

Magdalena Graczyk
Stanisław T. Kołaczkowski

AEROBOWA TERMOFILOWA BIODEGRADACJA MATERII ORGANICZNEJ

Streszczenie

Proces aerobowej, termofilowej biodegradacji materii organicznej znany jest od dawna, brak jednak ścisłych danych o jego przebiegu. Z przeglądu literatury wynika, że proces ten uregulowany, mógłby znaleźć szerokie zastosowanie w technice unieszkodliwiania stężonych ścieków i osadów ściekowych.

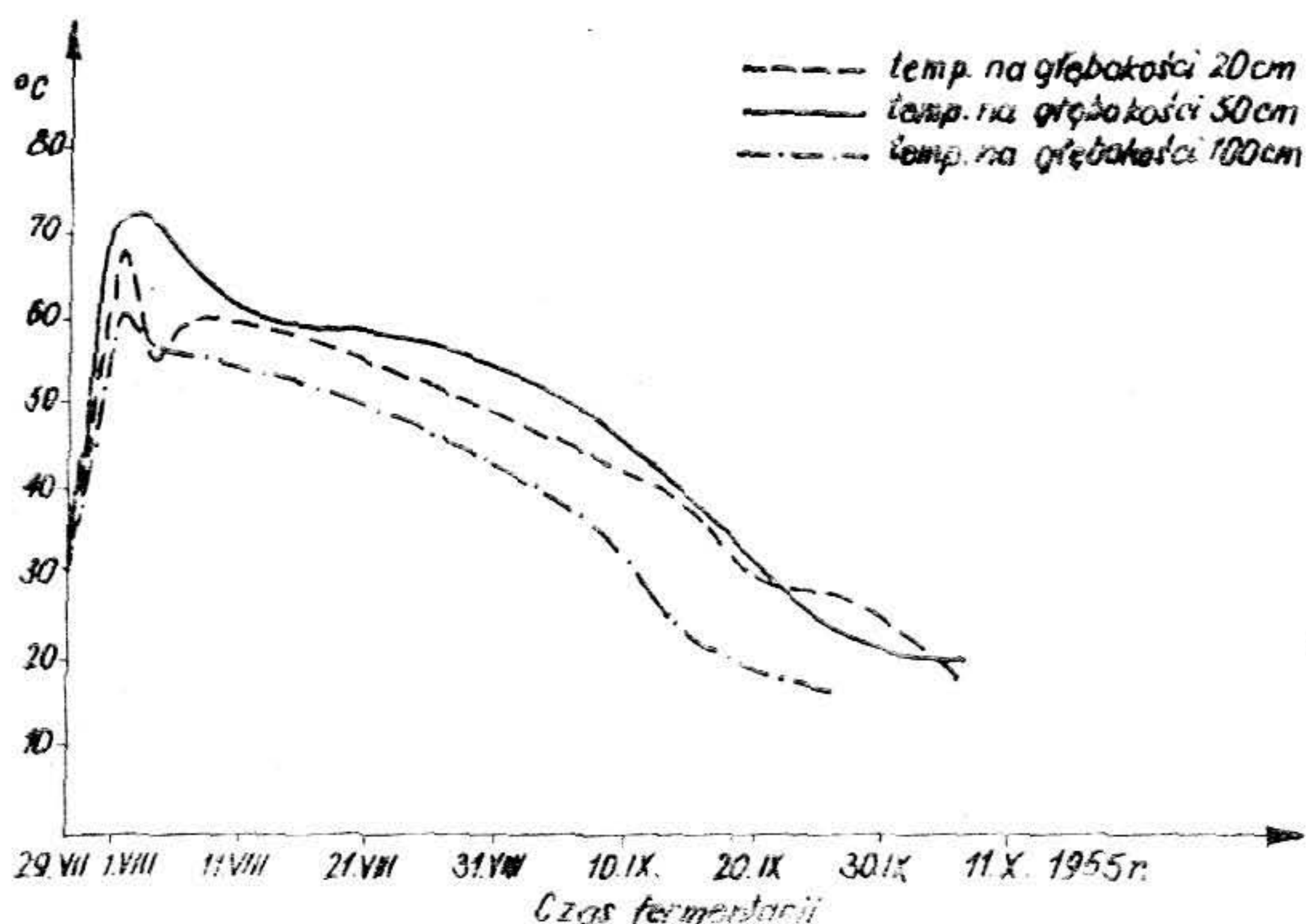
Summary

The aerobic thermophilic method of biodegradation of organic wastes is well known and used since very long, but precision is wanting in the knowledge of the course of this process. A review of bibliography made in this paper, indicate the possibility of a large employment of this well regulated process, to render harmless the organic matter of sludge and high concentrated wastewater.

Proces aerobowej termofilowej biodegradacji znany jest i stosowany od wieków do przeróbki stałych odpadków organicznych np. w ogrodnictwie, przeróbka gałązek, liści, chwastów na kompost. Znany jest również proces samoogrzewania się mierzwy końskiej, co nieraz doprowadza do spopielenia tego nawozu. Wiadomo, że w kale końskim jest szczególnie dużo termofilowych bakterii, które to właśnie ten proces przeprowadzają.

Obszerne badania nad kompostowaniem śmieci w Polsce, prowadzili: Kołaczkowski i Rosochowicz [1]. Czas przemiany materii organicznej w kompost tj. jej biodegradacji i w efekcie jej biostabilizacji wynosił 1÷2 tygodni a temperatura w kopcach podnosiła się samorzutnie do 60°C i wyżej, jeżeli wilgotność śmieci wynosiła co najmniej 45%, a odpływ tlenu był wystarczający.

Kompostowanie śmieci i innych odpadków stałych organicznych przeszło swą ewolucję, której szczytowym osiągnięciem jest kompostowanie w sposób ciągły np. w aparaturze systemu Dano [2]. Materiał poddawany biostabilizacji jest mieszany w cylindrze stalowym w sposób ciągły, a tym samym i rozdrabiany. Do cylindra wdmuchuje się powietrze i parę wodną dla zapewnienia dostatecznej ilości tlenu i wilgoci. Proces zupełnej



Wykres 1

humifikacji trwa około 4 doby, przy czym już po 2 dobach otrzymuje się produkt biostabilny, podobny do bogatej w humus gleby. Temperatura substratu samorzutnie podnosi się do $60\div 65^{\circ}\text{C}$.

W technologii oczyszczania ścieków miejskich stosuje się wyłącznie metody aerobowe, przy czym procesy te przebiegają w temperaturach optymalnych dla psychro i mezofilowych organizmów, przede wszystkim bakterii. Osady ściekowe, które można traktować jako stężone ścieki, przerabia się na użyteczny nawóz humusowy metodą anaerobową, stosując temperatury optymalne dla rozwoju mikroflory mezofilowej tj. $30\div 32^{\circ}\text{C}$ w wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKF), lub temperatury zmienne zależne od temperatury zewnętrznej w komorach fermentacyjnych nieogrzewanych np. w osadnikach Imhoffa lub otwartych komorach fermentacyjnych (OKF).

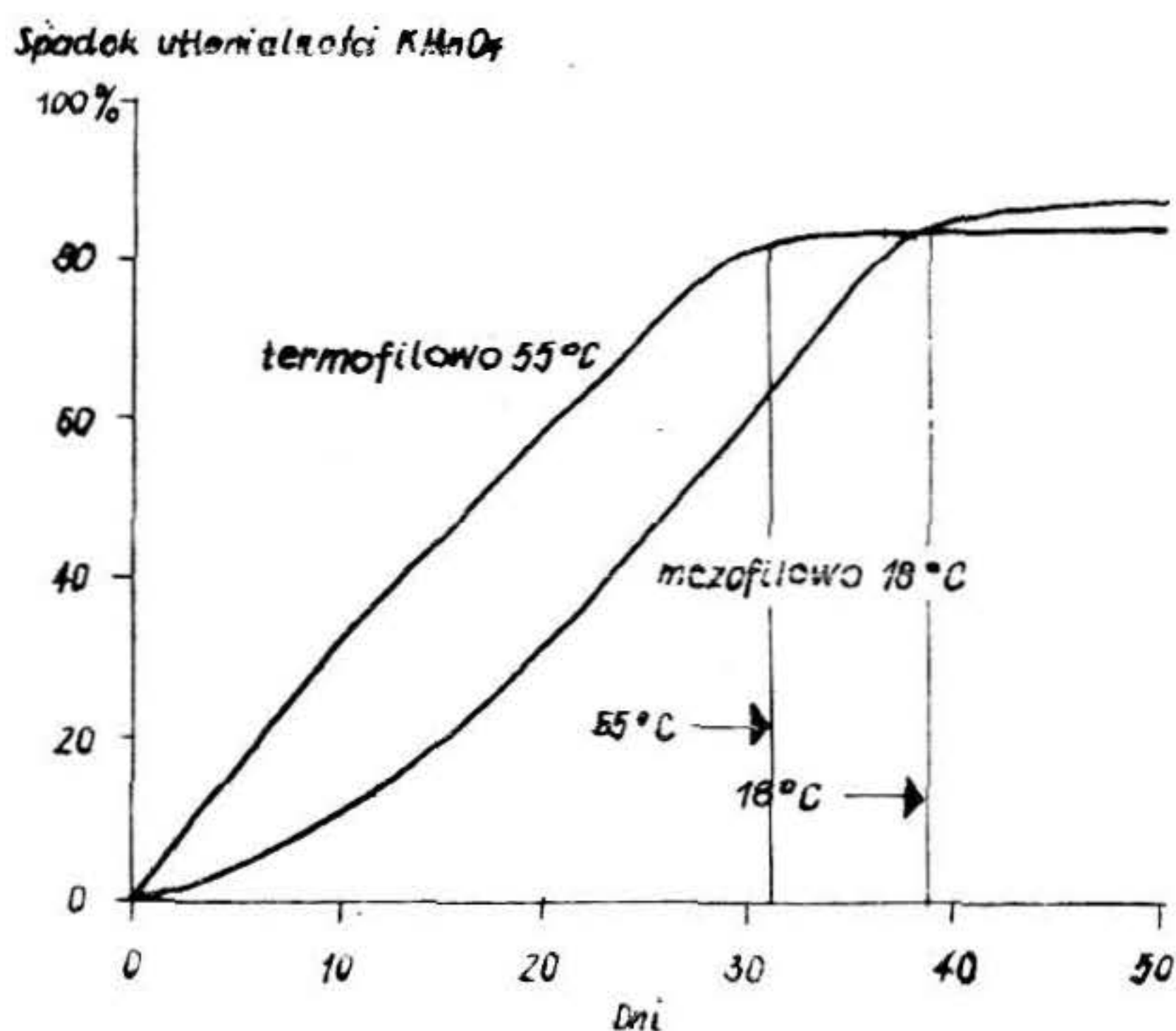
Przeróbka osadów ściekowych na drodze aerobowej jest również znana od dawna, natomiast metody termofilowej aerobowej w skali technicznej do oczyszczania czy stabilizacji ścieków i osadów ściekowych — dotąd nie stosowano. Pierwsze prace badawcze w skali laboratoryjnej prowadzili: Hussman i Malz w roku 1955 [3], stosując złoża i osad czynny. Do badań używano ścieków syntetycznych o następującym składzie:

- 100 mg sacharozy
- 100 mg peptonu
- 50 mg K_2HPO_4
- 100 mg NaHCO_3

na 1 dm^3 wody wodociągowej.

Jałowe ścieki syntetyczne zaszczepiono mikroorganizmami mezo i termofilowymi, poprzez dodawanie ścieków domowych na powierzchnię złoża przez 20 dni. Błona bakteryjna pojawiła się po 9 dniach. Po 20 dniach na złoża podawano już tylko czyste ścieki syntetyczne. Obserwacje prowadzono równoległe na złożu ogrzewanym do 55°C i nieogrzewanym w temp. 18°C . Wyniki badań ilustruje wykres 2.

Wzrost sprawności złoża w czasie jego wpracowywania się



Wykres 2

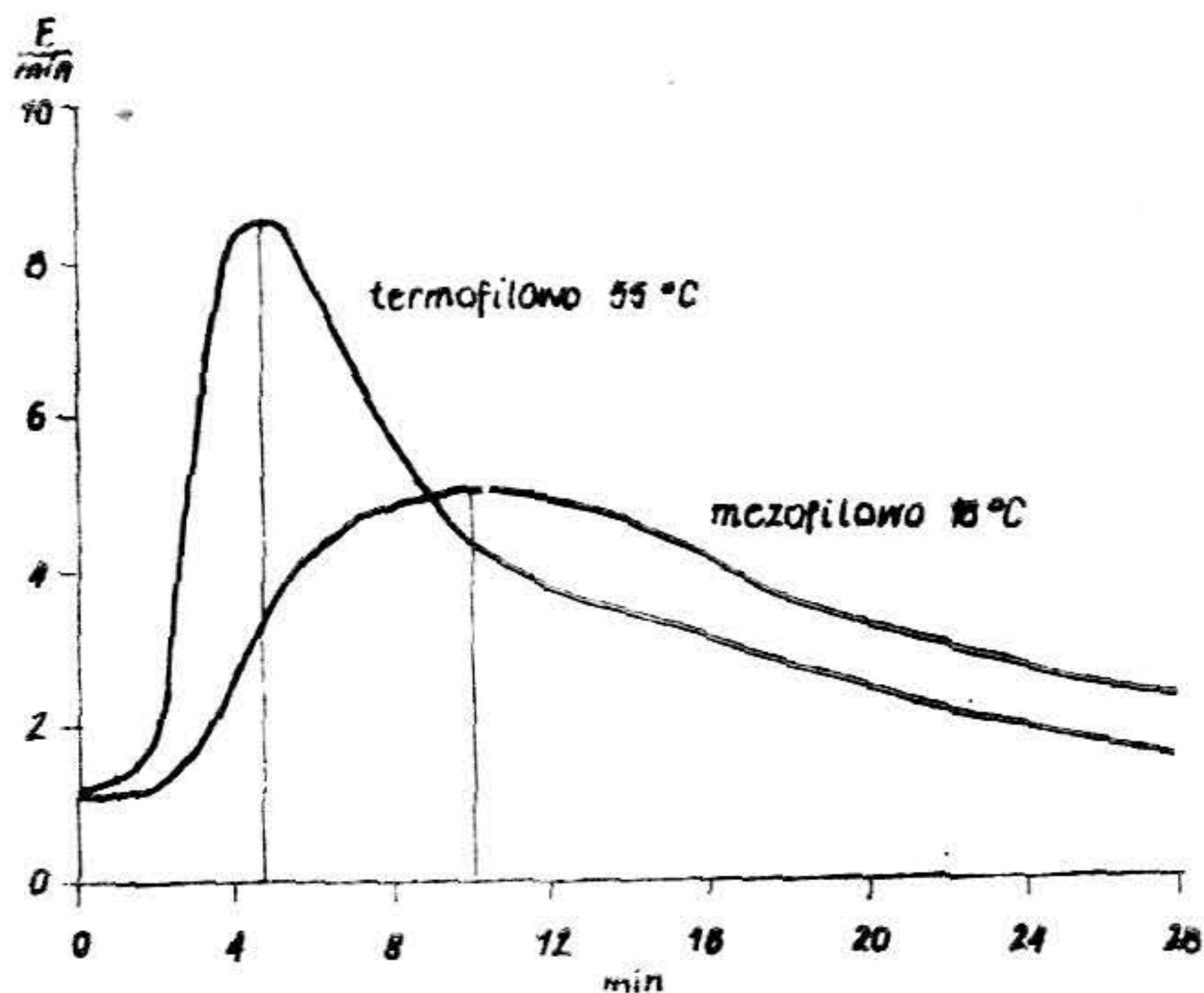
Z wykresu tego wynika, że proces w warunkach termofilowych zaszedł o tydzień wcześniej, z tym jednak, że końcowy efekt w obu przypadkach był ten sam i wynosił około 50% spadku utlenialności nadmanganianowej.

Na złożach termofilowych w odróżnieniu od złożów mezofilowych, nie występowała mucha Psychoda, normalnie występująca na niskoobciążonych złożach zraszanych, a badania mikrobiologiczne wykazały, że w warunkach termofilowych przeważały bakterie. Czas kontaktu ścieków ze złożem wyjaśnia wykres 3.

Z wykresu tego wynika, że czas kontaktu ścieków ze złożem w warunkach mezofilowych był dwukrotnie dłuższy aniżeli w złożu termofilowym. Autorzy wyjaśniają to zjawisko zmniejszoną lepkością błony biologicznej przy wyższej temperaturze i inną strukturą złoża.

Wpływ podwyższonej temperatury na działanie osadu czynnego opi-

Czas kontaktu ścieków ze złożem



Wykres 3

Uwaga! Krzywe uzyskano przez pomiar stężenia w odpływie ze złoża chlorków dodawanych na dopływie ścieków na złożo.

sali w 1934 roku Viehl i Meissner [4]. Uzyskali oni przy napowietrzaniu w ciągu 7,5 godz. następujące ubytki utlenialności:

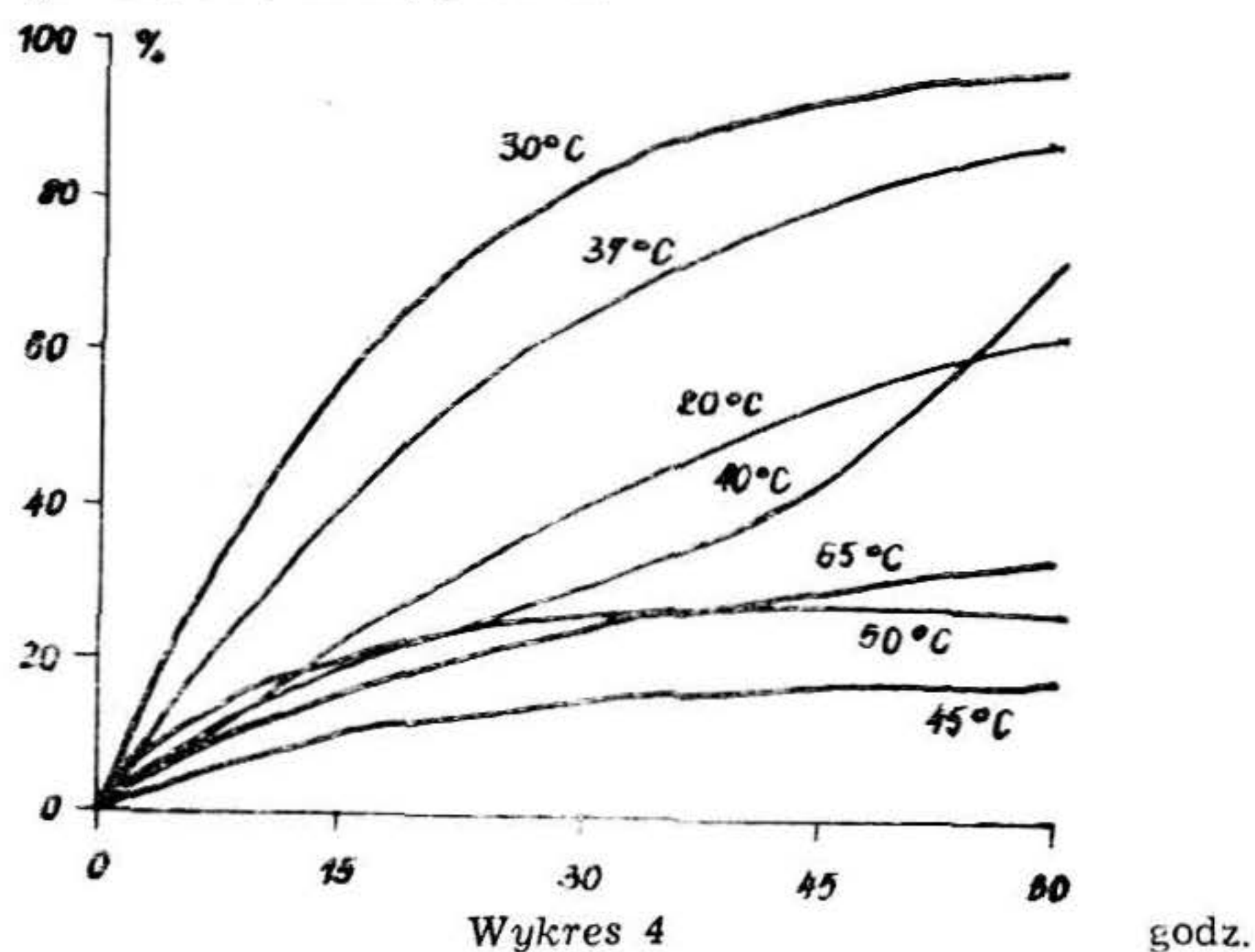
przy 20°C	—	60%
30°C	—	63%
40°C	—	45%
55°C	—	25%

Hussman i Malz prowadzili badania w 55°C i napowietrzali ścieki w ciągu 1^h. Ilość osadu czynnego w trakcie podwyższenia temperatury z 20°—35°C w ciągu 1 tygodnia silnie wzrastała, aby po przekroczeniu tej granicy termicznej gwałtownie spaść. Powyżej 40°C kłaczkii osadu były bardzo małe. Obraz mikroskopowy wykazuje obecność wolno pływających bakterii. Zabarwienie osadu mezofilowego było szarobrunatne, termofilowego od 45°C w górę było jasnoróżowe. Podobnie było na złożach. Sprawność procesu ilustruje wykres 4.

Autorzy zaobserwowali w zakresie temp. 30—37°C silny wzrost bakterii nitkowatych (prawdopodobnie *Sphaerotilus natans*). Powyżej 37°C obraz był jednolity i wykazywał obecność jedynie bakterii. Chcąc stworzyć lepsze warunki do osadzania się bakterii dodano krótkowłóknistego azbestu. (Metodę tę stosował Zigerli) [5]. Pozytywne rezultaty uzyskali autorzy jedynie na złożach, osad czynny dał wyniki negatywne.

Sprawność biodegradacji substancji organicznej za pomocą osadu czynnego w różnych temperaturach

Spadek utlenialności $KMnO_4$



W ostatnim czasie ukazała się praca na temat stabilizacji bardzo stężonych ścieków metodą aerobową termofilową U. Lolla [6]. Autor przytacza prace Bronna [7], Conneya [8] i Pöpla [9], których wyniki badań na temat ciepła wywiązującego się w trakcie aerobowej fermentacji, podano w tabeli nr 1.

Tabela 1

Organizmy	Substrat	Wytwarzanie ciepła	
		$\frac{\text{Kcal}}{\text{g O}_2}$	Utl. tlenem $\frac{\text{Kcal}}{\text{g C}}$
Bakterie			
E-coli	Glukoza		12,6
B-Subtilis	Glukoza		11,6
B-Subtilis	Melasa		11,5
B-Subtilis		3,43 średnia wart	11,4
Drożdże			
C-Intermedia	Glukoza		9,7
C-Intermedia	Melasa		11,2
Grzyby			
A-Niger	Glukoza		7,1
A-Niger	Melasa		8,9

Z zestawienia powyższego wynika, że w trakcie aerobowej biodegradacji materii organicznej

1 g O_2 ChZT odpowiada 3,5 Kcal

Należy podkreślić, że jest to średnia dla wszystkich wymienionych w pracy organizmów tzn. bakterii, drożdży, promieniowców, przy czym dla samych bakterii wartości te są wyższe. Loll uważa, że kryteria stosowane dla mezofilowych procesów biodegradacji takie jak:

1. próba na zagniwalność z błękitem metylenowym lub papierkiem nasyconym octanem ołowiu;
2. oznaczanie zawartości tłuszczów;
3. ubytek suchej substancji i suchej pozostałości po prażeniu;
4. wydzielanie się gazów w czasie fermentacji beztlenowej;
5. ChZT;
6. $\frac{C \cdot H}{\text{popiół}} = IS$
7. oddychanie osadu;
8. test aktywności reduktazowej (TTC);
9. stosunek $BZT_5/\text{węglu organicznego}$;

są niewystarczające i zaproponował nowe kryterium zmiany w czasie stosunku $BZT_5/\text{ChZT} = \eta BZT$ i przyjmuje jako techniczną, właściwą praktycznie granicę stabilizacji wartości 0,10—0,15. Poniżej tej granicy uzyskano ubytek BZT_5 większy od 90%, a nawet 98%. Autor przeprowadził badania na skalę półtechniczną w układzie statycznym (bez przepływu) i dynamicznym (z przepływem) — poddając utlenieniu pięć różnych substratów, których BZT i ChZT podano w tabeli 2.

Tabela 2

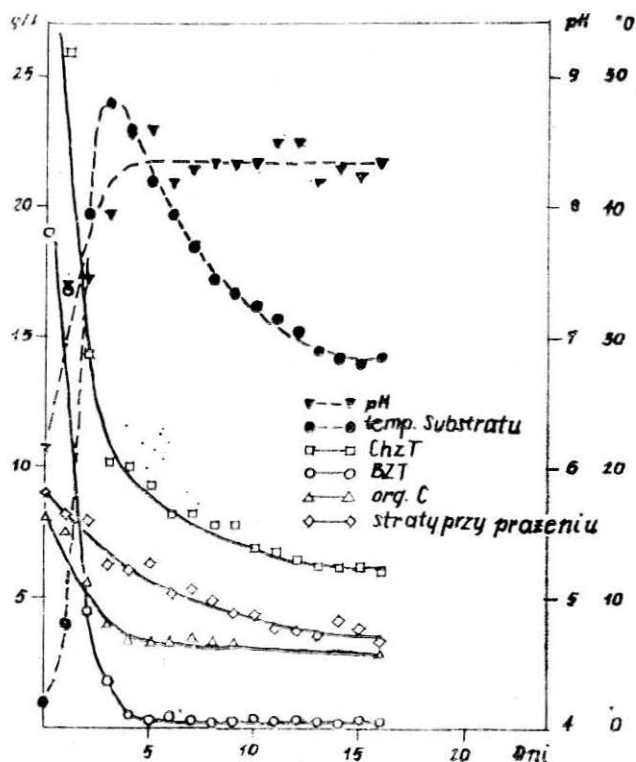
STĘŻENIE BADANYCH SUBSTRATÓW

	ChZT	BZT ₅	C org
	mg/l	mg/l	mg/l
1. Gnojowica świńska	ok. 28000	ok. 19000	ok. 8100
2. Brzeczka drożdżowa	ok. 10000	ok. 6000	ok. 5600
3. Odciek z silosów	ok. 20000	ok. 15000	ok. 6600
4. Osad z osadników wstępnych—oczyszcz. miejskich	ok. 45000	ok. 15000	ok. 22000
5. Melasa	6500—88000	4200—76000	2700—49000

Jako przykład procesu biodegradacji może służyć wykres 5.

Z wykresu widać, że maksima temperatury pH spadku BZT_5 i ChZT wystąpiły w ciągu 3÷5 dni trwania procesu. Proces prowadzony metodą ciągłą tj. przy stałym przepływie ścieków, dał następujący obraz: (wykres 6)

Biodegradacja gnojowicy świńskiej prowadzona w układzie statycznym lub okresowo



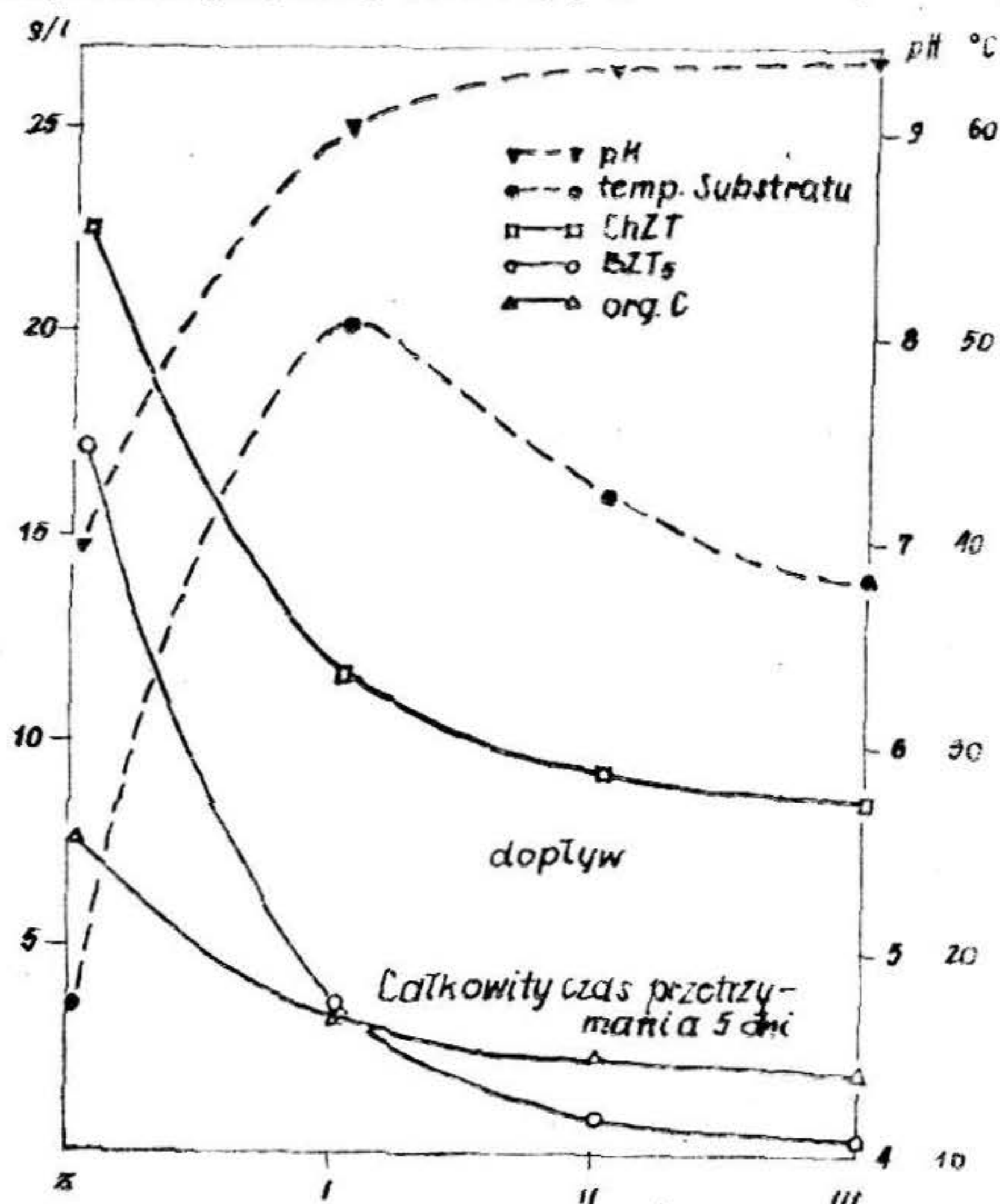
Wykres 5

Proces przebiegał sprawniej, temperaturę maksymalną ponad 50°C , osiągnięto w ciągu około 40^{h} , a BZT i ChZT osiągnęły swe minima praktycznie po 80^{h} . Jak już wspomniano U. Loll wprowadził swoje własne kryterium stabilności osadów i ścieków stabilizowanych aerobowo, a mianowicie stosunek $\text{BZT}_5 : \text{ChZT}$. Zastosował on również wykresy, na których przedstawił przebieg tego stosunku w czasie oraz w odniesieniu do ubytku ηBZT_5 , wyrażonego ułamkiem dziesiętnym BZT_5 początkowego = 1 (por. wykres 7).

Autor ten przyjmuje jako praktyczną granicę stabilizacji $\text{BZT}_5/\text{ChZT} = 0,1$ którą osiągnął dla osadów ściekowych w próbach okresowych po 3,5 doby, a w próbach przepływowych po 2,5 doby. Lewa strona wykresu przedstawia zależność BZT_5/ChZT odniesioną do ηBZT_5 . Widać z niego, że kształt krzywej jest ten sam dla prób okresowych jak i przepływowych. Według Lolla, procesy biodegradacji przebiegają tym szybciej i intensywniej, im wyższe są BZT_5 i ChZT, a stabilizacja osadów ściekowych

zachodzi z całą pewnością w ciągu 2,5—7 dób. Sprawa kryterium stabilizacji substratów organicznych ma istotne znaczenie dla procesów biodegradacji, gdyż pozwala ustalić praktyczny czas zakończenia procesu. W Polsce zajmował się tym problemem E. Kempa, który prowadził ba-

Biodegradacja gnojowicy świńskiej prowadzona w sposób ciągły



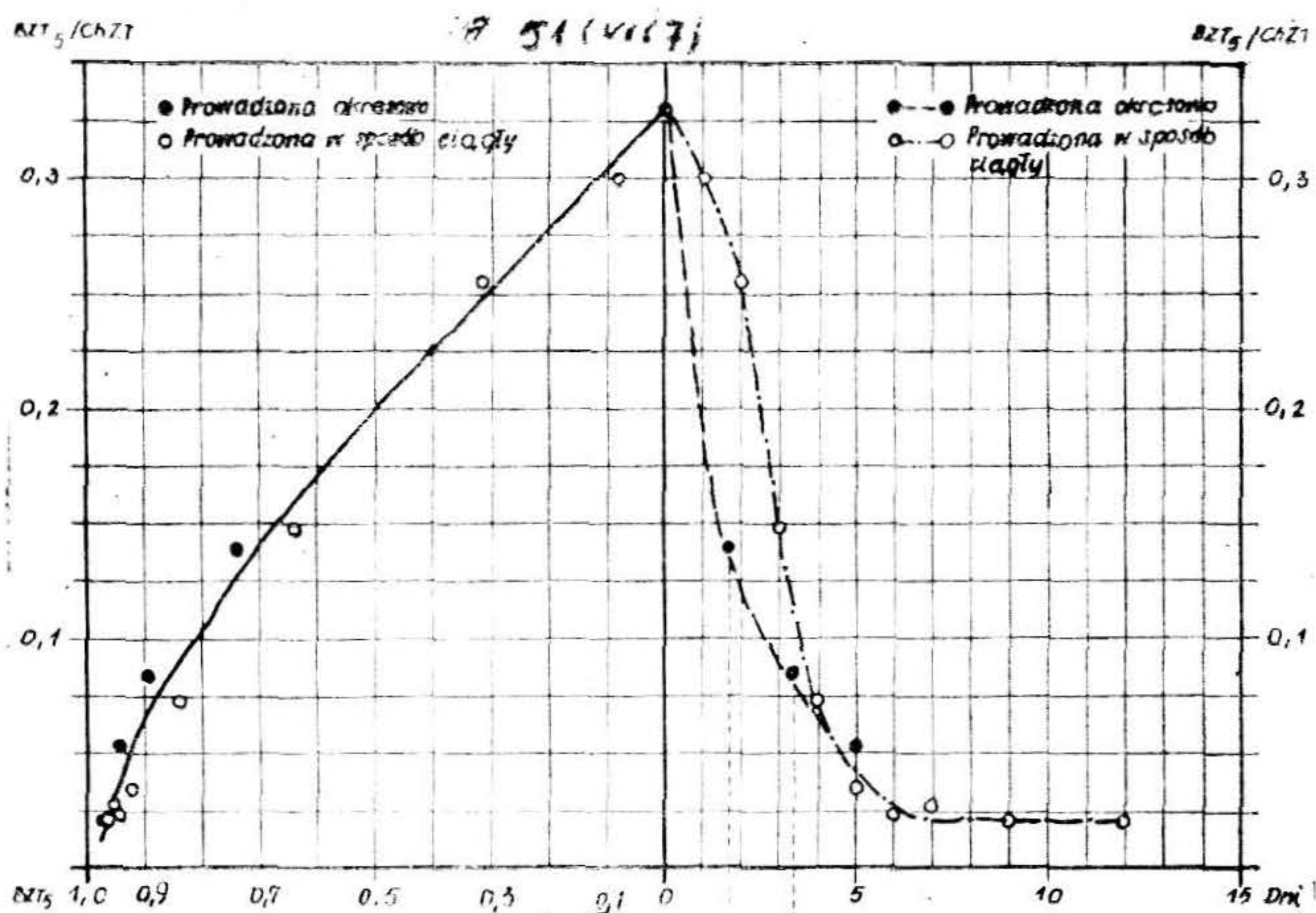
Wykres 6

dania nad stabilizacją osadów ściekowych w warunkach mezo i psychrofilowych. Zaproponował on własny wskaźnik stabilności osadów:

$$IS = \frac{C \cdot H}{\text{popiół}}$$

gdzie. C i H — zawartość procentowa C i H w suchej substancji osadu. Wyniki badań Kempy odnoszą się wprawdzie do aerobowej stabilizacji w temp. niskich i średnich [11], lecz jego kryterium jest najprawdopodobniej słuszne również dla procesów biostabilizacji termofilowej, gdyż ostatecznie każdy bioprocess aerobowy, a więc proces zużywający tlen prowadzi do utleniania najbardziej na to utlenianie podatnych substancji, co równa się częściowej lub nawet zupełnej biostabilizacji, która w natu-

Diagram stabilizacji osadów ściekowych



Wykres 7

ralnych warunkach zachodzi częściej niż pełna mineralizacja. Czy te przewidywania są słuszne wykazać mogą i mają doświadczenia.

SPIS LITERATURY

- [1]. Kołaczkowski S., Rosochowicz J. — *Badania możliwości fermentacji termofilowej śmieci miejskich i osadów ściekowych w kopcach*. Prace Instytutu Gospodarki Komunalnej, rok VI, zeszyt 10. Wyd. Arkady W-wa 1959 r.
- [2]. Kołaczkowski S. — *Kompostowanie metodą „DANO”*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna XXIX (1957) Biuletyn IGK nr 5.
- [3]. Hussmann W., Malz F. — *Untersuchungen zur biologischen Abwasserreinigung auf aerober thermophiler Grundlage*. G.W.F. 100 (1959) z. 8.
- [4]. Viehl, Meissner — *Ztschrft. für Bakteriologie* 91 (1934) wg poz. 3.
- [5]. Hoffmann — *Beiträge zur Biologie des belebten Schlammes*, Archiv f. Hyg. 1941.
(Podano wg K. Imhoff „Taschenbuch der Stadtentwässerung wyd. V s. 1943).
- [6]. Loll U. — *Stabilisierung hochkonzentrierter organischer Abwässer und Abwasserschlämme durch aerobthermophile Abbauprozesse* G.W.F. 115 (1974) z. 4.

- [7]. Bronn W. K. — *Probleme der mikrobiellen Wärmebildung und adäquaten Fermenterkühlung*.
Z Symposium — Technische Mikrobiologie, Institut für Gärungsgewerbe und Biotechnologie, Berlin, 1970.
- [8]. Cooney C. L., Wang D. I. C. n. Makles R. J. — *Measurement of heat evolution and correlation with oxygen consumption during microbiological growth*. *Biotechnology und Bioengineering*, XI (1968).
- [9]. Pöpel F. — *Selbsterwärmung bei der aeroben Reinigung hochkonzentrierter Substrate mit Hilfe von Umwälzbelüftern*, *Landtechnische Forschung*, 19 (1970) z. 5.
- [10]. Loll U. — *Neue Aspekte zur getrennten aeroben Schlammstabilisation*, *Korrespondenz Alwasser*, 21 (1974) z. 6.
- [11]. Kempa E. S. — *Zur Bestimmung der Stabilisierungsgrenze in aerob behandelten Klärschlämmen*. *Wasser, Luft und Betrieb* 12 (1968) z. 8.
- [12]. Kempa E. S. — *Über aerobe Schlammstabilisierung bei niedrigen Temperaturen*, *Wasser Luft und Betrieb* 13 (1969) z. 9.