

rzo niższej dla piw jasnych, przy temperaturze wyższej dla piw ciemnych. U nas, gdzie popyt jest na jasne, sprzedaż ciemnego monachijskiego jest mniejsza i produkcja mniejsza. Gdy zaś popyt jest mały, producent nie może dać takiego dobrego towaru.

P. W. *Fachinetti*. Jaki był procent alkoholu w tem starym naszym dawnym piwie zwyczajnym, co tak silnie musowało, a pamiętam, że będąc dzieckiem całą butelkę tego piwa wypijałem i nie czułem alkoholu?

P. *Czesław Boczkowski*. Proszę panów, przedewszystkiem to piwo było zrobione z brzezki o wielkiej zawartości ekstraktu (15—20%). Potem ilość alkoholu (3—5% wagowo) stłumiona wielką ilością cukru, a że stopień przefermentowania był zaledwie 20—20 kilku procent, więc alkohol był zupełnie niewidoczny.

LITERATURA.

Spis niektórych dzieł traktujących o piwowarstwie.

- 1) O piwie różne uwagi fiz.-chem. Warsz. Tow. 1769, cz. I, str. 88—89.
- 2) Gospodarz doskonały, czyli sposób warzenia piwa Drezno 1790.
- 3) Sposób robienia mydła i t. p. warzenia piwa. Lwów, nakład Pfaffa, druk G. W. Wielmana, 1801.
- 4) Gorzelnik i piwowar doskonały. A. Piątkowski. Kraków, w drukarni Groblewskiej 1808—1809.
- 5) Chodkiewicz Aleks. hr. Nauka robienia piwa. Warszawa 1811, w druk. XX. Pijarów.
- 6) Dorn T. I. Nauka poznawania najważniejszych działań w piwowarstwie i gorzelnictwie i t. p. Berlin 1821.
- 7) Sroczyński I. Nowy piwowar, czyli teoretyczno-praktyczna sztuka wyrabiania rozmaitych gatunków piwa angielskiego i t. p. Warszawa, druk Zawadzkiego i Węckiego, r. 1821.
— O warzeniu piwa. Izys Polska, 1821, według D. Dinglera, s. 173.
- 9) Kasperowski Adam. Sposób warzenia piwa parą i t. p. Lwów, u Milikowskiego, druk Pillera, 1833
- 10) Kurowski I. N. O warzeniu piwa według najnowszych odkryć, czyli treść dzieł o piwowarstwie zagranicznych technologów i piwowarów. Warszawa, G. Sennewald, w drukarni I. Węckiego, r. 1837.
- 11) Koncewicz Jan. Piwowarstwo w całej obszerności praktycznie wyłożone i t. p. Warszawa, druk Tomaszewskiego, 1847.
- 12) Piątkowski Romuald. Piwowarstwo i t. p. Lwów. W. Maniecki, 1858.
- 13) Fermentacja, jej przyczyny i zjawiska, z wyszczególnieniem fermentacji alkoholowej, napisał Jerzy Ryx. Kraków, nakładem autora, w księgarni I. K. Zupańskiego i K. I. Neumana. 1887.
- 14) O wpływie badań bakteriologicznych na różne gałęzie przemysłu fermentacyjnego. Streszczenie wykładu d-ra A. Mizerskiego, odbitka z „Przegl. Techn.” Warszawa, w drukarni K. Rubieszewskiego i Wrotnowskiego. 1893.
- 15) C. Fruwirth. Chmiel, jego uprawa i użycie, przeł. z niemieckiego Stan. Rewieński. Warszawa. Nakład Gebethnera i Wolffa. 1895.
- 16) Czesław Boczkowski. Piwowarstwo i słodownictwo. Warszawa, Encyklopedia Rolnicza. Tom VIII.
- 17) Mikrobiologia fermentacyjna. Napisał Wiktor Syniewski. Lwów. Nakładem autora 1900.
- 18) Rady praktyczne dla piwowarów przy stosowaniu nowego sposobu opodatkowania piwa, opracował Kazimierz Kujawski. Warszawa. Druk Lepperta i S-ki. 1902.
- 19) Technologia chemiczna ogólna, opracowana zbiorowo, wydana przez d-ra B. Miklaszewskiego. Czesław Boczkowski opracował piwowarstwo, drożdżarstwo. Warszawa. Druk Tow. Akcyjnego S. Orgelbranda S-ów. 1908.
- 20) Witold Stankiewicz. Uprawa chmielu. Warszawa 1912.
- 21) Fraut Ond. Panpe. Pocatkové zakladuchy umeni o varedi piva. V. Ottomanei, 1801.
- 22) Pivovarstvi, sepsal Frantisek Chodounski, sladek Vynatek z „Kroniky Prace“ v Praze. Nakladatel I. L. Kober Knihupeectvi.
- 23) Navod ku zkonseni surovin, produktu a odpadku pivovarnickych. Rozbory chemicke i t. p., sestavil Ing. chemie Jar. Sula, pri sazny chemik a sprava vyzkumneho ustavu pro prumysl pivovarnicky v Praze. Z dodatkem.
- 24) O posuzovani chmele dle vsejsich vlastnosti, napisal Fr. Chodounsky. Praha, podporon „Jednoty k zalozeni a vydrzovani vyzkumneho ustavu pro prumysl pivovarnicky v Cechach“. Nakladem vlastnim. 1898.
- 25) Nyniesznije Pivowarennoje Proizvodstvo za graniceju A Krupskago. S. Peterburg. Izdanie Towariszczestwa „Obszczestwienaja Polza“. 1871.
- 26) Sołodowiennoje proizvodstvo. Prakticzeskoje rukowodstvo (dla piwowarow, winakurow i sołodnikow, sostawil inženier technolog K. Weber. Izdanije A. F. Devriena. 1884.
- 27) Prakticzeskoje rukowodstvo k Pivowareniju sostawil S. S. Chleborod. Izdanie A. F. Devriena, 1886.
- 28) Chimiczeskaja Technologija sielsko-choziajstwiennych produktow, sostawil profesor S. Pietierburgskago Technologiczeskago Instituta N. Tawitdarow. 2 tom. Izdanije Pantieliejewa. 1889.
- 29) Pivowarenije (zawodskoje i domasznie), kwasowarenije i t. d. d-ra L. N. Simonowa, pri uczastii M. S. Pumpjanskago, direktora Kałasznikowskago Pivowarennago Zawoda w St. Peterburgie. 1898.
- 30) Kwasowarenije i domasznieje piwowarenije d-ra L. N. Simonowa, pri uczastii M. S. Pumpjanskago. (Wyd. zmniejszone). 1898.
- 31) Kwas, piwo, wino i wodka w sanitarnom i ekonomiczskom otnoszenijach. Kijów 1901.
- 32) Handbuch für Bierbrauer i t. d. Nach den besten Quellen und vieljaehrigen eigenen Erfahrungen bearbeitet von P. Mueller Bierbrauermeister mit einem Vorwort von Dr. Jul. Otto, ordentlichen Professor der Chemie am Colegio Carolino und Medicinalrath zu Braunschwig. Braunschweig, 1854.
Poza tem, z innych literatur zawodowych piwowarskich wspomnę tylko o niektórych utworach nowszych i nowych, mających do dziś wartość naukową.
- 33) L. Pasteur. Etudes sur la bière. Paris 1876.
- 34) Traité complet de la Fabrication des Bières, par M. M. G. Moreau et Lucien Lévy. Paris 1905.
- 35) Die Theorie und Praxis der Malzbereitung und Bierfabrication von Julius E. Thausing, Brauereidirektor, unter Mitwirkung von Prof. Dr. Georg-Holzner, Direktor Lauger und Dr. Emil Struve neubearbeitete Auflage. In 2 Teilen. Leipzig 1907.
- 36) Die Malz und Bierbereitung. Ein Lehr und Nachschlagebuch. Unter Mitwirkung von Dr. Barth — Nürnberg Dr. Eckhardt — München, Prof. Dr. Kraus — München u. a. bearbeitet von E. Leyser. 11 Auflage 3 Band. Stuttgart 1910.
- 37) Chemie und Physiologie des Malzes und des Bieres. Von Dr. Eugen Prior. Leipzig 1896.
- 38) Die Gärungsführung in Brauerei, Brennerei und Presshefefabrik u. s. w. Dargestellt von M. Delbrück und F. Hayduck. Berlin 1911.
- 39) Mikroskopische Betriebskontrolle in den Gärungsgewerbe u. s. w. von Prof. Dr. Paul Lindner. Dritte, neubearbeitete Auflage. Berlin 1901.
- 40) Gärungsbakteriologisches Practikum, Betriebsuntersuchungen und Pilzkunde. Bearbeitet von Dr. Wilhelm Henneberg, Abteilungsvorsteher am Institut fuer Gärungsgewerbe in Berlin. Berlin 1909.
- 41) Das chemische Laboratorium des Brauers. Von Prof. Dr. Wilhelm Windisch. 5 erweiterte Auflage. Berlin 1902. (372 str.).
- 42) Illustriertes Brauerei-Lexikon (opracowany przez 15 profesorów) Herausgegeben von Dr. Max Delbrück. Berlin 1910.
- 43) W literaturze angielskiej najcenniejsze dzieło, którego w przekładzie niemieckim przez profesora d-ra Wilhelma Windischu tytuł: „Moritz und Moris“ Handbuch der Brauwissenschaft. Berlin 1893.

Przyczynek do teorii przemian termodynamicznych.

Napisał Leon Karasiński.

(Dokończenie do str. 318 w № 31 i 32 r. b.)

§ 7. *Wnioski*. Oznaczmy przez $\delta S = \delta C : T$ — wartość przyrostu entropii dla nieodwracalnego przebiegu elementarnego $M M'$, oraz przez $dS = dC : T$ — wartość przyrostu entropii dla elementarnego przebiegu sprzężonego odwracalnego $M(M) M'$. Wobec istnienia nierówności $\delta C < dC$ dla obu wypadków $dv > 0$ i $dv < 0$, możemy napisać $\delta C : T < dC : T$, to jest $\delta S < dS$. Stąd mamy:

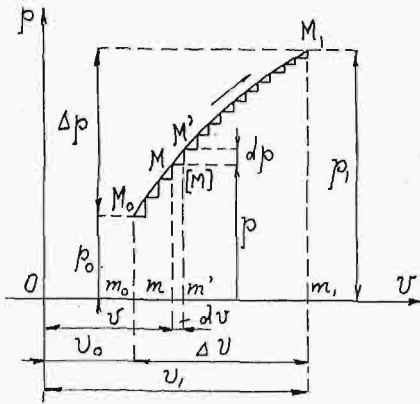
Wniosek pierwszy. Przyrost entropii δS dla nieodwracalnego przebiegu elementarnego MM' , ujawniającego przyrosty dv , dp posiada wartość mniejszą od wartości przyrostu entropii dS przebiegu sprzężonego $M(M) M'$, ujawniającego te same przyrosty dp , dv , a złożonego z kolejno po sobie idących przebiegów elementarnych przy stałej objętości i prężności właściwych.

Z kolei rozpatrujemy (rys. 4) równoległe do skończonego przebiegu nieodwracalnego $M_0 M_1$ sprzężony z nim przebieg lamany $M_0 (M_0) \dots M (M) M' \dots M_1$, odwracalny, bo utworzony z kolejno po sobie idących odwracalnych przebiegów elementarnych $M(M) M'$, sprzężonych (wewnętrznie lub zewnętrznie) z elementarnymi przebiegami nieodwracalnymi MM' , składającymi dany przebieg $M_0 M_1$. Dla przebiegów elementarnych MM' oraz $M(M) M'$ mamy, jakśmy to już wyżej udowodnili, $\delta S < dS$. Stąd oczywiście $\Sigma \delta S < \Sigma dS$, gdzie znak $\Sigma \delta S$ rozciąga się na wszystkie przebiegi elementarne MM' , zaś znak sumy $\Sigma dS = \Delta S = S_1 - S_0$ na przebiegi sprzężone $M(M) M'$, składające przebieg lamany. Stąd otrzymujemy:

Wniosek drugi. Przyrost entropii $\Sigma \delta S$ dla nieodwra-

całnego przebiegu skończonego $M_0 M_1$, ujawniającego przyrosty Δp , Δv , posiada wartość mniejszą od wartości przyrostu ΣdS entropii sprzężonego łamanego przebiegu odwracalnego skończonego $M_0 M_1$, ujawniającego te same przyrosty Δp , Δv , a złożonego z kolejno po sobie idących elementarnych przebiegów odwracalnych $M(M)M'$, sprzężonych z elementarnymi przebiegami nieodwracalnymi MM' , stanowiącymi dany przebieg.

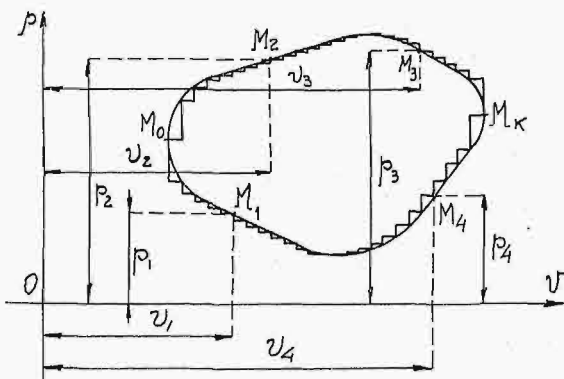
W końcu rozpatrujemy równoległe do danego obiegu nieodwracalnego $M_0 M_k$ (rys 5) sprzężony obieg łamany



Rys. 4.

$M_0 M_k$, odwracalny, bo utworzony z kolejno po sobie idących odwracalnych przebiegów elementarnych $M(M)M'$, sprzężonych z elementarnymi przebiegami nieodwracalnymi MM' , składającymi dany obieg. Dla przebiegów elementarnych MM' oraz $M(M)M'$ mamy, jakśmy to już wyżej udowodnili, $\delta S < dS$. Stąd oczywiście $\Sigma \delta S < \Sigma dS$, gdzie znak sumy $\Sigma \delta S$ rozciąga się na wszystkie przebiegi elementarne MM' , a znak sumy ΣdS — na sprzężone przebiegi $M(M)M'$, składające obieg łamany. Wobec odwracalności obiegu łamanego, sprzężonego z danym, mamy $\Sigma dS = 0$, skąd $\Sigma \delta S < 0$ dla danego obiegu odwracalnego. Stąd mamy

Wniosek trzeci. Nieodwracalny obieg ujawnia ujemny przyrost entropii ciała, czynnego w tym obiegu. W układzie osi T, S (rys. 6) zamknięta krzywa $N_1 N_2 N_3 N_4 N_1$ wyobrażać oczywiście będzie prawy odwracalny obieg łamany $M_1 M_2 M_3 M_4 M_1$ w układzie osi p, v (rys. 5), sprzężony z danym obiegiem nieodwracalnym $M_0 M_k$ (rys. 5), również pra-

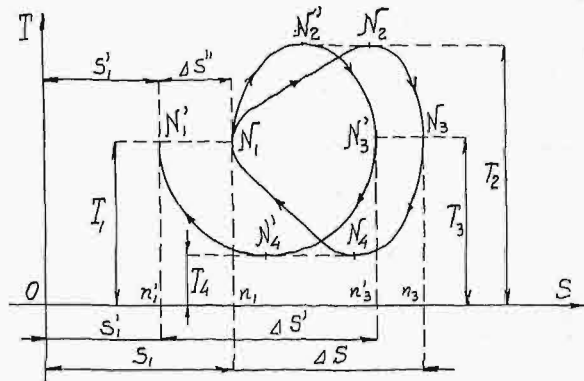


Rys. 5.

wym. (Ograniczamy się tu do rozpatrywania li tylko prawych obiegu wobec oczywistej niezależności wyników od kierunku obiegu). Dwie skrajne styczne $n_1 N_1$ oraz $n_3 N_3$ (rys. 6) wyznaczają krańcowe punkty $N_1 [T_1, S_1]$ oraz $N_3 [T_3, S_3 = S_1 + \Delta S]$, odpowiadające skrajnym wartościom S_1 i $S_3 = S_1 + \Delta S$ entropii ciała czynnego w tym obiegu. Poza tem niech punkty N_2 oraz N_4 przynależą do skrajnych wartości temperatur T_2 oraz T_4 ciała, czynnego w danym obiegu. W układzie osi p, v (rys. 5) punktom N_1, N_2, N_3 i N_4 odpowiadać będą punkty $M_1(p_1, v_1), M_2(p_2, v_2), M_3(p_3, v_3)$ i $M_4(p_4, v_4)$. W ten sposób obieg N_1, N_2, N_3, N_4, N_1 rozpadnie się na dwa, kolejno po sobie idące przebiegi: N_1, N_2, N_3 , gdzie ujawnia się przyrost $\Delta S = On_3 - On_1 > 0$ oraz N_3, N_4, N_1 , gdzie ujawnia się przyrost $-\Delta S = On_1 - On_3 < 0$; natomiast obieg łamany $M_1 M_2 M_3 M_4 M_1$ rozpadnie się na kolejno po sobie idące przebiegi łamane $M_1 M_2 M_3$ oraz odpowiednio

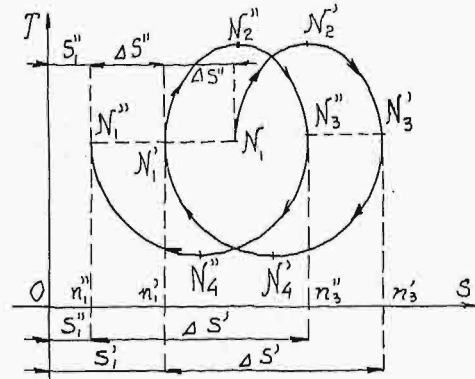
$M_3 M_4 M_1$, które z kolei rozpadną się na odwracalne przebiegi elementarne $M(M)M'$, ujawniające przyrosty dS i dT a sprzężone z elementarnymi przebiegami nieodwracalnymi MM' , ujawniającymi przyrosty dT oraz $\delta S < dS$, a stanowiącymi dany obieg nieodwracalny $M_0 M_2 M_3 M_4 M_1 M_0$.

Obierzmy punkt M_1 za punkt wyjścia dla obu obiegu — łamanego odwracalnego $M_1 M_2 M_3 M_4 M_1$ obiegu „ OE “, oraz pierwotnego nieodwracalnego $M_0 M_2 M_3 M_4 M_1 M_0$ obiegu „ ON “. Dzielną nieodwracalny przebieg skończony $M_1 M_2 M_3$ obiegu ON na nieodwracalne przebiegi elementar-



Rys. 6.

ne $...MM'...$, z łatwością możemy określić dla każdego z nich przyrosty δS i dT , a, co za tem idzie możemy wyznaczyć w układzie osi T, S łuk $N_1 N_2 N_3$, wyrażający przebieg $M_1 M_2 M_3$ obiegu ON . Ponieważ oczywiście tak dla łamanego przebiegu odwracalnego $M_1 M_2 M_3$ obiegu OE , jak i dla przebiegu nieodwracalnego $M_1 M_2 M_3$ obiegu ON — temperatura ciała czynnego w krańcowym stanie ciepłikowym $M_3(p_3, v_3)$ wynosi $T_3 = f(p_3, v_3)$, przeto końcowe punkty łuków $N_1 N_2 N_3$ oraz $N_1 N_2' N_3'$ leżeć będą na prostej $N_3' N_3$, równoległej do osi entropii układu T, S , przyczem końcowy punkt N_3' łuku $N_1 N_2' N_3'$ będzie leżał bliżej początku współrzędnych, ponieważ łamany przebieg odwracalny $M_1 M_2 M_3$ obiegu OE ujawnia przyrost entropii $\Delta S = On_3 - On_1 > 0$, a przebieg $M_1 M_2 M_3$ nieodwracalny (obiegu ON) ujawnia przyrost $\Sigma \delta S = On_3' - On_1 < \Delta S$, również dodatni, lecz mniejszy od ΔS . Dzielną z kolei nieodwracalny przebieg skończony $M_3 M_4 M_1$ obiegu ON na nieodwracalne



Rys. 7.

przebiegi elementarne $...MM'...$, zupełnie w ten sam sposób wyznaczmy odpowiedni łuk $N_3' N_4' N_1'$, tworzący w połączeniu z poprzednio wyznaczonym łukiem $N_1 N_2' N_3'$ — otwartą krzywą $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$, wyrażającą nieodwracalny obieg ON w układzie osi T, S . Krańcowe punkty tej krzywej leżą oczywiście na jednej i tej samej prostej $N_1' N_1$, równoległej do osi entropii, ponieważ niewątpliwie $n N_1' = n_1 N = T_1$, gdzie $T_1 = f(p_1, v_1)$ jest temperaturą stanu ciepłikowego $M_1(p_1, v_1)$ punktu wyjścia obiegu ON . Końcowy punkt N_1' krzywej $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$ obiegu ON leży oczywiście bliżej początku współrzędnych niż punkt początkowy N_1 , obieg bowiem ON , jako nieodwracalny, ujawnia przyrost $\Delta S' = On_1' - On_1$ — ujemny, co daje $On_1' < On_1$. Stąd mamy:

Wniosek czwarty. Obieg nieodwracalny wyraża się łukiem otwartym w układzie osi T, S ; skrajne punkty tego

łuku leżą na prostej równoległej do osi entropii—w odległości równej ujawnionemu podczas obiegu ujemnemu przyrostowi entropii ciała czynnego.

Jeżeli po dokonaniu obiegu nieodwracalnego ON , wykonamy ten sam obieg ponownie, znów wychodząc z punktu wyjścia M , to w układzie osi T, S otrzymamy krzywą $N_1' N_2' N_3' N_4' N_1'' N_2'' N_3'' N_4'' N_1'''$ (rys. 7), złożoną z dwóch zwojów $N_1' N_2' N_3' N_4' N_1''$ oraz $N_1'' N_2'' N_3'' N_4'' N_1'''$ tożsamościowych, kolejno idących po sobie, a stanowiących wspólnie w układzie osi T, S łuk powtórzonego dwa razy nieodwracalnego obiegu ON . Powtarzając ten nieodwracalny obieg k razy, otrzymamy otwartą krzywą grajczarkowatą, złożoną z k zwojów tożsamościowych, idących po sobie kolejno. Skrajne punkty tej krzywej leżą oczywiście na prostej $N_1 N_1' N_1'' N_1''' \dots N_1^{(k)}$, równoległej do osi entropii, przyczem końcowy punkt $N_1^{(k)}$ krzywej leży bliżej do osi temperatur niż punkt początkowy N_1 . Odległość $N_1 N_1^{(k)} = = k \Delta S''$, gdzie $\Delta S''$ oznacza ujemny przyrost entropii, ujawniający się przy każdorazowym wykonywaniu danego obiegu nieodwracalnego, a k jest liczbą obiegów dokonanych. Stąd mamy:

Wniosek piąty. Dowolną liczbę razy powtórzony obieg nieodwracalny w układzie osi T, S wyraża się łukiem otwartym grajczarkowatej krzywej, złożonej z pewnej liczby tożsamościowych, kolejno po sobie idących zwojów, przyczem liczba tych zwojów równa jest liczbie obiegów dokonanych. Skrajne punkty grajczarkowatej krzywej leżą na prostej równoległej do osi entropii—w odległości, równej sumie ujemnych równych przyrostów entropii, każdorazowo ujawniających się podczas dokonywania obiegu nieodwracalnego.

Dla rozpatrywanego obiegu nieodwracalnego ON równanie § 5 napiszemy na mocy $\delta C - dC = A (\delta \Pi - d\Pi)$, to jest $\delta C - A \delta \Pi = dC - A d\Pi = du$ —w postaci $\Sigma (\delta C - A \delta \Pi) = = \Sigma (dC - A d\Pi) = \Sigma du = 0$. Stąd więc oczywiście wobec $\Sigma \delta C < \Sigma dC$ —mamy $\Sigma \delta \Pi < \Sigma d\Pi$, gdzie suma $\Sigma \delta \Pi$ rozciąga się na wszystkie przebiegi elementarne MM' , stanowiące obieg nieodwracalny ON , a suma $\Sigma d\Pi$ —na sprzężone przebiegi elementarne $M(M)M'$, składające obieg łamany OL , przyczem oczywiście ta ostatnia suma $\Sigma d\Pi$ wyraża pole obiegu ON . Stąd mamy

Wniosek szósty. Praca, oddana na zewnątrz przy twórczym obiegu nieodwracalnym jest mniejsza od pracy, oddanej na zewnątrz przy twórczym łamanym obiegu odwracalnym, sprzężonym z danym.

W ten sam zupełnie sposób dla biernego obiegu nieodwracalnego mamy $\Sigma \delta \Pi < \Sigma d\Pi$, skąd otrzymujemy, wobec tego, iż $\Sigma \delta \Pi < 0$ oraz $\Sigma d\Pi < 0$:

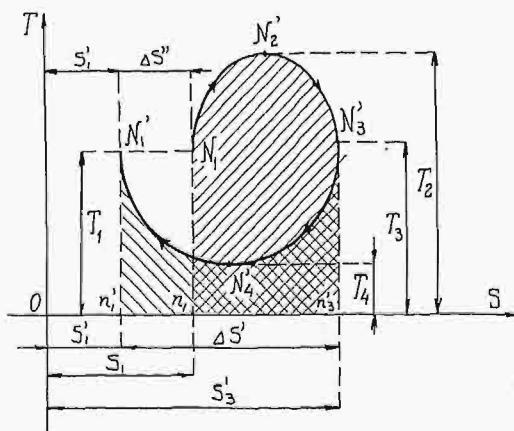
Wniosek siódmy. Praca, pochłonięta z zewnątrz przy biernym obiegu nieodwracalnym, jest większa od pracy, koniecznej do wykonania łamanego obiegu odwracalnego biernego, sprzężonego z danym.

§ 8. **Sprawność obiegu nieodwracalnego.** Rozpatrzmy w układzie osi T, S otwarty łuk $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$, odpowiadający obiegowi nieodwracalnemu ON w układzie osi p, v . W danym wypadku oczywiście powierzchnia $C_2 > 0$ oznacza ilość ciepłika C_2 , pobraną ze źródeł podczas wykonywania obiegu ON , łuk bowiem $N_1 N_2' N_3'$ ujawnia dodatni przyrost entropii $\Delta S''' = On_3' - On_1 > 0$; natomiast zaś powierzch-

nia C_1 oznacza w danym wypadku ilość ciepłika $-C_1 < 0$, oddaną źródłom podczas wykonywania obiegu ON , łuk bowiem $N_3' N_4' N_1'$ ujawnia przyrost ujemny $\Delta S'' = On_1' - On_3' < 0$. Suma $C_2 - C_1 = C_3 > 0$ stanowi równoważnik ciepłikowy pracy, oddanej na zewnątrz podczas trwania obiegu nieodwracalnego ON . Stąd bezpośrednio sprawność obiegu nieodwracalnego ON : $\eta_N = C_3 : C_2 = 1 - C_1 : C_2$.

Określona w ten sposób sprawność obiegu nieodwracalnego porównajmy ze sprawnością sprzężonego obiegu odwracalnego, wytworzonego w następujący sposób. Rozpatrzmy łamany przebieg odwracalny $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$, utworzony z kolejno po sobie idących elementarnych przebiegów łamanych $N(N)N'$, składających się z przebiegów $N[N]$ izotermicznych, temperatury T , przynależnej do punktu $N(T, S)$ rozpatrywanego łuku $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$, oraz przebiegów $[N]N'$ adiabatycznych. Elementarne przebiegi $N[N]$ oraz $[N]N'$ ujawniają oczywiście te same przyrosty $\delta S, dT$, co i element NN' rozpatrywanego łuku, przeto ele-

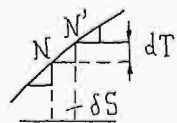
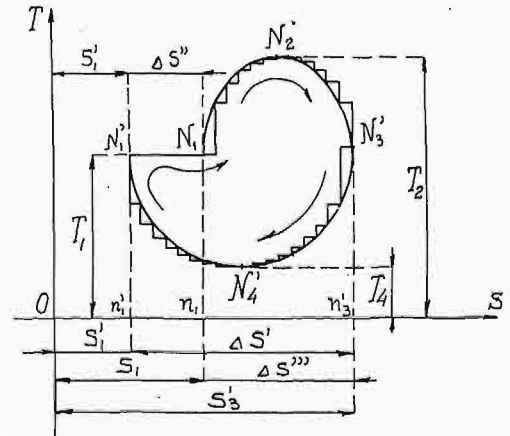
Rys. 8.



$$\frac{POW[N_1 N_2' N_3' N_4' N_1']}{POW[N_1' N_2' N_3' N_4' N_1']} = C_2 \quad \frac{POW[N_1' N_2' N_3' N_4' N_1']}{POW[N_1' N_2' N_3' N_4' N_1']} = C_1$$

$$\frac{POW[N_1 N_2' N_3' N_4' N_1']}{POW[N_1' N_2' N_3' N_4' N_1']} = C_2 + w \quad C_2 - C_1 = C_3$$

Rys. 9.



Rys. 10.

mentarny przebieg łamany $N[N]N'$ będziemy nazywali sprzężonym z przebiegiem elementarnym NN' , ujawniającym przyrosty δS i dT .

Łamany przebieg odwracalny $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1'$, łącznie z przebiegiem odwracalnym $N_1' N_1$, zachodzącym wzdłuż izotermy temperatury T_1 , tworzy obieg odwracalny $N_1 N_2' N_3' N_4' N_1' N_1$, sprzężony z danym obiegiem nieodwracalnym ON . W ten sposób wytworzony obieg sprzężony zachodzi oczywiście w granicach tych samych skrajnych wartości temperatur i entropii, co i dany obieg nieodwracalny.

W danym wypadku powierzchnia $C_2 + w > 0$ oczywiście oznacza ciepłik $C_2 + w$, pobrany ze źródeł podczas wykonywania obiegu sprzężonego, linia bowiem łamana $N_1' N_1 N_2' N_3'$ ujawnia dodatni przyrost entropii $\Delta S' = = On_3' - On_1' > 0$, natomiast powierzchnia $C_1 > 0$ oznacza w danym wypadku ilość ciepłika C_1 , oddanego źródłom, linia bowiem łamana $N_3' N_4' N_1'$ ujawnia ujemny przyrost entropii $\Delta S'' = On_1' - On_3' < 0$. Suma $C_2 + w - C_1 = C_3 + w$ stanowi oczywiście równoważnik ciepłikowy pracy, oddanej na zewnątrz przy wykonywaniu obiegu sprzężonego z danym, obiegiem nieodwracalnym. Stąd sprawność obiegu sprzężonego $\eta_s = [C_3 + w] : [C_2 + w] = 1 - C_1 : [C_2 + w]$. Wobec $w > 0$ mamy oczywiście $C_2 + w > C_2$, a zatem $\eta_s > \eta_N$. Stąd wnioskujemy, że **sprawność nieodwracalnego obiegu prawego jest niższa od sprawności obiegu odwracalnego, sprzężonego z danym.**