin tur - liksom en startmotor - antänder den metandrivna motorn. Så snart motorn kommit upp i 3.000 varv per minut omvandlas den elektriska motorn till en generator.

## B UTVECKLINGEN AV METANJÄSNINGSTEKNIKEN I U-LÄNDERNA

Fram till idag har det främst varit i de asiatiska u-länderna, som det funnits intresse för metangas. Intresset i Afrika och Latinamerika har varit svagt, fastän försök med metanjäsning har pågått under några årtionden (i Östafrika sedan 1950-talet).

Trots att det finns intresse för metangas på flera håll i tredje världen är situationen den att det endast är i två eller tre länder, som metanjäsningen hittills har haft någon större framgång. Kina är det land där metanjäsningstekniken har lyckats bäst, medan satsningen på denna teknik i Indien närmast kan betraktas som ett politiskt misslyckande.

Dr. L. Pyle, Imperial College, London, och Prof. J. Nyns, University of Louvaine, Belgien, analyserade vid konferensen orsakerna till framgångar och misslyckanden med metanjäsningen i u-länderna.

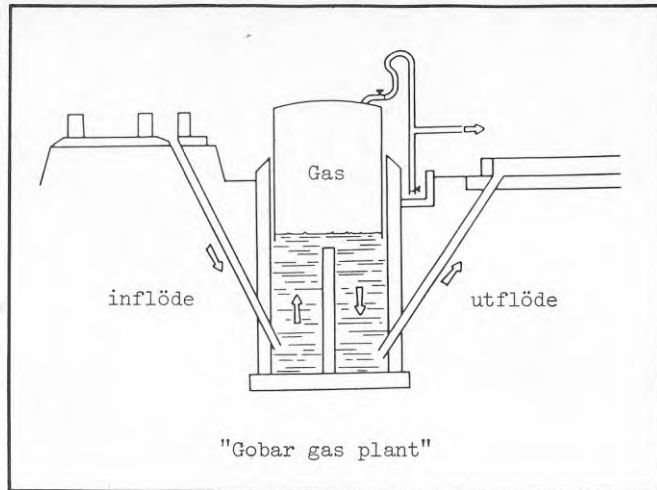
### Indien

I Indien har myndigheterna upprättat ett program för installation av metangasanläggningar på landsbygden i stor skala, s.k. "gobar gas plants". Metanjäsningstekniken har fått åtskillig publicitet p.g.a. detta officiella program. Trots detta och trots att anläggningarna till viss del subventioneras av staten har endast ett begränsat antal (ca 70 000) uppförts. Man hade räknat med ett betydligt större antal.

De främsta orsakerna har varit de höga investeringskostnaderna och de små möjligheterna att variera och anpassa utformningen av jästanken efter olika behov. Eftersom kravet för den minsta "gobar gas"-enheten är fyra djurenheter förhindras alla fattiga bönder med små jordlotter att använda tekniken.

Figuren nedan visar en typisk s.k. "gobar gas plant". Jästanken är konstruerad av tegelsten. Taket (gasklockan) är gjort av järn och måste målas en gång/år. En ring fylld med vätska förhindrar gasläckage.





Kogödsel används huvudsakligen som substrat och tillsätts jästanken en gång om dagen. Samtidigt avskiljs uppslammat material från behållaren. Jästanken behöver aldrig tömmas eftersom uppslammat material och inte enbart separerad vätska avlägsnas.

De flesta av Indiens metangasanläggningar har byggts enligt denna princip (fig.). Volymen på jästanken varierar mellan 2 och 140 m<sup>3</sup>. De mindre anläggningarna saknar uppvärmning och omröring och har en uppehållstid på omkring 55 dagar. Under gynnsamma förhållanden producerar anläggningarna en gasvolym på omkring 0,25 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> jästank och dag.

Enligt Dr. Pyle har metangasen blivit "överreklamerad" i Indien liksom i en del andra u-länder. Metanjäsning har blivit betraktad som ett universallösningsmedel eller t.o.m. en "gratislösning" på problemen. Detta har skett i termer som produktionskapacitet, enkelhet, ekonomisk nytta och medel för miljökontroll, vilket många gånger inte stämt med verkligheten.

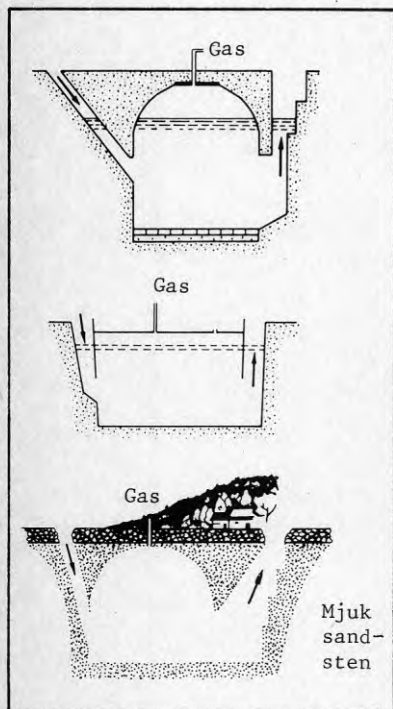
Det är också betecknande att mycket få anläggningar drivs med organiskt material annat än kogödsel. Ett undantag är avfall från en sockerrörsplantage i Kampur.

Det har inte funnits någon entusiasm för integrerade återvinningssystem trots att små anläggningar ( $< 10 \text{ m}^3$ ) uppenbart är för dyra för majoriteten av den fattiga landsbygdsbefolkningen, och olämpliga för den som bara äger ett eller två djur. Erfarenheterna från anläggningar i större skala ("samhällsskala") har - förutom i ett eller två väl organiserade samhällen - än så länge inte varit särskilt positiva. Det har emellertid rapporterats att större anläggningar planeras under den sjätte femårsplanen (Agarwal 1979).

Bristen på variation i anläggningarnas utformning är också betecknande och kontrasterar skarpt med förhållandet i Kina (se nedan). Försök att reducera kostnaderna har misslyckats, fastän det är känt sedan länge att den största posten i kapitalkostnaderna är gasbehållaren av metall. Gasbehållaren utgör omkring 27 % av kapitalkostnaden för  $3 \text{ m}^3$ -anläggningen och ungefär 44 % av kostnaden för  $140 \text{ m}^3$ -anläggningen.

### Kina

Några av de mest stimulerande erfarenheterna från metanjäsningsteknikens historia är den utveckling som skett i Kina.



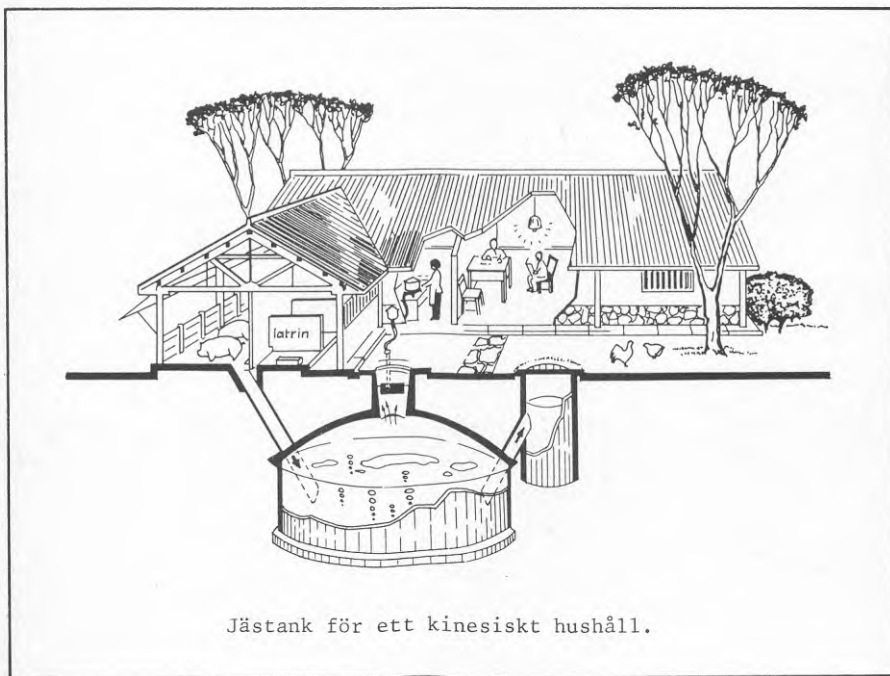
Det finns tre orsaker till denna framgång. För det första har man i Kina eliminerat användningen av metallgasbehållare och i stället infört lokala material (sand, stenar, cement). Kapitalkostnaderna blir härigenom betydligt mindre. Forskare i ett antal andra länder håller nu på att utveckla och pröva liknande utformningar (i Indien, Bangladesh, Nepal, Pakistan).

För det andra erbjuder den kinesiska anläggningstypen rika möjligheter till variation i utformningen av anläggningarna. Alla de variationer på jäsningsanläggningar som byggts visar på en stor kreativitet hos den fattiga befolkningen.

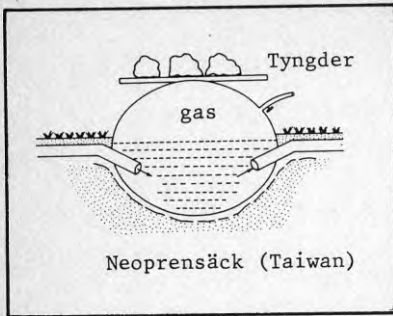
Den tredje aspekten har samband med återvinningstanken. Små anläggningar byggs sällan eller aldrig för enbart gasproduktion. Även återvinningen av växtnäringsämnen är ett viktigt mål med jäsningen. Det är möjligt att den långa traditionen i fråga om återvinning av organiskt material är en nyckel till framgången i Kina.

Byggandet av jästankar startade omkring 1958, men har utvecklats huvudsakligen under de senaste åren, främst i provinserna Szechwan, Chekiang och Kiangsu. Det uppskattas att 7 milj. sådana jästankar med omkring 6 - 8 m<sup>3</sup> kapacitet är i drift för närvarande, vilket måste anses som en stor framgång. Substratet är gödsel samt urin och fekalier från människor.

Jästankarna fungerar på ett sätt som är en blandning mellan satsvis och halvkontinuerlig jäsnings. De beskickas en gång om dagen, vilket också innebär att materialet rörs om. En lika stor mängd vätska avlägsnas samtidigt. Det suspenderade fasta materialet koncentreras i botten på jästanken. Därför måste jästankarna tömmas med 9 - 12 månaders intervall. En femtedel av materialet från föregående jäsnings tjänar som ymp för den följande jäsnings. Gasproduktionen är ganska låg och varierande: 0,15 m<sup>3</sup> till 0,3 m<sup>3</sup> gas per m<sup>3</sup> jästank och dag.



### Taiwan



Två tendenser i Taiwan är av intresse. För det första så har man infört en neoprensäck som jästank, som kan komma till användning i andra länder. För det andra har man infört ett integrerat system där, förutom metanjäsning, även ingår alg- och fiskodling.

### Filippinerna

På Filippinerna har användningen av jordbruksavfall vid jäsning fått stor betydelse och stor tonvikt har lagts vid integrerade återvinningssystem.

En installation av speciellt intresse är "Maya farm plant", vilken är den största metangasanläggningen i Asien, och som jäser avfall från 7 500 svin.

Gasen används för matlagning och motordrift. Restprodukten sedimenteras varefter vätskan används som gödningsmedel till bl.a. algodling och den fasta återstoden används som jordförbättringsmedel.

Anläggningen är tekniskt intressant, genom att den består av 48 st 3 m<sup>3</sup>-jästankar för satsvis jäsning.

### Thailand

I likhet med många andra u-länder är kostnaderna för anläggningarna så höga att inga andra än välbärgade lantbrukare har råd att installera några jäsninganläggningar.

Betydelsen av kultur och tradition är stor i detta land liksom i Indien. Det finns ett starkt motstånd mot att använda fekalier från människor i jästankarna.

I Thailand har man nu blivit medveten om nödvändigheten att få fram billigare lösningar på jäsningstekniken.

## Övriga U-länder

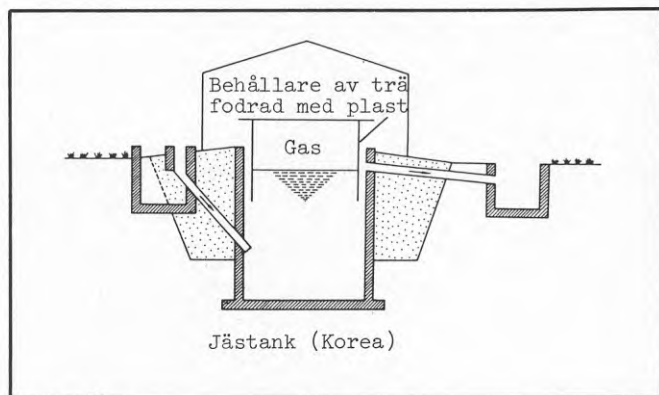
Här följer en beskrivning av några andra länder i tredje världen, där man provat metanjäsning för framställning av metangas.

### Bangladesh

Fram till nyligen har det funnits en liten eller ringa aktivitet i fråga om metanjäsning. 1977 fanns det åtta anläggningar i drift (sju av indisk utformning och en kinesisk), men ingen är tillräckligt billig för att få någon betydelse för den enskilda familjen. En del FOU kring den kinesiska anläggningstekniken pågår.

### Korea

Det har rapporterats att omkring 29 000 anläggningar har installerats i Korea. På grund av de låga vintertemperaturerna är anläggningarna effektiva endast under sex till sju månader på året och försöket med ett massprogram anses ha blivit ett misslyckande. Emellertid pågår forskning och utveckling och det tycks som om metangasteknologin har en ljusare framtid.



### Nepal

Sedan 1975 har 200 - 300 anläggningar konstruerats varav 80 % har lyckats. Det har uppstått ekonomiska problem med anläggningar av den indiska typen, då den blir för dyr för en enskild familj.



### Andra U-länder

Det kan vara så att kulturella orsaker likaväl som den allmänna tekniska utvecklingsnivån är ansvariga för att man i Afrika inte utreder metanjäsningens förutsättningar i någon högre grad.

I Kenya, till exempel, är endast en handfull av de ca 50 byggda anläggningarna i drift. Orsaken är bristande teknisk kunskap och dålig ekonomi. De är utformade både för satsvis och kontinuerlig jäsning och plug-flow likaväl som vertikala typer. Kulturella och sociala faktorer är utan tvekan också orsaker till det dåliga intresset för metanjäsning. En stor del av landsbygdens befolkning bor i relativt utspridda byar. Endast individuella enheter kan därför fungera. Ekonomin för så små jäsningsanläggningar kan dock bli betungande.

I Tanzania har man ersatt gasbehållaren med ett antal oljefat av metall. Detta är en avsevärt billigare och bekvämare lösning. Kostnaden för dessa anläggningar är lika låg som för de kinesiska anläggningarna.

I Botswana använder man oljefat som jästank.

### Sammanfattning av dagens situation i den tredje världen

I allmänhet är de flesta typer av jäsningsanläggningar för dyra för den fattiga landsbygdsbefolkningen. Detta är en uppfattning som delas av forskare för många länder.

De nuvarande kapitalkostnaderna ligger omkring \$ 200 - \$ 300 per djurenhet (en djurenhet = 500 kg kroppsvikt) och med driftskostnader på omkring \$ 50 - \$ 150; den gas som produceras har ett marknadsvärde på ca \$ 20/djurenhet. Studier av ekonomin i Nepal, Indien och Thailand visar att processen knappast bär sig ekonomiskt såvida inte andra fördelar med processen inräknas, exempelvis de miljöförbättringar som uppnås.

Processen tycks vara mer attraktiv i större skala. I praktiken har i de flesta länder inga andra än välbärgade lantbrukare utnyttjat tekniken.



Det finns olika möjligheter att undvika dessa förhållanden.

- 1) bygga enheter för hela samhällen (byar)
- 2) reducera konstruktions- och driftskostnaderna
- 3) förbättra effektiviteten hos anläggningarna.

Stora anläggningar i samhällsskala har byggts i flera länder. Än så länge är det emellertid få av dessa som har lyckats. Förklaringen tycks vara att det finns en del ansvarsproblem och sociala problem som är svåra att lösa i samband med skötseln av dessa anläggningar.

Att minska konstruktions- och driftskostnaderna har blivit ett viktigt mål för forskning och utveckling. Det är framförallt vid utformningen av gasbehållaren som de största besparingarna kan göras, eftersom gasbehållaren vid traditionella metoder (t.ex. i Indien) svarar för upp till 50 % av den totala kostnaden. Men även vid utformningen av själva jästanken kan besparingar göras.

Den taiwanesiska neopren-säcken är ett bra exempel. Framgångarna i Kina när det gäller att konstruera anläggningar av lokalt material och eliminera behovet av gasbehållare tycks vara en kraftig stimulans för forskningen och utvecklingen av metanjäsningstekniken i andra länder. I Nepal, Indien, Thailand m.fl. har man modifierat utformning av jästanken efter kinesiskt mönster.

Bortsett från detta har mycket få försök gjorts att radikalt förbättra teknologin. Det har exempelvis inte rapporterats några försök med enkel horisontell teknik (plug-flow) enligt Jewells modell vid Cornell University.

Förbättring av jäsningseffektiviteten borde vara ett angeläget mål i FoU-programmet i u-länderna. Mycket finns att göra i framtiden. Till exempel finns det mycket litet gjort inom termofil jäsningsteknik. Möjligheterna att reducera jästanksvolymen genom att jäsa material med hög torrsubstanshalt har heller knappast utnyttjats. Inte heller har man löst problemen med att jäsa andra substrat än djurgödsel (förutom i Kina), vilket är nödvändigt om metangas skall kunna spela någon roll i u-länderna. Vegetabiliskt material har t.ex. en betydligt högre energipotential än gödsel.

Litteraturlista

Konferensmaterialet finns sammanfattat i följande skriftserie:

Day 1, Day 2, Day 3 am, Day 3 pm, Day 4 am,  
Day 4 pm, Day 5.

## DAY 1

1. What is Anaerobic Digestion - An overview.  
Professor D E Hughes, University College,  
Cardiff, UK.
2. Anaerobic Digestion Processes.  
Professor J Pfeffer, University of Illinois,  
USA.
3. The Basic Microbiology of Anaerobic Digestion.  
Professor R Wolfe, University of Illinois,  
USA.
4. Digesters - A Worldwide Review.  
Professor J Nyns, University of Louvaine,  
Belgium.

## DAY 2

1. Microbial Populations in Digesters.  
Professor J Zeihus, University of Wisconsin,  
USA.
2. Biochemical Pathways and Control.  
Professor R Wolfe, University of Illinois,  
USA.
3. Methabolic Stages and Energetics of Microbial  
Anaerobic Digestion.  
Professor M Bryant, University of Illinois,  
USA.
4. Effect of Feed Composition on Digester  
Performance.  
Ing L van Velsen, Wageningen Agricultural  
University, Holland.

## DAY 3 am

1. Implications of Design Engineering on Digester Systems.  
Mr R Horton, Polytechnic of Wales, UK.
2. Digester Designs in the Third World.  
Dr L Pyle, Imperial College, London, UK.
3. Factors Affecting Net Energy Production from Anaerobic Digesters.  
Mr D Hawkes, Polytechnic of Wales, UK.

## DAY 3 pm

1. Engineering Design of Digesters.  
Ing G Gron, Carl Bros Ing, Glostrup, Denmark.
2. Sludge Handling Problems and Solid/Liquid Separation.  
Mr M J Stanton, Alfa-Laval, Brentford, UK.
3. Gas Storage and Utilisation.  
Dr E Dohne, KTBL, Darmstadt, Germany.

## DAY 4 am

1. The application of Anaerobic Digestion to industrial pollution treatment.  
Dr G Lettinga, Wageningen Agricultural University, Holland.
2. Domestic refuse as a feed for Digesters.  
Professor J Pfeffer, University of Illinois, USA.
3. Sewage treatment using Anaerobic Digestion.  
Dr F Mosey, Water Research Centre, UK.
4. The Digestion of Piggery and Poultry wastes.  
Dr P Hobson, The Rowett Research Institute, Aberdeen, UK.

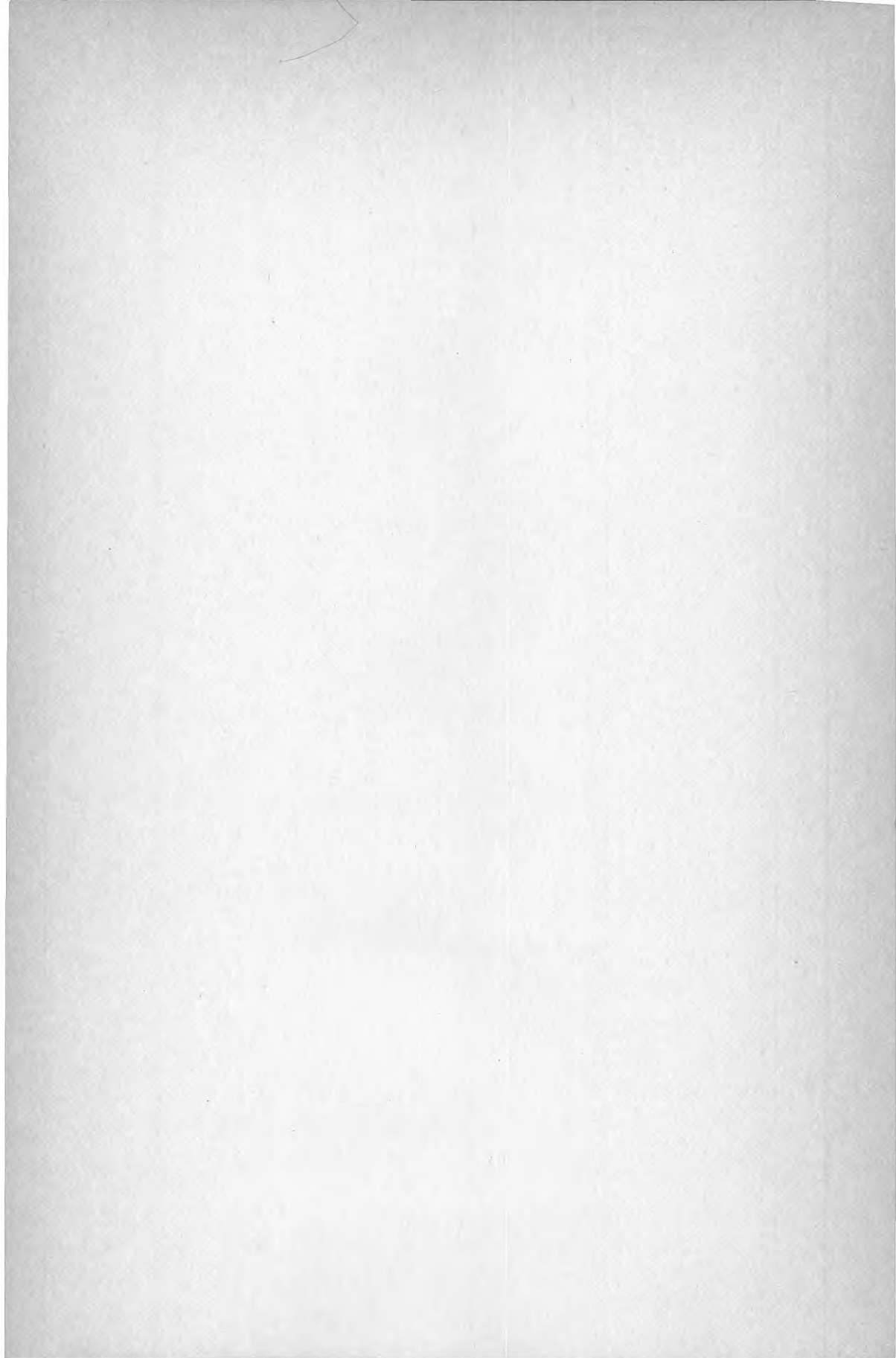
## DAY 4 pm

1. The Digestion of Cattle Wastes.  
Dr T Hayes, Cornell University, USA.
2. The Digestion of Crop Residues - an example  
from the Far East.  
J E Morris, OBE, Sime Darby Ltd, Malaysia.
3. Energy Crops to Methane.  
Dr D Stewart, Ministry of Agriculture,  
New Zealand.
4. Waste classification for digestibility in  
Anaerobic systems.  
Professor W Verstraete, University of Ghent,  
Belgium.

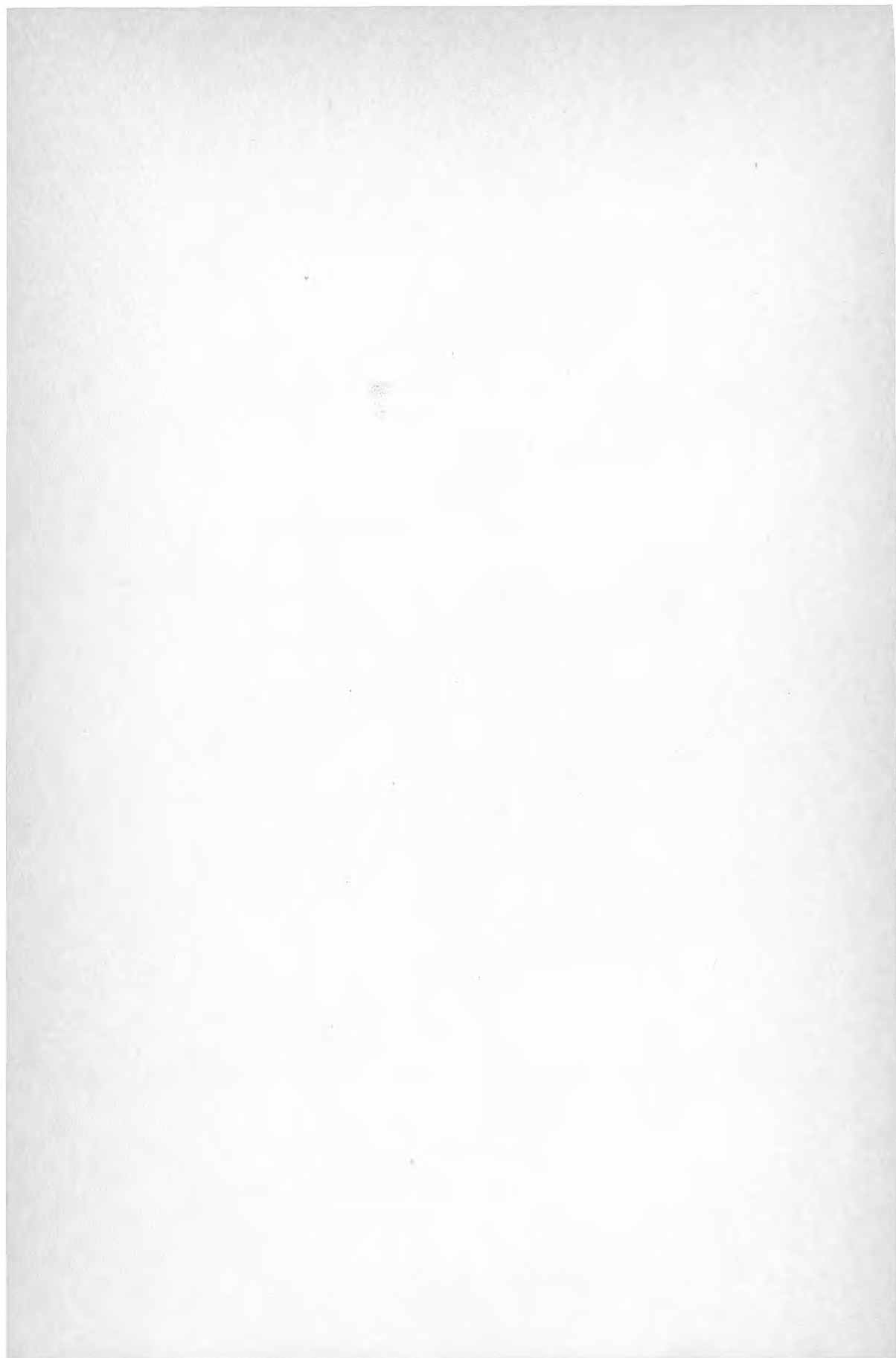
## DAY 5

1. The Overall Economics of Digestion.  
Dr A Hashimoto, US Dept of Agriculture,  
Nebraska, USA.
2. Future Trends in Digester Design.  
Professor W Jewel, Cornell University,  
Ithaca, New York, USA.
3. Anaerobic Digestion in the light of future  
energy needs.  
Energy Technology Support Unit, Harwell, UK.
4. Systems Farming - The Bioplex Principle.  
Professor D Bellamy. Professor D Hughes,  
University College, Cardiff, UK.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 77117-8 från  
Statens råd för byggnadsforskning och från VIAK AB, Göteborg  
till EFEM arkitektkontor, Göteborg.**

**R118: 1980**

**ISBN 91-540-3344-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700218**

**Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 20 kr exkl moms**