

TREŚĆ: Dr. M. Thullie: Amerykańskie doświadczenia ze słupami żelbetowymi. — Inż. T. Tillinger: Zasilanie Bugu i dolnej Wisły. — Inż. St. Ochęduszek: Wartość opalowa gazów z teoretycznego punktu widzenia.

Dr. Maksymiljan Thullie.

Amerykańskie doświadczenia ze słupami żelbetowymi.

Na uniwersytecie Illinois wykonano w latach 1925/6 doświadczenia ze słupami żelbetowymi uzwojonymi. Sprawozdanie Richarda Brandtzaega i Browna ukazało się w r. 1929. Oprócz tego ogłosił prof. Brandtzaeg w r. 1932 artykuł w *Bet. u. Eisen*: „Sposób działania uzwojonych ciał ciśnionych“, który te doświadczenia omawia.

Poddano badaniu słupy o $d=25.4\text{ cm}$, $h=101.6\text{ cm}$ a to 5 słupów betonowych a 18 żelbetowych, których procent uzwojenia wahał się od 0.5 do 4.41. Także wytrzymałość na ciągnięcie drutu uzwojającego była rozmaita, jak to widać z tabl. 1.

Nie dano słupom żadnego uzbrojenia podłużnego,

kształcenia podłużne i poprzeczne słupa i uzwojenia. Stwierdzono, że w pierwszej fazie odkształcenia są proporcjonalne do obciążenia, w drugiej fazie beton zaczyna być plastycznym i przekrój poprzeczny słupa się powiększa wskutek czego powstają małe ciągnięcia w uzwojeniu. W trzeciej fazie, której początek odpowiada chwili, gdy w słupach nieuzbrojonych pokazują się pierwsze pęknięcia, odkształcenia poprzeczne się powiększają a w drucie owijającym powstają wielkie ciągnięcia. Uzwojenie pękło tylko w grupie 13 o bardzo wytrzymałym drucie i bardzo wielkim obciążeniu. We wszystkich innych grupach nie wyczerpała się wytrzymałość na ciągnięcie drutu owijającego.

Tabl. 1.

Słup <i>l</i>	Wytrzymałość na ciśnienie walców $d:h=6:12$ kg/cm^2	F_u cm^2	Procent uzwojenia P_u $(F_u:F_r) 100$	Ciśnienie		Wytrzymałość na ciągn. drutu owijającego K_u kg/cm^2	Ciśnienie przy złamaniu wedle			
				przy złamaniu K kg/cm^2	przy pierwszym pęk. K_t kg/cm^2		rozp. polskiego kg/cm^2	rozp. niemieckiego		Kugiego kg/cm^2
								$K_b < 160$	$K_b > 160$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
02	178			161	—	—				
03	179			136	—	—				
04	161			149	—	—				
05	160			146	—	—				
06	174			156	—	—				
0 średnio	170	0	0	150	—	—	—	—	—	—
11	188			191	184					
12	196			194	172					
13	185			180	180					
1 średnio	190	3.54	0.50	188	179	4947	210	233	252	193
21	186			251	166					
22	201			256	206					
23	192			251	191					
2 średnio	193	8.60	1.11	253	187	4954	237	285	330	237
31	203			262	186					
32	177			267	238					
33	195			243	202					
3 średnio	192	16.4	2.07	258	209	3761	281	371	387	261
41	192			300	270					
42	186			298	239					
43	175			309	290					
4 średnio	184	20.6	2.64	302	252	3754	344	440	432	303
51	193			452	302					
52	203			439	247					
53	189			464	228					
5 średnio	195	33.1	4.41	452	258	4689	386	587	515	464
131	187			596	249					
132	177			518	214					
133	201			548	258					
13 średnio	189	12.6	1.96	554	240	13880	276	356	869	560

co w praktyce jest niedopuszczalnym, bo odkształcenia są za wielkie. Wyniki doświadczeń są pomimo tego bardzo pouczające, bo mierzono bardzo dokładnie od-

Myliłby się kto sądząc, że rdzeń betonowy przy doświadczeniu na złamanie rozgnięta się. Po zdjęciu uzwojenia ze słupa 32 poddano doświadczeniu rdzeń

betonowy, który uniósł jeszcze 73 kg/cm^2 , a więc prawie połowę tego, co niósł słup betonowy.

W rubrykach 8, 9, 10 i 11 widzimy wyniki obliczenia ciśnień przy złamaniu wedle rozporządzenia polskiego, niemieckiego dla $K_b < 160$ i $K_b > 160$ i wedle Kugiego.

Polski wzór opiewa:

$$P = K_b (1.25 F_r + 15 F_p + 30 F_u) \text{ albo: } K = \frac{P}{F_r} = K_b \left(1.25 + 15 \frac{F_p}{F_r} + 30 \frac{F_u}{F_r} \right) \quad 1)$$

Analogicznie otrzymano wedle niemieckiego rozporządzenia dla $K_b < 160 \text{ kg/cm}^2$.

$$K = \frac{P}{F_r} = K_b \left(1 + 15 \frac{F_p}{F_r} + 45 \frac{F_u}{F_r} \right) \quad 2)$$

a dla $K_b > 160$ przy założeniu potrójnego bezpieczeństwa

$$P = K_b F_r + K_2 F_p + 2.5 K_u F_u \text{ albo } K = \frac{P}{F_r} = K_b + K_2 \frac{F_p}{F_r} + 2.5 K_u \frac{F_u}{F_r} \quad 3)$$

Wedle Kugiego jest dla $\gamma = 1.5$:

$$K = \frac{P}{F_r} = K_b + K_2 \frac{F_p}{F_r} + 1.5 K_u \frac{F_u}{F_r} \quad 4)$$

Przy obliczeniu przyjęto $F_p = 0$, $F_r = 506.7 \text{ cm}^2$. Co do $K_b = 150 \text{ kg/cm}^2$ (w równ. 1) i 4), bo tu wchodzi w grę

wytrzymałość na ciśnienie słupowe. Według norm niemieckich wstawić należy za K_b wytrzymałość graniasto-słupową (Prismenfestigkeit), którą znajdujemy w rubryce 2. Zauważyć jeszcze należy, że w naszym wypadku warunki ważności równań 1, 2 i 3 nie spełniają się, bo $F_p = 0$.

Dla grup 1, 2, 3 i 4 otrzymaliśmy według norm polskich nieco za wielkie ciśnienie przy złamaniu. Wedle norm niemieckich dla $K_b < 160$ jest różnica dla większych p_u jeszcze większa. Dla grupy 13 obie normy dają mylne wyniki, znacznie za małe. Najnowszy wzór według norm niemieckich dla $K_b > 160 \text{ kg/cm}^2$ daje wszędzie za wielkie ciśnienia przy złamaniu. Zaś wzór Kugiego dla $\gamma = 1.5$ daje bardzo dobre wyniki nietylko dla grupy 13 przy $K_u = 13880$, ale też i dla innych grup. W nowym wzorze niemieckim 3), zbudowanym wedle Kugiego, wydaje się spółczynnik $\gamma = 2.5$ za wielki, lepiejby było może przyjąć $\gamma = 1.5$ a za K_b wytrzymałość słupową. Teraz już możemy stwierdzić, że w wypadkach, gdy do owinięcia nie używamy zwykłego drutu, lecz drutu o wysokiej wytrzymałości, nadaje się najlepiej wzór Kugiego. Dla wyznaczenia lepszego spółczynnika γ potrzebne są dalsze jeszcze doświadczenia.

Inż. Tadeusz Tillinger.

Zasilanie Bugu i dolnej Wisły.

1. Motywy regulacji na małą wodę.

Projekt regulacji Wisły, przyjęty w ogólnych zasadach przez M. R. P., — przewiduje profil trójdzielny: na wodę wielką, średnią i małą.

Koło Warszawy odpowiednie szerokości tych koryt mają wynieść 900, 375 i 153 m. Poniżej ujścia Bugu koryto śr. wody ma otrzymać szerokość 450 m, które do b. granicy pruskiej ma dojść do 490 m. Ponieważ zaś koryto uregulowanej od tego miejsca wdół Wisły ma szerokość 375 m, — więc musiałby powstać odcinek przejściowy. Wspomina się jednak również o ewentualnym rozszerzeniu koryta śr. wody na uregulowanym już odcinku, — w celu umożliwienia pomieszczenia w nim wijącego się wężykiem koryta małej wody, którego szerokość wynosi ok. 45% szerokości koryta średniej wody.

Koszt regulacji na małą wodę już uregulowanego na wodę średnią odcinka Dolnej Wisły w b. zaborze pruskim na długości 213 km oblicza inż. Rodowicz w referacie, zgłoszonym na I Narodowy Kongres Hydrotechniczny w Warszawie w r. 1932 na 100 milj. złotych, od Warszawy do Ołoczyna, t. j. do b. granicy — na 75 milj. zł., zaś od Warszawy w górę aż do Dunajca na 80 milj. zł.

Razem koszt regulacji Wisły na małą wodę ma wynieść około 250,000,000 zł.

Wobec tak poważnego zagadnienia wydaje się wskazanem oświetlenie sprawy możliwie wszechstronnie i rozważenie jej z innego, niż dotychczas punktu widzenia, — w celu przekonania się, czy nie możnaby znaleźć innego rozwiązania, może praktyczniejszego, niż zamierzona regulacja na małą wodę.

Sprawa ta bynajmniej nie ma cech zadania czysto akademickiego, gdyż, gdyby nie chwilowy kryzys, który wstrzymał wykonywanie wszelkich robót inwestycyjnych na drogach wodnych, — być może, że wykonywanie próbnych odcinków regulacji na małą wodę na Dolnej Wiśle już byłoby rozpoczęte. Również i wykonywana na środkowej Wiśle regulacja na średnią wodę jest zastosowana do projektu regulacji przyjmującego profil trójdzielny.

Potrzeba przyjęcia profilu poprzecznego trójdzielnego, t. j. wbudowanie w przyszłości w koryto średniej wody węższego koryta jest umotywowane tą okolicznością, że przy niskich stanach wody koryto Dolnej Wisły o przyjętej szerokości 375 m jest zbyt szerokie, woda nie

napełnia go należycie, wskutek czego głębokości stają się niedostateczne dla żeglugi.



Rys. 1.

Zbadajmy dokładnie tą sprawę.

Przyjmując dla obliczenia objętości przepływu formułę prof. Matakiewicza, która dla naszych rzek daje rezultaty najbardziej dokładne, — dla Dolnej Wisły, przy spadku 0,00018, przy profilu trapezowym o szerokości zw. wody 375 m, bokach 1 : 5 mamy dla różnych głębokości profilu t :

Głębokość profilu t m	Pow. przekroju m^2	śr. chyżość m/sec	objętość przepływu m^3/s
2,0	730	0,80	584
1,85	676	0,75	506
1,70	625	0,72	450
1,50	552	0,65	359
1,30	480	0,59	283
1,20	442	0,56	248

Bezwzględnie najniższy przepływ Wisły w Korzeniowie wynosi $233 \text{ m}^3/s$, w Toruniu $215 \text{ m}^3/s$ — przy tej

samej szerokości trasy. Znaczne zmniejszanie się przepływów Wisły latem doprowadziło do wniosku o konieczności utworzenia węższego koryta dla małej wody. Można jednak wyjść z innego założenia, a mianowicie:

Gdyby przepływ rzeki nie zmniejszał się poniżej $580 \text{ m}^3/\text{s}$, a choćby $500 \text{ m}^3/\text{s}$ — przekrój byłby dostatecznie zapełniony i regulacja na małą wodę stałaby się zbyt czną.

Według wyżej wspomnianej formuły Matakiewicza przy szerokości zw. wody 250 m :

przy głębokości $1,85 \text{ m}$ przepływ wyniesie $334 \text{ m}^3/\text{s}$

przy głębokości $2,00 \text{ m}$ przepływ wyniesie $378 \text{ m}^3/\text{s}$.

A więc utrzymanie przepływu w granicach nie niższej $500 \text{ m}^3/\text{s}$ — daje teoretycznie tę samą głębokość, co wbudowanie nowego koryta małej wody o szerokości 250 m , przy przepływie $334 \text{ m}^3/\text{s}$. Można jednak wnioskować, że dla żeglugi rezultaty będą w pierwszym wypadku t. j. przy zasilaniu korzystniejsze — a to ze względów następujących:

Wskutek ruchomego dna, profil podłużny dna rzeki

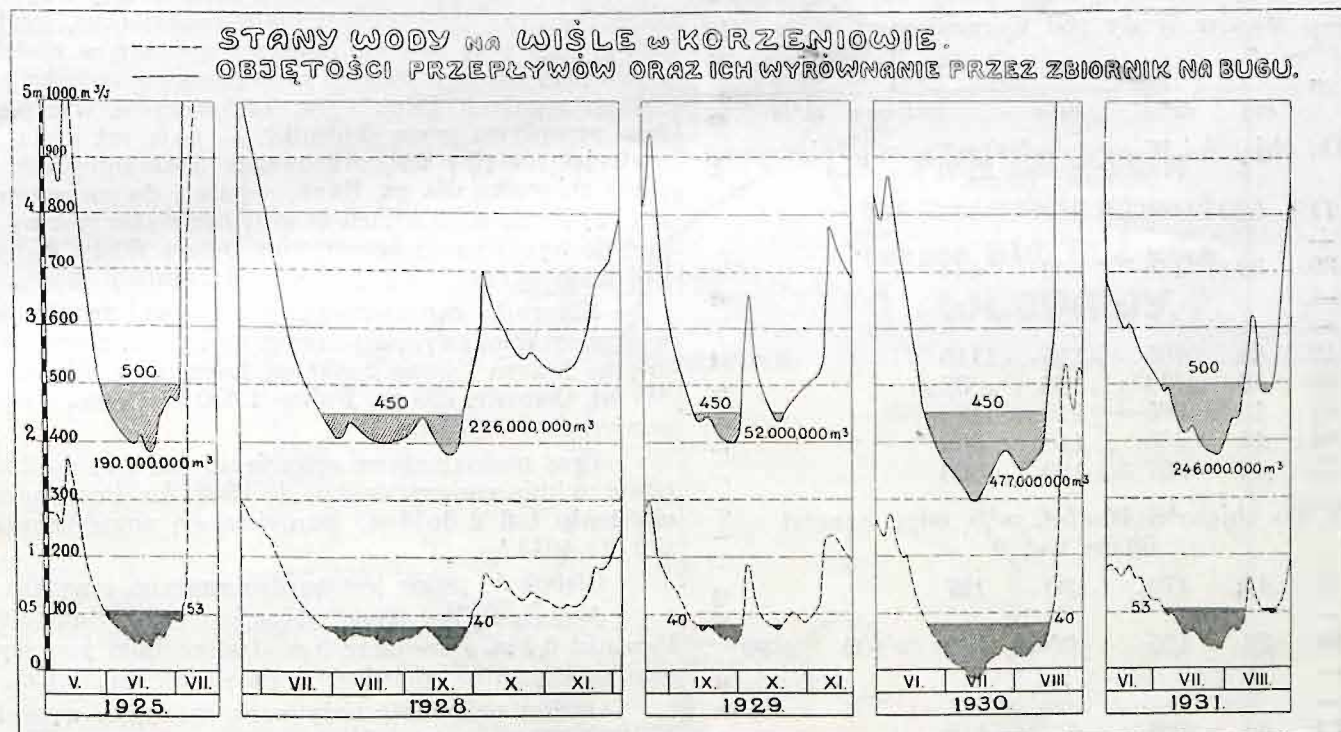
przebiega 500 m^3/s , — niż przy szerokości rzeki 250 m i przepływie $334 \text{ m}^3/\text{s}$. Okoliczność ta przemawia za stosowaniem sztucznego zasilania rzeki.

W celu zbadania kwestji, czy możliwym byłoby odpowiednie wyrównanie przepływu Wisły za pomocą sztucznego jej zasilania, — należałoby wyjaśnić:

1. Jakie ilości wody są niezbędne do odpowiedniego wyrównania przepływów Wisły.
2. Jakie zbiorniki mogą być brane pod uwagę.
3. Czy możliwym jest zmagazynowanie odpowiedniej ilości wody w danym zbiorniku.
4. Jakie są warunki zamulania zbiornika.
5. Czy możliwym jest dokładne regulowanie zasilania odpowiednio do potrzeb żeglugi.

2. Objętość przepływów na Dolnej Wisle.

Dla zbadania przepływów Dolnej Wisły i ich czasu trwania przyjmijmy za podstawę wodoskaz w Korzeniowie (km 867 od ujścia Przemszy czyli 73 od ujścia do morza).



Rys. 2.

układa się w kształcie schodów, czyli progów. Pomiedzy tymi progami, w t. zw. plosach spadek jest mniejszy od średniego, zaś głębokości większe, na samych zaś progach odwrotnie. A więc np.: dla trasy 375 m przy objętości przepływu $359 \text{ m}^3/\text{s}$ i obliczonej głębokości $t=1,50 \text{ m}$ głębokość tranzytowa rzeki będzie na niektórych progach mniejsza — i faktycznie nie przewyższa $1,20$, t. j. około 80% głębokości obliczonej. Progi te będą się tworzyły i w korycie średniej wody. Trzeba je będzie również jak i obecnie, — rozkopywać za pomocą pogłębiarek.

Spotykamy się tu jednak z następującą okolicznością. Im przekrój poprzeczny przekopu przez próg jest mniejszy w stosunku do zwilżonego przekroju poprzecznego całego koryta rzeki, — tem mniej wpływa on na obniżenie poziomu wyżej leżącego plosu, — i na zmniejszenie głębokości na wyżej leżącym progu.

Jednakże szerokość przekopu jest wielkością dla danej rzeki stałą, podyktowaną przez wielkość statków, — i nie zależy od szerokości rzeki.

A więc można wnioskować, że przy jednakowej średniej obliczonej głębokości rzeki $t=1,85 \text{ m}$, — bagrowanie da lepsze rezultaty przy szerokości rzeki 375 m i prze-

Krzywa konsumcyjna przepływów, t. j. zależności objętości przepływu od stanu wody została wykreślona na podstawie pomiarów objętości przepływów, dokonanych przez Centr. Biuro Hydrograficzne, przyczem otrzymano rezultaty następujące:

13. XI. 28 roku stan 60 cm przepływ $533 \text{ m}^3/\text{s}$

20. VIII. 29 roku stan 113 cm przepływ $778 \text{ m}^3/\text{s}$

3. VIII. 30 roku stan 10 cm przepływ $344 \text{ m}^3/\text{s}$.

Wykreślono dla lat 1924—1931 krzywą stanów wody dla wodoskazu w Korzeniowie i zbudowano nad nią na podstawie krzywej konsumcyjnej, krzywą odpowiednich przepływów.

Przeprowadzmy na wysokości przepływu $580 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz $500 \text{ m}^3/\text{s}$ i $450 \text{ m}^3/\text{s}$ proste linje poziome. Z przecięcia takowych z krzywą objętości przepływów znajdujemy okres czasu i wielkości przepływów, które brakowały do wyrównania przepływu rzeki do $580 \text{ m}^3/\text{s}$ względnie $500 \text{ m}^3/\text{s}$ i $450 \text{ m}^3/\text{s}$. To samo możemy otrzymać z tablic stanów wody w rocznikach hydrograficznych.

Brakujące do $580 \text{ m}^3/\text{s}$ względnie 500 i $450 \text{ m}^3/\text{s}$ objętości przepływów, wyrażone w m^3/s , — po pomnożeniu przez odpowiedni czas, dają objętość wody, jaką należy

doprowadzić do Wisły w celu wyrównania jej stanu do odpowiedniego przepływu.

Rezultaty tego przybliżonego obliczenia są wskazane w załączonej niżej tablicy I.

Z obliczenia tego widać, że z 9 lat okresu 1923—31 rok 1930 przedstawiał pod względem wyrównania przepływów warunki najtrudniejsze. W roku tym należałoby doprowadzić ze zbiornika wyrównawczego $714,000,000 m^3$ dla utrzymania przepływu na wysokości nie mniej $500 m^3/s$ — a już $1.130,000,000 m^3$ dla $580 m^3/s$.

W innych latach można było się obyć mniejszym zapasem, a w latach 1924, 1926 i 1927 przepływ nie spadał niżej $500 m^3/s$ (w czasie nawigacji, t. j. od 15. III. do 15. XI.).

Gdyby więc możliwym było mieć w rozporządzeniu odpowiedni zapas wody, — kwestja regulacji koryta na małą wodę odpadłaby sama przez się. Zobaczmy teraz, jakie są ku temu możliwości.

TABLICA I.

Obliczenie objętości wody niezbędnej do wyrównania stanów Wisły pod Korzeniowem.

Rok	<i>n</i>	<i>s</i> cm	<i>q</i> m^3/s	<i>r</i> m^3/s	$Z=A+B$ miljony m^3/s	<i>A</i>	<i>B</i>
I. Do objętości $W=q+r=580 m^3/s$, odpowiadającej stanowi 72 cm.							
1923	71	52	496	84	516		
1924	—						
25	39	39	448	132	444		
26	—						
27	—						
28	112	44	465	115	1115		
29	69	46	474	106	632		
30	61	16	365	215	1130		
31	61	44	465	115	606		
32	76	42	457	123	806		
II. Do objętości $W=500 m^3/s$, odp. stanowi 53 cm nad 0.							
1923	49	45	470	30	127		
24	—						
25	34	36	435	65	190	100	90
26	—						
27	—						
28	72	34	428	72	448		
29	50	40	450	50	216		
30	58	14	358	142	714		
31	44	36	435	65	246	138	108
32	36	39	448	52	162		
III. Do objętości $W=450 m^3/s$ odp. stanowi 40 cm nad 0.							
1923	3	38	443	7	2		
24	—						
25	22	30	412	38	72		
26	—						
27	—						
28	63	32	420	30	226	53	173
29	26	34	427	23	52	15,5	36,5
30	54	11	348	102	477	260	217
31	30	26	400	50	130		
32	25	36	435	15	32		

n = Ilość dni, w ciągu których przepływ był mniejszy od $W m^3/s$,

s = odpowiedni średni stan wodowskazu za ten przeciąg czasu,

q = przepływ, odpowiadający stanowi *s*,

r = przepływ, brakujący do *W*, czyli $r=W-q$ w m^3/s ,

$Z=86400 r \cdot n$ = objętość wody, niezbędnej w ciągu *n* dni do wyrównania przepływu do objętości *W*,

B = objętość, którą daje wyrównanie przepływu Bugu,
 A = objętość, którą należy dodać do B w celu wyrównania przepływu Wisły, t. j. $Z=B+A$.

3. Zbiornik dla Bugu na jeziorze Świteż.

W Nrze 9 i 10 *Czasopisma Technicznego* z r. 1929 w artykule podpisanego „Sztuczne zasilanie Wisły“ zostały podane przykłady udatnego stosowania sztucznego zasilania na górnych odcinkach tak dużych rzek jak Wołga i Missisipi, oraz dane o wykonanych oraz będących w budowie zbiornikach dla Odry. Dalej podano opis projektowanego zbiornika na grupie jezior w okolicy Włodawy nad Bugiem. Studja i pomiary, jakie od tego czasu zostały w tej okolicy wykonane przez Biuro Meljoracji Polesia (niwelacja ścisła), prez Centr. Biuro Hydrograficzne (objętości przepływów rzeki Bugu w Dorohusku), — z ramienia Uniw. Warszawskiego przez prof. Lenczewicza (pomiary głębokości jezior, oraz sondowanie gruntu ogłoszone w *Przeglądzie Geograficznym* tom XI, 1931 r.), a zwłaszcza przez Dyрекję Dróg Wodnych w Warszawie (zdjęcia tachymetryczne doliny Bugu, okolic jezior oraz trasy proj. kanału zasilającego, sondowania gruntu oraz badanie objętości zawiesin w wodzie rz. Bugu przy różnych stanach prowadzone w związku z projektem regulacji Bugu i ew. zastosowania wyrównania jego przepływu przez zbiornik), — dają już dostateczny materiał nietylko do opracowania dokładniejszego projektu zbiornika dla rz. Bugu, — ale i do zorientowania się, czy i o ile zbiornik ten mógłby być wykorzystany również do wyrównania przepływów Dolnej Wisły, — co jest być może sprawą aktualniejszą od regulacji Bugu.

Zbiornik zaprojektowany jest na grupie jezior w okolicy Włodawy, na prawym brzegu rz. Bugu. Wchodzi tu jeziora Świteż 2.960 ha, Lucemierz 445 ha, Łuki 847 ha, Ostrowie 253 ha, Pulmo 1.650 ha i inne, o ogólnej powierzchni 6.576 ha.

Przy maksymalnym spiętrzeniu (od 1,14 do 2,13 m) powierzchnia rozlewu dojdzie do 15451 ha. Przy maksymalnym obniżeniu (od 2 do 4 m) zmniejsza się powierzchnia jezior do 4043 ha.

Głębokość jezior jest bardzo znaczna i wynosi:

Jezioro Świteż 58 m, Piaseczno 16 m, Pulmo 19 m, Peremut 6,7 m, Lucemierz 9 m. Jezioro Łuki jest płytkie, jego maksymalna głębokość wynosi zaledwie 3,1 m.

Ogólna pojemność pożyteczna zbiornika wynosi ok. $570,000,000 m^3$ a po odjęciu strat na parowanie jako warstwę wody 0,6 m ze średniej powierzchni, — otrzymujemy objętość użyteczną $508,000,000 m^3$. Przez dalsze rozszerzenie zbiornika na wschód i włączenie jez. Krymno (138 ha) może być powierzchnia rozlewu zwiększona o 4500 ha, a objętość użyteczna o $136,000,000 m^3$ tak, że ogólna objętość użyteczna może być doprowadzona do $706,000,000 m^3$, a po odjęciu strat na parowanie — pojemność rozporządzalna zbiornika wyniesie około $630,000,000 m^3$.

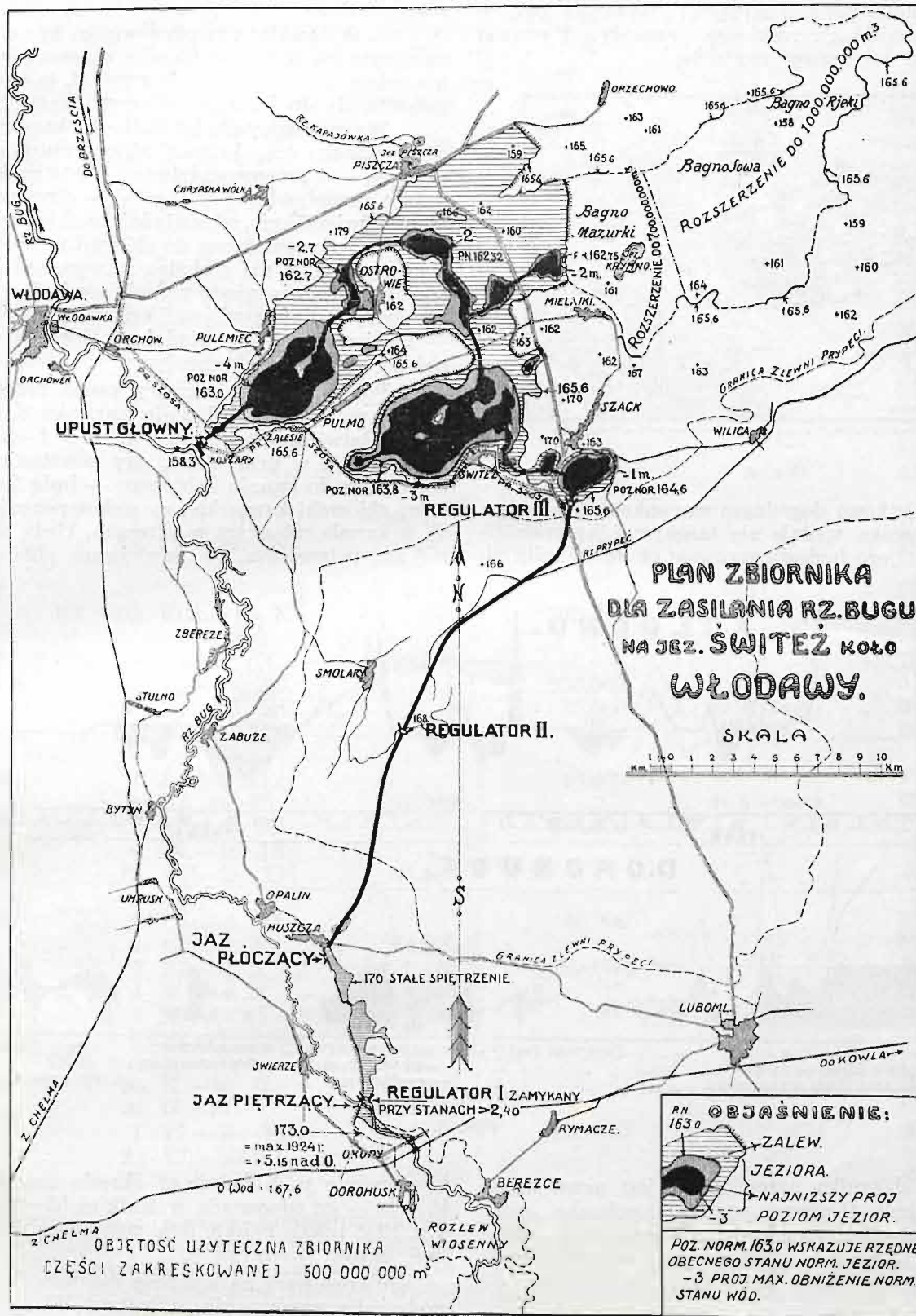
Jednakże straty na parowanie będą w znacznej mierze powetowane przez dopływ własnej zlewni ($690 km^2$), który w ciągu roku wyniesie średnio ok. $73,000,000 m^3$. Możliwym jest dalsze jeszcze rozszerzenie zbiornika na wschód aż do wsi Huta Ratniańska. Zalewa się przytem jeszcze około $90 km^2$ zupełnie niezamieszkałych bagien (bagno Rieki). Brzegi zbiornika w przeważnej części operają się o wzgórki i wydmy, — i tylko na części peryferji zbiornika byłyby wymagane wały, przyczem głębokość wody przy nich w najniższych częściach nie przekroczy 6 m.

Pojemność zbiornika może być doprowadzona wtedy do 1 miljarda m^3 przy nieznacznym już stosunkowo zwiększeniu kosztów.

Nasuwa się pytanie, czy tak wielka ilość wody będzie mogła być wzięta z Bugu pod Dorohuskim i odpro-

wadzona do zbiornika przez kanał, przepuszczający do $55 \text{ m}^3/\text{s}$ — jak to przewidziano w projekcie.

Wykreśliwszy dla szeregu lat 1924—1931 krzywe stanów wody i odpowiednie dla nich krzywe objętości



Rys. 3.

Dokonane w r. 1929 i 30 pomiary objętości przepływu Bugu w Dorohusku wskazały, że zależność przepływu od stanu wody przedstawia się jak następuje:

stan cm	przepływ m^3/s
66	19,3
112	30,86
156	46,40
212	66,1
234	70,2

Abs. najniższy stan był w r. 1925 i wynosił 49 cm co odpowiada przepływowi $16 \text{ m}^3/\text{s}$.

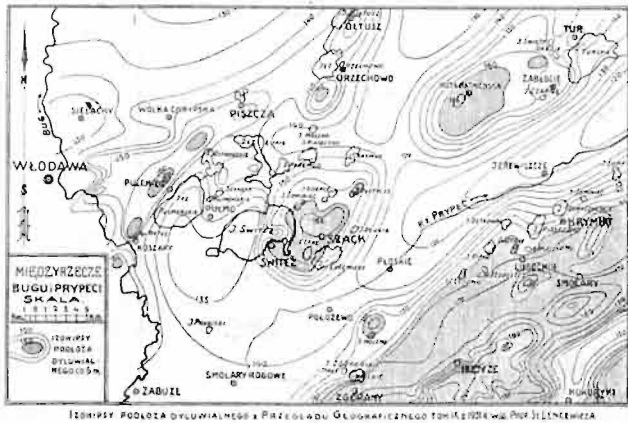
przepływów dla wodowskazów w Dorohusku, Kołodnie (koło ujścia Leśnej) i w Małkini — widzimy ciekawe bardzo zjawisko:

Latem, gdy parowanie jest silne, przy niskich stanach objętość przepływu w rzece prawie nie wzrasta, na przestrzeni od Dorohuska do Kołodna 200 km i od Kołodna do Małkini 180 km i wynosiła w r. 1925:

Miejscowość	Zlewnia km^2	Przepływ m^3/s
Dorohuska	12.352	17
Kołodno	28.242	20
Małkinia	33.853	20

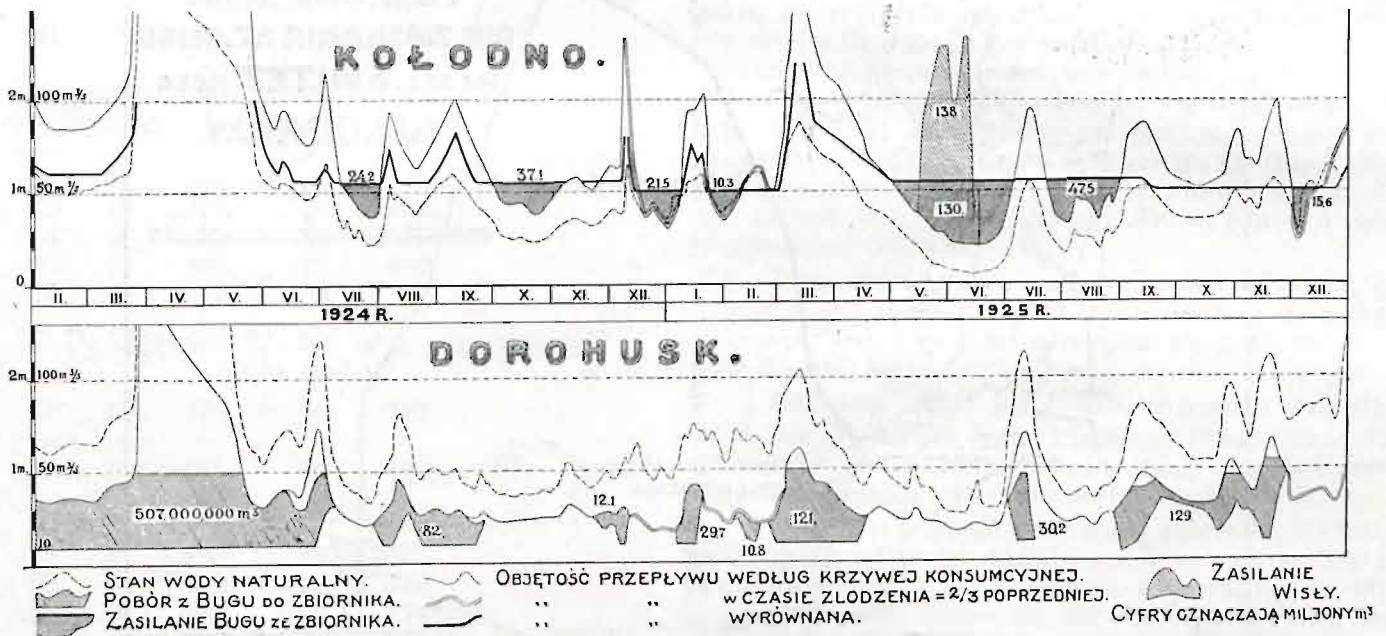
Przy takich samych niskich stanach lecz przy niższej temperaturze — widać już znaczny wzrost przepływu.

Wobec wzrostu szerokości koryta śr. wody — okoliczność ta utrudnia zadanie regulacji i wysunęła kwestję zastosowania kanalizacji rzeki (co przewidywał projekt rosyjski) — lub sztucznego zasilania.



Rys. 4.

Dzięki wyjątkowo dogodnym warunkom terenowym urządzenie zbiornika wydaje się tańszym i korzystniejszym. Kosztorys jego budowy wyniesie około 30 milj. zł.



Rys. 5.

Zasilanie zbiornika przewidziane jest przez ujęcie wody z Bugu koło Huszyczki, poniżej Dorohuska, gdzie przewidziane jest spiętrzenie wody za pomocą jazu, utworzenie stawu o powierzchni kilkaset ha i odprowadzenie z niego wody przez kanał (zamykany regulatorem) do zbiornika.

Ze zbiornika woda ma być wpuszczana do Bugu przez krótki kanał z jez. Pulmo koło wsi Koszary, o 25 km w linii prostej na północ od Huszyczki.

Odprowadzanie wody i zasilanie rzeki Bugu przewidziane jest z zastosowaniem następujących warunków:

1. Na Bugu poniżej Huszyczki musi pozostać w rzece przepływ nie niższy $10 m^3/s$ (obecnie przepływ minimalny wynosi $15 m^3/s$). Jednakże w razie zwiększenia objętości zbiornika do $700,000,000 m^3$, — cyfrę tę w latach ubogich w wodę trzeba obniżyć do $5 m^3/s$.

Wobec tego, że na wskazanym odcinku Bug nie ma znaczenia dla żeglugi, — gdyż ta będzie mogła być skierowana przez kanały i zbiornik, — ilość nawet $5 m^3/s$ wystarczy na potrzeby gospodarskie.

2. W Kołodnie przepływ winien być utrzymany w ciągu okresu żeglugowego (15. III.—15. XI.) nie niższej $55 m^3/s$, co dostatecznie wypełnia trasę regulacyjną o szerokości 65 m.

3. W Małkini przepływ winien być w okresie nawigacyjnym nie niższy od $65 m^3/s$, a przez pozostały czas — nie niższy od $55 m^3/s$ — a to z uwagi, że tu przewiduje się pobór wody do kanału roboczego Małkinia - Warszawa.

Wykreśliwszy dla lat 1924—31 krzywą stanów wody w Dorohusku oraz krzywą odpowiednich objętości przepływów, — i przeprowadziwszy proste poziome, odpowiadające przepływowi 5 i $60 m^3/s$ — otrzymamy pomiędzy nimi powierzchnie, odpowiadające objętościom wody, mogącej być odprowadzoną do zbiornika. Wykonawszy analogiczny wykres dla Kołodna przeprowadziwszy na nich poziomą odpowiadającą przepływowi $55 m^3/s$ otrzymamy pomiędzy tą linią poziomą i krzywą objętości przepływów — powierzchnię, odpowiadającą objętości wody potrzebnej do wyrównania przepływu.

Póki nie będzie czynny kanał roboczy Małkinia - Warszawa, — uwzględnienie warunku 3. będzie zbędne, — co ułatwi zachowanie warunku w 1—2. Można przypuszczać, że w przyszłości, gdy powstanie potrzeba poboru wody do kanału roboczego — będą już istniały niektóre zbiorniki karpackie, co zrekompenzuje rozchód wody w kanale roboczym w okresach, kiedy zasilanie Wisły nie jest potrzebnym. W niniejszym obliczeniu przyjęto

wyrównanie w Kołodnie w okresie zimowym nie niższej $45 m^3/s$ — co odpowiada w Małkini $55—60 m^3/s$. Jedynie w r. 1928 trzeba było tę ilość zmniejszyć do $35 m^3/s$ przez część okresu zimowego¹⁾.

Wkreśliwszy na wykresie dla Kołodna objętości potrzebne dla wyrównania przepływu Wisły pod Korzeniewem z wykresu 1 z uwzględnieniem 15 dni opóźnienia, — widzimy, że częściowo pokrywają się one przez wyrównawcze zasilanie Bugu, — częściowo zaś występują ponad nie.

Dla roku 1925 i 1931 wykreślono objętości potrzebne do wyrównania przepływu Wisły do $500 m^3/s$, — dla lat 1928, 1929 i 1930, — tylko dla $450 m^3/s$ — z uwagi na to, że w czasie zimowych okresów, poprzedzających te lata, zbiornik nie mógłby być napełniony do pełnej objętości.

¹⁾ W okresach zlodzenia powierzchni rzeki przyjmujemy w przybliżeniu objętości przepływu równe $2/3$ przepływu przy tym samym odczycie wodoskazu przy stanie wolnym od lodu.

T A B L I C A II
wahania zapasu wody w zbiorniku.

Rok	D a t a	Pobórz Bugu tysiące m^3	R o z c h ó d		
			dla Bugu m^3 tys. m^3	dla Wisły dodatkowo do poprzed. tys. m^3	
1924	1. I.—8. VII.	507.000		—	507.000
	12. VII.—2. VIII.		24.200		482.800
	28. VII.—25. IX.	82.000			564.800
	2. X.—9. XI.		37.100		527.700
	22. XI.—10. XII.	12.100			539.800
1925	13. XII.—9. I.		21.500		518.300
				do 500 m^3	
	7. I.—20. I.	29.700			548.000
	24. I.—10. II.		10.300		537.700
	6. II.—20. II.	10.800			548.500
	24. II.—17. IV.	121.000			669.500
	2. V.—7. VII.		130.000		539.500
	17. V.—14. VI.			138.000	401.500
	2. VII.—17. VII.	30.200			425.100
	21. VII.—1. IX.		47.500		384.200
	26. VIII.—28. XI.	129.000			513.200
	2. XII.—12. XII.		15.600		497.600
	1926	1. I.—1. III.	202.400		
14. IX.—23. IX.			2.000		703.000
1927		2.000			705.000
	10. VIII.—12. XI.		169.000		534.000
1928	28. III.—17. V.	169.000			705.000
	22. VI.—15. XI.		356.000		349.500
	15. XI.—14. XII.		15.500	do 450 m^3/s	333.500
	1. VII.—20. IX.			53.000	280.500
1929	7. I.—18. III.		86.400		194.100
	6. III.—3. VI.	242.000		do 450 m^3/s	435.100
	7. VI.—19. XI.		246.000		190.100
	6. IX.—16. IX.			15.500	174.600
	15. XI.—25. XII.	86.400			261.000
1930	2. I.——6. III.		40.000		221.000
	2. III.—9. V.	335.000			556.000
	12. VI.—8. X.		255.000		301.000
	4. X.—14. X.	3.200			304.200
	23. X.—1. XI.		2.700	do 450 m^3/s	301.500
	9. VI.—1. VIII.			260.000	41.500
1931	26. X.—12. II.	258.000			299.500
	20. II.—27. V.	333.000			632.500
	1. VI.—26. VIII.		225.000	do 500 m^3/s	407.500
	20. VI.—25. VII.			138.000	269.500
	23. VIII.—31. XII.	354.000			623.500

W celu wyjaśnienia sprawy zamulania, wzięto w Dorohusku w r. 1931 — 30 próbek wody w ciągu 30 dni przy wysokich stanach rzeki i poddano je badaniom na stacji doświadczalnej Warszawskiej Dyrekcji Wodociągów i kanalizacji. Objętość osadu w 1 m^3 wahała się od 16,77 cm^3 do 94,58 m^3 , średnio zaś wynosiła 44,4 cm^3 czyli na 1 milion m^3 — 44,4 m^3 a na 500 milionów m^3 22.200 m^3 . A więc całkowita objętość namułu może wynieść około 22.800 m^3 rocznie, z czego znaczna część odłoży się w stawie około Huszczy przed kanałem zasilającym i będzie spłókiwana do Bugu.

Licząc się z tem, że do zbiornika przejdzie średnio rocznie 15.000 m^3 , mamy w ciągu 100 lat 1.500.000 m^3 , co, przy powierzchni 154 km^2 daje warstwę 1 cm .

Wobec powyższego można twierdzić, że zamulenie zbiornika w ciągu kilkunastu wieków może nie być brane pod uwagę.

Okoliczność, że woda zasilająca Wisłę ze zbiornika

będzie już wolna od zawiesin, — oczywiście wpłynie dodatnio na koryto rzeki i głębokości tranzytowe.

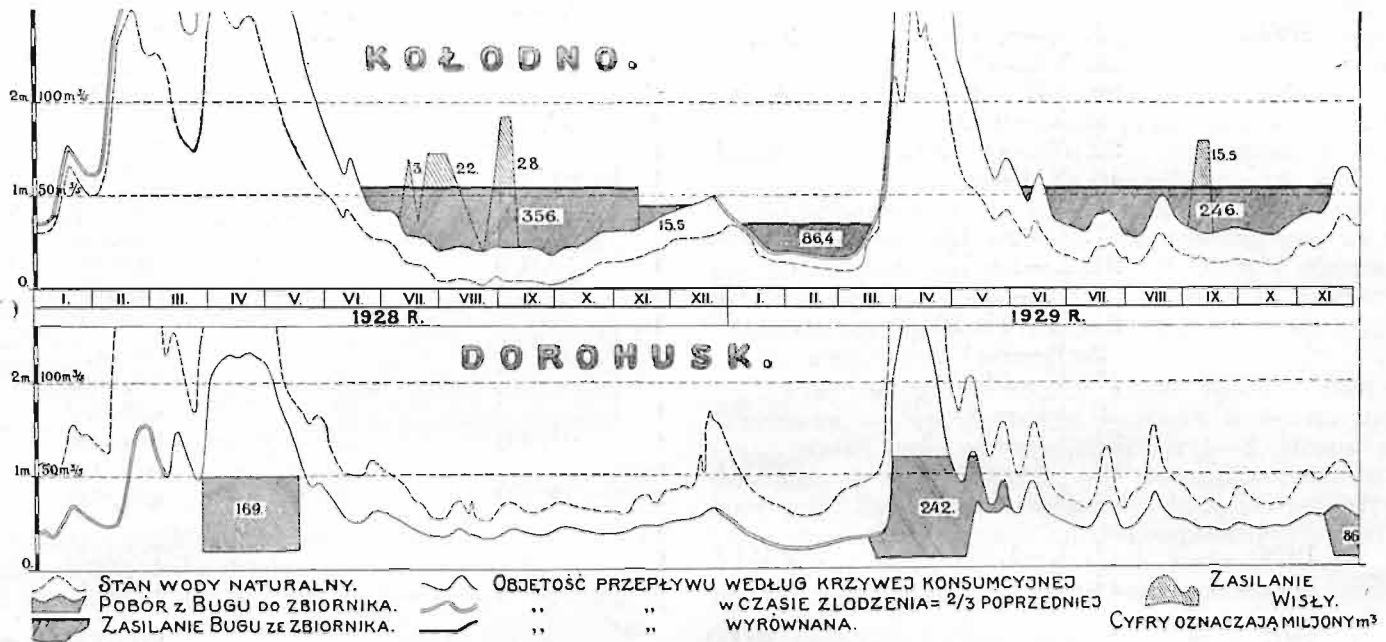
Nasuwa się pytanie, czy możliwem byłoby takie dokładne regulowanie zawczasu zasilania rzeki ze zbiornika, by otrzymać wyrównanie przepływu nie tylko Bugu, ale i Wisły.

Oczywiście, sprawa ta wymagałaby dużej wprawy i doświadczenia. Jednakże znane podpisanemu dokładnie z bezpośredniej styczności zasilanie Górnej Wołgi z 2-ch zbiorników, co do swej objętości odpowiadających projektowanemu zbiornikowi dla Bugu, — wskazuje na doskonałe pod tym względem rezultaty. Poziom Wołgi koło Tweru o 400 km poniżej zbiornika, jest tam utrzymywany przez lato prawie bez wahań, — przy średniej sekundowej objętości zasilania ze zbiornika Górnej Wołgi — około 75 m^3/s , — i nieco mniejszem ze zbiornika rz. Twerny. W razie jeżeli w zimie było mało opadów i do końca kwietnia zbiorniki nie zapełniły się do swej pełnej pojemności,

— w maju bywał zwoływany w Twerze zjazd przedstawicieli żeglugi, — na którym, w zależności od zapasu wody, decydowano, czy należy utrzymywać zasilanie słabsze przez cały czas navigacji, — czy też utrzymywać normalne zasilanie ale z 2—3 tygodniową przerwą, której termin ustalono na zebraniu.

zbiornika od r. 1924 (p. wykresy Nr. 2—3—4 oraz Tablicę II).

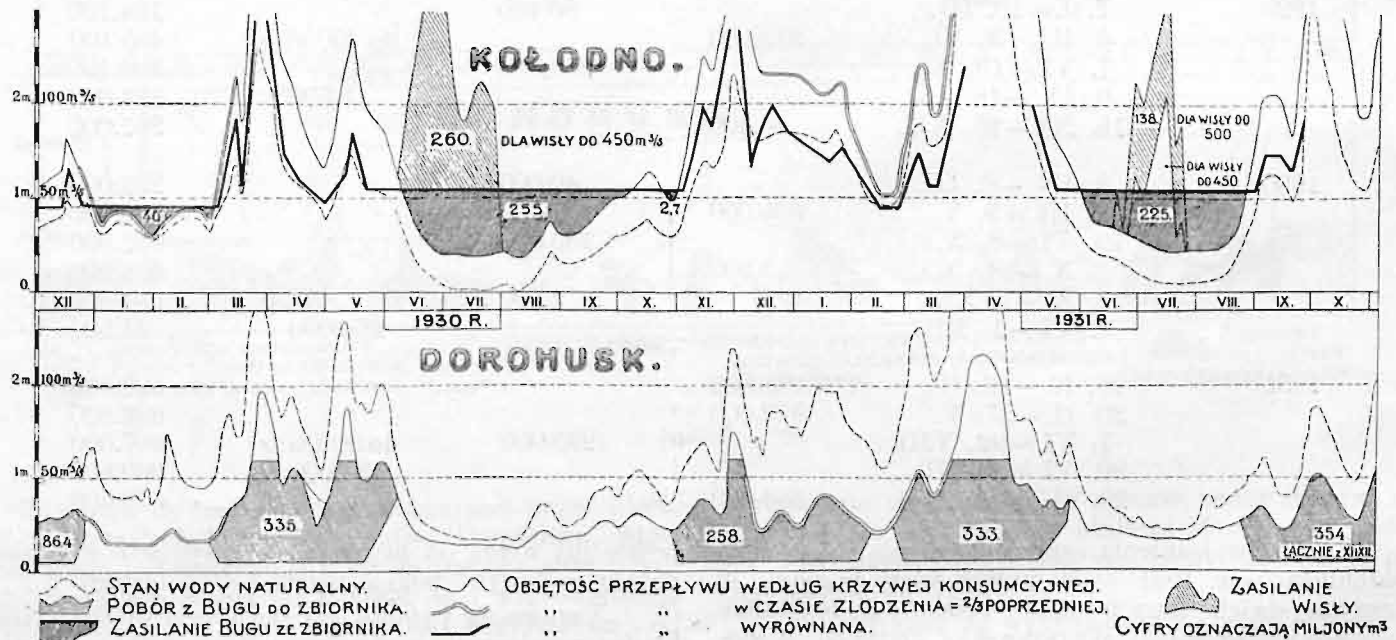
Zima z r. 1923 na 24 pozwalała napełnić zbiornik do pełnej pojemności $700,000,000 m^3$. Przypuśćmy jednak, że napełnienie rozpoczęło się dopiero 1. I. 1924 i doszło do $507,000,000 m^3$. Rok 1924 naogół obfitujący w wodę —



Rys. 6.

Oczywiście, upust zbiornika musiałby być regulowany nie tylko na podstawie danych wodowskazu z Dolnej Wisły, — lecz na podstawie danych z górnej części rzeki (Kraków, N. Sącz, Przemyśl i t. d.) o stanach wody

wymaga niewielkich tylko zasilani w lipcu $24,200,000 m^3$ i w październiku $37,500,000 m^3$ i pozwala do końca roku zwiększyć objętość napełnień do $539,800,000 m^3$. Wisła nie wymaga w tym roku żadnego zasilania.



Rys. 7.

i o wysokości opadów. Dopiero po szeregu lat doświadczeń można będzie dojść do dostatecznej wprawy, by nie wypuszczać ani za dużo ani za mało wody ze zbiornika do ścisłego wyrównania stanu wody w rzece.

Przykład Górnej Wołgi, gdzie zasilanie odbywa się już blisko 200 lat, wskazuje, że jednak jest to możliwe. Ten tak dobrze podpisany znany przykład, pomimo niedokładności i nieścisłości załączonych obliczeń, — i pomimo zapewne niejednej opinii pesymistycznej, — pozwala mieć nadzieję, że i Wisła mogłaby być dostatecznie udalnie zasilana ze zbiornika.

Przejrzyjmy teraz, jakby się przedstawiał regime

Wr. 1925 Bug wymaga znacznych ilości (latem 130 i $47,5$ milj. m^3), jednocześnie Wisła wymaga ponadto $138,000,000 m^3$ dla utrzymania przepływu na wysokości $500 m^3/s$.

Zima 1925/26 pozwala napełnić zbiornik do pełnej objętości $705,000,000 m^3$.

Rok 1926 i 1927 obfitują w wodę. Wisła nie wymaga zasilania. Przepływy Bugu w Dorohusku są znacznie większe od zapotrzebowania. — Rok 1928 wymaga $356,000,000 m^3$ dla zasilania Bugu.

Wobec tego utrzymujemy na Wiśle tylko przepływ

do 450 m³/s, — co wymaga tylko 53,000.000 m³ dodatkowych.

Zima w r. 1928 i 29 jest uboga w wodę, — i zbiornik nie może napełnić się do pełnej objętości. Z powodu niskich zimowych przepływów w Małkini Bug wymaga zasilania od 7. I. do 18. III. w ilości 86,400.000 m³. Wskutek tego napełnienie zbiornika od 6. III. do 3. VI. daje już tylko 242,000.000 m³ i zapas wody dochodzi na wiosnę tylko do 435,000.000 m³.

Wobec tego program zasilania Wisły w r. 1929 musi się ograniczyć cyfrą 450 m³/s.

To samo powtarza się jeszcze w r. 1930, kiedy z 8 rozpatrywanych lat wymaga najwięcej wody dla zasilania Wisły. W jesieni r. 1930 zbiornik opróżni się prawie całkowicie. Jednakże zima 1930/31 pozwala go napełnić do 632,000.000 m³. Dzięki temu w r. 1931, mimo niskich stanów, można w programie zasilania utrzymać przepływ Wisły na wysokości 500 m³/s.

Jesień r. 1931 ma obfitość wody i do końca roku zbiornik napełnia się znów do 623,000 m³, a do wiosny zapas wody może z łatwością być doprowadzony do 700.000 metrów sześć., — co pozwala i w r. 1932 postawić program zasilania do 500 m³/s.

Jak widać z wykresów 2—3—4 — niektóre okresy zimowe mają zbyt krótkotrwałe okresy wysokich stanów wody, — i zbiornik nie zdąża w tym czasie napełnić się przez kanał przepuszczający 55 m³/s. Część wody, mianowicie objętość nad linią poziomą odpowiadającą przepływowi 60 m³/s — zostanie w Bugu.

Możnaby temu zaradzić przez takie urządzenie jazu piętrzącego wodę koło Dorohuska, by spiętrzenie powyżej jazu sięgało 4—5 m ponad stan normalny — i powodowało zalew ok. 30 km² łąk w dolinie rzeki.

Zmagazynowana tu woda stopniowo spuszczana byłaby przez jaz - regulator do stawu przed Huszczą — a stąd przez kanał zasilający do zbiornika. Zatopienie łąk na parę tygodni nie tylko by nie przyniosło im szkody, lecz dzięki żyznemu namułowi jaki Bug niesie — miałyby wpływ dodatni. W ten sposób możnaby zwiększyć objętość wody mogącej być wprowadzoną z Bugu do zbiornika prawie o 100,000.000 m³.

Z powyższego można wnioskować, że zbiornik na jez. Świteż, przy wykonaniu jego na objętość 700,000.000 metrów sześć. sam jeden będzie w stanie zapewnić nie tylko przepływ wyrównawczy do 55 m³/s dla Bugu, ale pozwoli na wyrównywanie przepływu Dolnej Wisły do 500 m³/s, a w razie szeregu lat ubogich w opady do 450 m³/s.

Przy zwiększeniu objętości zbiornika do 1 miljarda metrów sześć. możnaby utrzymać stale przepływ 580 m³/s, a w razie szeregu lat ubogich w opady — 500 m³/s.

Długość drogi wodnej, ulepszonej w ten sposób — wyniesie:

1. Wisła od Modlina do ujścia	380 km
2. Bug od Koszar do Modlina	424 km
3. Kanały, zbiornik i spiętrzona część Bugu od Dorohuska do Koszar	70 km
razem	874 km

Na kilometr wynosi wydatek inwestycyjny około 35.000 zł.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że projekt kanału z Małkini do Warszawy przewiduje wylot kanału roboczego pod Jabłonną, czyli, że wyrównanie przepływu Wisły przez zbiornik Bugski zaczynałoby się częściowo pod Warszawą.

Do tego należy dodać, że w tym wypadku wyżej Dorohuska leżąca część Bugu 260 km długa, głęboka i nadająca się do żeglugi, lecz dziś nie wyzyskana, wskutek nieżeglowności niżej położonego odcinka, nabrałaby wartości jako droga wodna, dochodząca prawie pod sam Lwów.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że zbiornik znajduje się na wododziale pomiędzy Bugiem i Prypecią, — i w ra-

zie potrzeby możnaby z niego puszczać wodę zarówno do Prypeci bezpośrednio jak również na stanowisko działania Kanału Królewskiego (przez jez. Tur i Orzechowskie, lub przez jez. Wolańskie i Białe).

Ta ostatnia okoliczność pozwala, w razie budowy zbiornika na Świtezi, znieść zbiorniki Kanału Królewskiego istniejące dotychczas na jez. Białem i Orzechowskim, o pojemności ok. 40,000.000 m³. Z powodu owych niskich brzegów powodują one podtapianie przylegających nizin (Błoto Duboweje i inne) i utrudniają ich odwodnienie. Przeniesienie magazynowania wody do wyżej położonego zbiornika Świteż ułatwi odwodnienie kilkuset km² łąk błota Duboweje.

Możność puszczenia większej ilości wody do Prypeci, — ma również ważne znaczenie w pewnych specjalnych wypadkach.

Przeciw budowie tak wielkiego zbiornika mogłaby być wysunięta uwaga, że zalew tak znacznej przestrzeni ziemi zmniejsza zdolność produkcyjną państwa.

Jednakże tak nie jest. Gospodarstwo rybne na jeziorze Świteż przynosi właścicielowi większy dochód z jednostki powierzchni, niż mogą przynieść te grunta, które miałyby być zatopione. Przy należytem zorganizowaniu gospodarki rybnej na zalewie, — teren zbiornika nie pozostałby nieużytecznym pod względem produkcji środków żywności.

Według przybliżonego obliczenia ogólny koszt robót wyniósłby w okrągłych cyfrach:

	Ilość	Suma
1. Wąły	m ³ 3 000 000	6 000 000 zł.
2. Wykopy (kanały i rowy odwadniające)	" 7 000 000	11 000 000 "
3. Wykup gruntów (80% wartościowe) i odszkodowania, licząci za grunta rządowe	ha 8 000	6 000 000 "
4. Budowa 25 km nowej szosy (wzajemian za 8 km zalanej)		2 000 000 "
5. Objekta (jazy, upusty i budynki)		6 000 000 "
6. Szpunty, uszczelnienie, bruki i t. p.		5 000 000 "
7. Nieprzewidziane, administracja i t. d.		4 000 000 "
		40 000 000 zł.

czyli, przy użytecznej objętości zbiornika 500 milj. m³ koszt jednego metra sześciennego wody magazynowanej wynosi 8 groszy.

Zwiększenie pojemności zbiornika do 1 miljarda m³ spowodowałoby jedynie zwiększenie pozycji 3. o sumę ok. 7—8.000.000 zł. za wykup ok. 10.000 ha bagien i lasów (w znacznej części rządowych), oraz pozycji 1. i 6. o sumę 3,000.000 zł., czyli ogółem wzrost kosztów do 50 milj. złotych. Koszt 1 m³ wody zmagazynowanej wyniósłby 5 groszy.

W razie, gdyby środki pozwalały, — budowa zbiornika mogłaby być wykonana w ciągu 3 lat.

Można śmiało utrzymywać, że jest to jedyny sposób wydatnego polepszania warunków żeglowności Wisły w tak krótkim czasie.

4. Inne zbiorniki.

Wyrównanie przez zbiornik na Świtezi przepływu Wisły do 500 m³/s względnie 450 m³/s ogromnie ułatwiłoby zadanie innym, zbiornikom w dorzeczu Wisły, których projekty były wysuwane.

Zbiorniki projektowane w Karpatach, miałyby na celu głównie zapobieganie powodziom oraz wyzyskanie energii wodnej.

Odptyw z tych zbiorników nie może być więc regulowany ściśle tylko według potrzeb żeglugi na Dolnej Wiśle. Musi mieć charakter bardziej równomierny. Jego wpływ na rys. 1 byłby widoczny już ponad wyrównanym przez zbiornik Bugski przepływem.

W dorzeczu Wisły w Karpatach były przyjmowane pod uwagę:

1. Zbiorniki, projektowane przez b. Wydział Krajo-
wy, a mianowicie (p. Kędzior: Roboty wodne cz. III, str.
201—215):

1. Zbiornik na Sole w Porąbce (w budowie)	
pojemność	32,150.000 m^3
2. Zbiornik na Łękawce	7,260.000 m^3
3. Zbiornik na Skawicy	9,020.000 m^3
4. Zbiornik w Kościeliskach	5,923.000 m^3
5. Zbiornik na Cz. Dunajcu w Witowie	4,195.000 m^3
Ogółem	58,548.000 m^3

(koszt tych zbiorników, bez zakładów hydroelektrycznych — miał wynosić 45,131.940 zł.), czyli 76 groszy za 1 m^3 wody magazynowanej).

2. Zbiorniki projektowane przez prof. Pomianowskiego. (*Czasopismo Techniczne*, rok 1926, str. 243), mianowicie:

6. Na Dunajcu w Czorsztylinie pojemność	77,000.000 m^3
7. Na Dunajcu w Rożnowie	180,000.000 m^3
8. Na Sanie w Stuposianach	25,000.000 m^3
9. Na Sanie w Zawoju	40,000.000 m^3
10. Na Sanie w Solinie	164,500.000 m^3
Ogółem	486,500.000 m^3

a razem 1—10 = 545,048.000 m^3 .

Koszt budowy tych zbiorników, łącznie z urządzeniem zakładów hydroelektrycznych, oblicza prof. Pomianowski na 77,900.000 fr. szw. czyli 134,000.000 zł., co odpowiada kosztowi 28 gr. za 1 m^3 wody zmagazynowanej. Zakłady te dadzą około 544,000.000 KWG pracy.

Bliższe rozważania na temat wpływu zbiorników karpaccich na wyrównanie przepływów Dolnej Wisły, — oraz możliwości wyrównania przepływów średniej Wisły (powyżej ujścia Bugu), — wymagają osobnego studjum i nie są przedmiotem niniejszego krótkiego opracowania.

W niniejszem zostały jedynie przytoczone dane

Inż. Stanisław Ochęduszek
AAdjunkt Politechniki Lwowskiej.

Wartość opałowa gazów z teoretycznego punktu widzenia.

Celem tej pracy jest zaznajomienie czytelników z pojęciem wartości opałowej i wykazanie, że wartość ta nie jest wielkością stałą, lecz zależy od szeregu czynników jako to: od rodzaju spalania (pod stałym ciśnieniem, w stałej objętości), od temperatury odniesienia, od nadwyżki powietrza i od wilgotności mieszanki palnej. Nadto będzie tu mowa o zastosowaniu wartości opałowej przy ocenie urządzeń ogrzewczych i silników cieplnych, a w związku z tem o t. zw. maksymalnej pracy, którą mogłaby wykonać maszyna idealna kosztem energii zawartej w paliwie. Ponieważ poniższy rachunek wymaga pewnych wielkości, które nie są nam znane dla paliw stałych i płynnych, przeto rozważania nasze ograniczymy do paliw gazowych, przyczem należy zauważyć, że dla paliw stałych i płynnych tok rozumowania jest taki sam.

Definicja ciepła spalania.

Przez ciepło spalania czyli t. zw. górną wartość opałową gazu rozumie się tę ilość ciepła, która wyswobadza się przez zupełne spalanie (a więc węgla chem. C na CO_2 , zaś wodoru H_2 na H_2O) jednostki masy suchego gazu palnego, gdy produkty spalania zostaną oziębione do temperatury początkowej t. j. do tej temperatury, którą posiadał ów gaz wraz z użytą do spalania ilością powietrza (tlenu) przed zapaleniem go.

Ilość gazu wyrażać można w normalnych metrach sześciennych nm^3 , w kilogramach lub molach. Najczęściej w kalorymetrii spotykamy się z wartością opa-

o zbiornikach, wyjęte z publikacji Min. Rob. Publ.: „Roboty wodne i meljoracyjne w południowej Małopolsce“, opracowanej przez inż. A. Kędziora, Lwów 1929.

WNIOSKI.

Być może, że ciężki kryzys ekonomiczny, jaki dziś przeżywamy, nie pozwoli w najbliższym czasie przystąpić do wykonania większych inwestycji a więc i budowy zbiornika. Jednakże należy przyjąć pod uwagę, że i samo wykonanie szczegółowych projektów i planów wywłaszczeniowych, dochodzenia wodno-prawne i t. p. — zajmą dużo czasu, nie wymagając znacznych kosztów.

Nadewszystko jednak chodziłoby o ustalenie w tej sprawie pewnej linii postępowania.

Dziś jeszcze na terenach, które się przewiduje pod zbiornik, projektowane są (a nawet wykonywane) roboty osuszające. Na terenach, które miałyby być pod zbiornik wywłaszczone, odbywa się parcelacja na działki rolne, utrudniając przyszłą realizację projektu i zwiększając jego koszt.

Należałoby, po dokładnem opracowaniu, rozważeniu i aprobowaniu projektu — uzgodnić program postępowania Urzędów Ziemi i Wydziałów Wodnych Wojewódzkich z projektem zasilania Wisły, co nie będzie wymagało znacznie większych wydatków, i w ten sposób użyć racjonalnie okresu depresji ekonomicznej na przygotowanie realizacji wyżej opisanego projektu w chwili, kiedy środki na to pozwolą.

W każdym razie należy pamiętać, że budowa zbiornika na jez. Swięż o pojemności jaknajwiększej, — jest najtańszym środkiem gruntownego polepszenia warunków żeglowności Dolnej Wisły i całego Bugu.

Zbyteczne jest podkreślać, jak wielkie znaczenie polityczne miałyby tego rodzaju poprawienie przez Polskę wykonanej przez Niemcy roboty. Zasilanie Wisły Pomorskiej przez zbiornik, znajdujący się na Wołyniu, — podkreśliłoby konieczność prowadzenia gospodarki wiślanej w jednym ręku na całym dorzeczu.

lową w odniesieniu do 1 nm^3 gazu. Normalny metr sześcienny przedstawia taką masę gazu, która mieści się w jednym metrze sześciennym w warunkach normalnych. Fizycy za normalne warunki termiczne uważają temperaturę $0^{\circ}C$ i ciśnienie 760 mm rtęci ¹⁾. W technice sprawa normalnego stanu termicznego nie jest jeszcze ustalona: większość badaczy skłania się do tego, by $15^{\circ}C$ i 1 *ata* ²⁾ uznać jako techniczne warunki normalne. Kalorymetria posługuje się fizycznymi warunkami normalnymi, wobec tego, w tym artykule ilość gazu mierzyć będziemy w nm^3 fiz.

Znając ciepło spalania gazu H w odniesieniu do 1 nm^3 , łatwo można obliczyć wartość opałową gazu h , przypadającą na 1 kg gazu, jeżeli się pamięta, że objętość jednego mola gazu wynosi $\Phi = 22,4 nm^3/mol$. Przez mol rozumie się taką ilość gazu, która waży tyle kilogramów, ile wynosi ciężar drobinowy μ . Między H kal/nm^3 a h kal/kg zachodzi zatem zależność:

$$\mu \cdot h = \Phi \cdot H = 22,4 \cdot H,$$

a stąd:

$$h = \frac{\Phi \cdot H}{\mu} = \frac{22,4 \cdot H}{\mu} \quad (1)$$

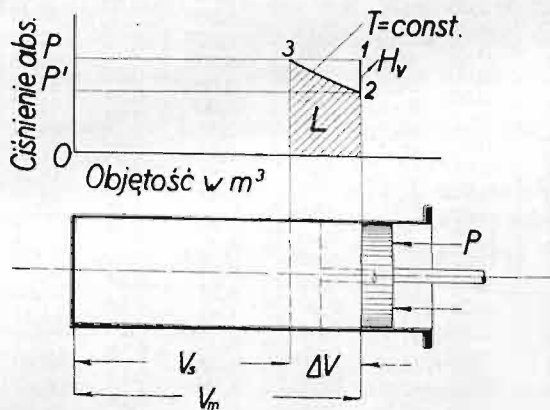
Wyrażenia $\mu \cdot h$ i $\Phi \cdot H$ przedstawiają wartość opałową górną w odniesieniu do mola.

¹⁾ zredukowane na $0^{\circ}C$.

²⁾ 1 *at* = 1 kg/cm^2 = 10000 kg/m^2 = 735,5 mm rt. zred. na $0^{\circ}C$

Zależność między ciepłem spalania pod stałym ciśnieniem a ciepłem spalania w stałej objętości.

Nie jest obojętnym dla wartości opałowej, czy spalanie odbywa się pod stałym ciśnieniem, czy też w stałej objętości. Nazwijmy ciepło spalania w stałej objętości (takie spalanie ma miejsce w bombie kalorymetrycznej, służącej do wyznaczania wartości opałowej paliw stałych i płynnych) przez H_v , zaś ciepło spalania pod stałym ciśnieniem przez H_p . Ze spalaniem pod stałym ciśnieniem mamy do czynienia podczas wyznaczania wartości opałowej gazów zapomocą kalorymetru Junkers'a. Dla porównania obu procesów spalania przeprowadzimy następujące rozumowanie: Ładunek mieszanki palnej zawierający 1 nm^3 gazu palnego spalamy najpierw w stałej objętości i oziębamy spaliny do temperatury początkowej; przytem wydziela się na zewnątrz ciepło $H_v \text{ kal/nm}^3$ gazu palnego (przemiana 1—2 na rys. 1). Ponieważ normalnie ilość drobin przez spalanie zmniejsza się, będziemy mieli pod koniec tej operacji ciśnienie P' mniejsze od ciśnienia początkowego P . Aby doprowadzić spaliny do ciśnienia początkowego, należy pozwoić otoczeniu skompresować je izotermicznie od ciśnienia P' do ciśnienia własnego P . Przytem znajdzie zmianę objętości o t. zw. kontrakcję $\Delta V \text{ m}^3/\text{nm}^3 \text{ gp.}$ (p. rys. 1).



Rys. 1.

$$\Delta V = V_m - V_s, \quad (2)$$

gdzie oznaczają:

$V_m \text{ m}^3/\text{nm}^3 \text{ gp.}$, objętość mieszanki palnej, zawierającej 1 nm^3 gazu palnego (gp.) w temperaturze $T^0 \text{ K}$ i pod ciśnieniem $p \text{ ata}$.

$V_s \text{ m}^3/\text{nm}^3 \text{ gp.}$, objętość spalin w tych samych warunkach.

Tej izotermicznej kompresji spalin (przemiana 2—3 na rys. 1), towarzyszy wydzielanie się ciepła na zewnątrz w ilości równowartej pracy absolutnej, wykonanej przez zewnętrzne otoczenie. Obliczymy tę pracę. Ciśnienie, jakie się ustali w bombie po oziębieniu produktów spalania wynosi:

$$P' = P \cdot \frac{V_s}{V_m},$$

gdzie P i P' oznaczają abs. ciśnienie w kg/m^2 . Praca potrzebna do izotermicznego skompresowania spalin od ciśnienia P' do ciśnienia P , wynosi:

$$L = P' \cdot V_m \cdot \ln \frac{P}{P'} = P \cdot \frac{V_m - \Delta V}{V_m} \cdot V_m \cdot \ln \frac{P}{P'} = P \cdot (V_m - \Delta V) \cdot \ln \frac{V_m}{V_m - \Delta V}.$$

Wiadomo, że: $\ln x = x - 1 - \dots$ dla $0 < x < 2$, zatem:

$$L \approx P \cdot (V_m - \Delta V) \left(\frac{V_m}{V_m - \Delta V} - 1 \right) \approx P \cdot \Delta V \text{ kgm/nm}^3 \text{ gp.}$$

Wobec tego, górna wartość opałowa H_p wyniesie:

$$H_p = H_v + A \cdot L$$

$$H_p \approx H_v + A \cdot P \cdot \Delta V \text{ kal/nm}^3 \text{ gp.}, \quad (3)$$

gdzie $A = 1/427 \text{ kal/kgm}$ jest równoważnikiem cieplnym pracy.

Z równania powyższego wynika, że $(H_p - H_v)$ dla tego samego gazu jest funkcją zarówno ciśnienia, jak i kontrakcji ΔV . Jeśli w tej samej temperaturze zwiększymy ciśnienie P , to kontrakcja ΔV zmniejsza się tak, że $P \Delta V$ pozostanie bez zmiany. Natomiast dla $P = \text{const}$ kontrakcja rośnie z temperaturą.

Wielkość kontrakcji oblicza się według równ. (2), na podstawie znanych objętości V_m i V_s , przeliczonych dla tych samych warunków termicznych, przy czym objętość mieszanki palnej jest równa sumie objętości gazu palnego V_{gp} i objętości powietrza V_p :

$$V_m = V_{gp} + V_p. \quad (4)$$

Zarówno gaz palny, powietrze jak i spaliny normalnie są wilgotnymi t. zn. zawierają wodę w postaci pary. Jeżeli znamy ciśnienie cząstkowe pary wodnej $p_p \text{ mm rt.}$ oraz ciśnienie całkowite mieszaniny $p \text{ mm rt.}$, nie trudno obliczyć V_m i V_s , a tem samem kontrakcję. Znając bowiem objętość suchego gazu przy ciśnieniu całkowitem, obliczamy objętość gazu wilgotnego, posługując się prawem Dalton'a:

$$V_{wilg.} = V_{such} \frac{p}{p - p_p}. \quad (5)$$

Podane w podręcznikach inżynierskich wartości ciepła spalania gazów należy rozumieć jako H_p , jeżeli niema specjalnych zastrzeżeń. Wartości te mają znaczenie dla spalania zewnętrznego paliw (np. kotły parowe). Natomiast spalanie wewnętrzne w silnikach wybuchowych (Otto) teoretycznie wyswobadza tylko H_v .

Termodynamiczne określenie ciepła spalania.

W znacznie większym stopniu, aniżeli sposób spalania, wpływa na ciepło spalania temperatura odniesienia (początkowa). W myśl podanej na wstępie definicji, opierając się na I. Zasadzie termodynamiki, wartość opałowa górna równa się różnicy energii mieszanki palnej i spalin w tej samej temperaturze odniesienia T . Oznaczmy całkowitą energję gazu palnego i powietrza przed spalaniem przez e_m zaś całkowitą energję produktów spalania przez e_s , wówczas, przy założeniu spalania pod stałym ciśnieniem, ciepło spalania w temperaturze T :

$$h_p^T = e_m - e_s. \quad (6)$$

Ogólnie całkowita energja ciała gazowego:

$$e = i + b \text{ kal/kg}, \quad (7)$$

gdzie oznaczają:

$i \text{ kal/kg}$ całkowity ciepłok, wprowadzony przez Mollier'a;

$b \text{ kal/kg}$ pewną stałą, która uwzględnia inne rodzaje energii zawarte w ciele (poza ciepłikiem).

Całkowity ciepłok gazu określa równanie:

$$i = u + A \cdot P \cdot v, \quad (8)$$

gdzie:

$$u = c_v^{sr} \Big|_0^T \cdot T \text{ kal/kg}$$

wyraża energję wewnętrzną gazu.

$c_v^{sr} \text{ kal/kg}^0 \text{ K}$ oznacza średnie ciepło właściwe

w stałej objętości, dla zakresu temperatur od 0^0 K do $T^0 \text{ K}$;

$T^0 \text{ K}$ abs. temperaturę gazu w stopniach Kelvin'a;

$P \text{ kg/m}^2$ abs. ciśnienie gazu, zaś

$v \text{ m}^3/\text{kg}$ objętość właściwą gazu w temperaturze T i pod ciśnieniem P ;

$A = 1/427 \text{ kal/kgm}$;

$A \cdot P \cdot V \text{ kal/kg}$ przedstawia energję potencjalną gazu³⁾.

Dla uzmysłowania jej przypominamy, że absolutna praca w okresie „napełniania“ silnika tłokowego wykonana jest kosztem tej energii.

Rachunek staje się prostszym, gdy przeprowadzimy go dla jednego mola, a nie dla kg gazu. Całko-

³⁾ Całkowita energja potencjalna gazu obejmuje nadto energję potencjalną „położenia“, jeśli poziom porównawczy nie leży w osi masy gazowej.

wita energia zawarta w jednym molu gazu na podstawie równań (7) i (8) wynosi:

$$E = \mu \cdot e = \mu \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T \cdot T + A \cdot P \cdot v \cdot \mu + \mu b \text{ kal/mol.}$$

Wiadomo z termodynamiki gazów, że:

$$A \cdot \mu \cdot P \cdot v = A \mu \cdot R \cdot T = A \cdot 848 \cdot T = 1,987 T.$$

Stąd po wprowadzeniu nowej stałej: $B = \mu \cdot b$,

$$E = (\mu \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + 1,987) T + B = \mu \cdot c_p^{sr} \Big|_0^T \cdot T + B \text{ kal/mol} \quad (9)$$

gdzie $\mu c_p^{sr} \Big|_0^T$ oznacza średnie ciepło właściwe drobinowe pod stałym ciśnieniem.

Wartości średniego ciepła właściwego drobinowego $\mu c_v^{sr} \Big|_0^T$ podane są w zestawieniu I. 4).

Oznaczmy energię pary wodnej w mieszanice palnej przez $I_m \text{ kal/mol gp.}$, zaś energię pary wodnej w produktach spalania przez $I_s \text{ kal/mol gp.}$, wówczas ciepło spalania dla jednego mola gazu palnego wynosi:

$$\begin{aligned} \mu \cdot h_p^T = E_m - E_s = & \sum_{i=1}^{i=n} m_i (\mu_i \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + 1,987) T + I_m + \\ & + \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot B_i - \left[\sum_{i=1}^{i=n'} m_i' (\mu_i \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + 1,987) T + \right. \\ & \left. + I_s + \sum_{i=1}^{i=n'} m_i' \cdot B_i \right], \end{aligned}$$

Zestawienie 1.

Średnie ciepła właściwe drobinowe $\mu \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T$ i funkcje $\varphi(T) = \mu \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + \int_0^T \frac{\mu \cdot c_v^{sr}}{T} \cdot dT$.

T° K	Para wodna (H ₂ O)				Dwuatomowe gazy (CO, O ₂ , N ₂)				Wodór (H ₂)				Bezwodnik kwasu węglowego (CO ₂)			
	$\mu \cdot c_v^{sr} \Big _0^T$	Różnica	$\varphi(T)$	Różnica	$\mu \cdot c_v^{sr} \Big _0^T$	Różnica	$\varphi(T)$	Różnica	$\mu \cdot c_v^{sr} \Big _0^T$	Różnica	$\varphi(T)$	Różnica	$\mu \cdot c_v^{sr} \Big _0^T$	Różnica	$\varphi(T)$	Różnica
0	5,96	0,00	—	—	4,96	0,00	—	—	4,96	0,00	—	—	5,96	0,02	—	—
100	5,96	0,02	33,38	4,21	4,96	0,00	27,50	3,77	4,96	0,00	27,50	3,77	5,98	0,09	33,42	4,25
200	5,98	0,05	37,59	2,50	4,96	0,01	31,27	1,99	4,96	0,00	31,27	2,01	6,07	0,18	37,67	2,66
300	6,03	0,06	40,09	1,81	4,97	0,01	33,26	1,44	4,96	0,00	33,28	1,43	6,25	0,31	40,33	2,20
400	6,09	0,07	41,90	1,43	4,98	0,01	34,70	1,13	4,96	0,00	34,71	1,10	6,56	0,34	42,53	1,83
500	6,16	0,07	43,33	1,20	5,99	0,01	35,83	0,93	4,96	0,00	35,81	0,90	6,90	0,34	44,36	1,58
600	6,23	0,08	44,53	1,04	5,02	0,03	36,76	0,80	4,97	0,01	36,71	0,78	7,24	0,30	45,94	1,39
700	6,31	0,08	46,57	0,93	5,04	0,02	37,56	0,70	4,98	0,01	37,49	0,67	7,54	0,27	47,33	1,26
800	6,39	0,08	46,50	0,84	5,06	0,03	38,26	0,62	4,99	0,01	38,16	0,67	7,81	0,23	48,59	1,16
900	6,47	0,08	47,34	0,77	5,09	0,03	38,88	0,56	5,00	0,02	38,77	0,61	8,04	0,21	49,75	1,07
1000	6,55	0,09	48,11	0,72	5,11	0,03	39,44	0,51	5,02	0,02	39,31	0,54	8,25	0,18	50,82	1,01
1100	6,64	0,09	48,83	0,67	5,14	0,03	39,95	0,48	5,04	0,02	39,81	0,50	8,43	0,17	51,83	0,94
1200	6,73	0,09	49,50	0,63	5,17	0,03	40,43	0,44	5,06	0,02	40,27	0,46	8,60	0,16	52,77	0,88
1300	6,82	0,09	50,13	0,61	5,20	0,03	40,87	0,43	5,08	0,02	40,69	0,42	8,76	0,16	53,65	0,82
1400	6,91	0,10	50,74	0,57	5,23	0,03	41,30	0,40	5,10	0,02	41,09	0,40	8,92	0,15	54,47	0,77
1500	7,01	0,10	51,31	0,56	5,27	0,04	41,70	0,38	5,13	0,03	41,48	0,39	9,07	0,15	55,24	0,74
1600	7,11	0,10	51,87	0,54	5,31	0,04	42,08	0,38	5,17	0,04	41,85	0,37	9,22	0,15	55,98	0,69
1700	7,23	0,12	52,41	0,54	5,36	0,05	42,45	0,37	5,21	0,04	42,20	0,35	9,36	0,14	56,67	0,68
1800	7,35	0,12	52,96	0,55	5,41	0,05	42,81	0,36	5,25	0,04	42,54	0,34	9,50	0,14	57,35	0,64
1900	7,49	0,14	53,50	0,54	5,46	0,05	43,15	0,34	5,30	0,05	42,87	0,33	9,64	0,14	57,99	0,61
2000	7,64	0,15	54,05	0,54	5,51	0,05	43,49	0,34	5,35	0,05	43,19	0,32	9,78	0,14	58,62	0,63
2100	7,81	0,17	54,59	0,54	5,57	0,06	43,82	0,33	5,40	0,05	43,50	0,31	9,91	0,13	59,23	0,61
2200	7,98	0,17	55,14	0,54	5,63	0,06	44,14	0,32	5,45	0,05	43,81	0,31	10,04	0,13	59,83	0,60
2300	8,16	0,18	55,68	0,54	5,69	0,06	44,45	0,31	5,50	0,05	44,11	0,30	10,16	0,12	60,40	0,57
2400	8,35	0,19	56,22	0,54	5,75	0,06	44,75	0,30	5,56	0,06	44,40	0,29	10,29	0,13	60,95	0,55
2500	8,55	0,20	56,76	0,54	5,81	0,06	45,04	0,29	5,62	0,06	44,70	0,30	10,41	0,12	61,48	0,53
2600	8,75	0,20	57,30	0,54	5,87	0,06	45,33	0,29	5,68	0,06	44,98	0,28	10,52	0,11	62,00	0,52
2700	8,96	0,21	57,85	0,55	5,93	0,06	45,61	0,28	5,74	0,06	45,26	0,28	10,64	0,12	62,50	0,50
2800	9,18	0,22	58,39	0,54	5,99	0,06	45,89	0,28	5,80	0,06	45,53	0,27	10,75	0,11	62,99	0,49
2900	9,40	0,22	58,93	0,54	6,05	0,06	46,15	0,27	5,87	0,07	45,80	0,27	10,87	0,12	63,48	0,49
3000	9,62	0,22	59,47	0,54	6,11	0,06	46,42	0,27	5,93	0,06	46,06	0,26	10,98	0,11	63,96	0,48

Jeżeli mamy do czynienia z mieszaniną gazową o zawartości m_1 moli jednego składnika, m_2 moli drugiego składnika i t. d., to całkowitą energię mieszaniny obliczamy jako sumę energii poszczególnych składników:

$$E = m_1 \cdot E_1 + m_2 \cdot E_2 + \dots \quad (10)$$

W ten sposób obliczamy energię mieszaniny gazowej suchej. Jeśli mieszanina jest wilgotna, należy do energii poprzednio obliczonej dodać energię pary wodnej, która równa się iloczynowi ciężaru pary przez absolutny ciepłik tj. ilość ciepła, którą 1 kg pary wodnej odda, jeśli oziębimy go pod stałym ciśnieniem od temperatury $T^\circ K$ do $0^\circ K$. W myśl twierdzenia Nernsta ciepłik lodu w $0^\circ K$ wynosi 0. Z tablic (wykresów) znane są nam tylko ciepłiki względne, a mianowicie nadwyżki ciepłika pary (cieczy) ponad ciepłikiem wody o temperaturze $0^\circ C$. Kwestją ciepłika absolutnego wody w temperaturze $0^\circ C$ zajmiemy się później.

4) Schmiedt u. Schell: „Die mittleren spezifischen Wärmen“ (Zeitschrift für technische Physik 1928, S. 81).

$$\begin{aligned} \text{albo: } \Phi \cdot H_p^T = & \left[\sum_{i=1}^{i=n} m_i (\mu_i \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + 1,987) - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^{i=n'} m_i' (\mu_i \cdot c_v^{sr} \Big|_0^T + 1,987) \right] T + I_m - I_s + B_m - B_s \quad (11) \end{aligned}$$

Dla $T = 0^\circ K$:

$$\Phi \cdot H_p^0 = B_m - B_s, \text{ wzgl. } H_p^0 = \frac{B_m - B_s}{\Phi} \quad (12)$$

Ostatnie wyrażenia t. j. ciepło spalania w $0^\circ K$ nazywamy energią chemiczną gazu.

Ponieważ ciśnienie ma tylko znikomy wpływ na ciepło właściwe, przeto ciepła spalania H_p i H_p^0 praktycznie nie zależą od ciśnienia.

Równanie (11) jest ogólnym wzorem pozwalającym na obliczenie ciepła spalania. Z równania tego wynika, że ciepło spalania tego samego gazu jest funkcją temperatury, ilości a więc nadmiaru powietrza, wreszcie ilości pary wodnej, zawartej w mieszanice palnej. W dalszym ciągu rozpatrzemy (na przykładzie)

poszczególne zależności. Przedtem jednak musimy obliczyć absolutny ciepłik pary wodnej, którego znajomość niezbędna jest do dalszych rozważań.

Przybliżone obliczenie absolutnego ciepłika pary wodnej.

Woda w mieszaninie gazowej może mieć postać:

a) pary przegrzanej, powiadamy wówczas, że wilgotność względna tej mieszaniny $\varphi < 100\%$;

b) pary nasyconej suchej, $\varphi = 100\%$; lub

c) pary nasyconej mokrej⁵⁾. W tym ostatnim przypadku nadmiar wody ponad ilość potrzebną do nasyżenia mieszaniny gazowej, wykrapla się. Jeżeli całkowita ilość wody wynosi G kg, te ilość skroplin wynosi $G_w = G - G_n$, gdy G_n oznacza ilość pary nasyconej suchej.

Energję pary wodnej obliczamy z równania:

$$I = G \cdot i_a, \quad (13)$$

gdzie ciepłik absolutny i_a kal/kg:

$$i_a = i_0 + i \quad (14)$$

i_0 kal/kg oznacza ciepłik absolutny wody w temperaturze $0^\circ C = 273^\circ K$;

i kal/kg oznacza ciepłik względny pary (wody) ponad ciepłikiem wody w temperaturze $0^\circ C$ z tablic⁶⁾.

W przypadku a), gdy ciśnienie pary wodnej jest małe (do $\approx 0,25$ ata), jak to ma miejsce w naszych rozważaniach, ciepłik względny pary przegrzanej do $T^\circ K$:

$$i = 595 + c_p^{sr} (T - 273) = 595 + c_p^{sr} \cdot t \quad (15)$$

c_p^{sr} oznacza tu średnie ciepło właściwe pary wodnej dla zakresu temperatur od 0 do $t^\circ C$.

Średnie ciepło właściwe pary wodnej w niskich ciśnieniach jest funkcją tylko temperatury i tak się zmienia⁷⁾:

$T^\circ K$	c_p^{sr} kal/kg $^\circ C$	$T^\circ K$	c_p^{sr} kal/kg $^\circ C$
400	0,46	1500	0,51
600	0,47	2000	0,55
1000	0,49	2500	0,61
		3000	0,67

W przypadku b): $i = i''$

i'' kal/kg oznacza ciepłik pary nasyconej suchej dla danej temperatury.

W przypadku c): Energia G kg pary nasyconej mokrej równa się sumie energii G_n kg pary nasyconej suchej i $G_w = (G_n - G)$ kg wody:

$$I = I_n + I_w.$$

Ciepłik pary nasyconej suchej jak w b): $i_n = i''$

zaś ciepłik wody: $i_w = i' = T - 273$

$$I = (G - G_n) i' + G_n \cdot i'' + G \cdot i_0.$$

Do tego samego rezultatu dojść można jeszcze w inny sposób. Wiadomo z termodynamiki par, że zawartość pary suchej w parze nasyconej mokrej $x = \frac{G_n}{G}$, zaś abs.

ciepłik pary mokrej:

$$i_n = i_0 + i' + x(i'' - i') = i_0 + i' + x \cdot r \text{ kal/kg}$$

$$I = G \cdot i_a.$$

Przy obliczeniu ciepłika absolutnego i_0 są nam pomocne:

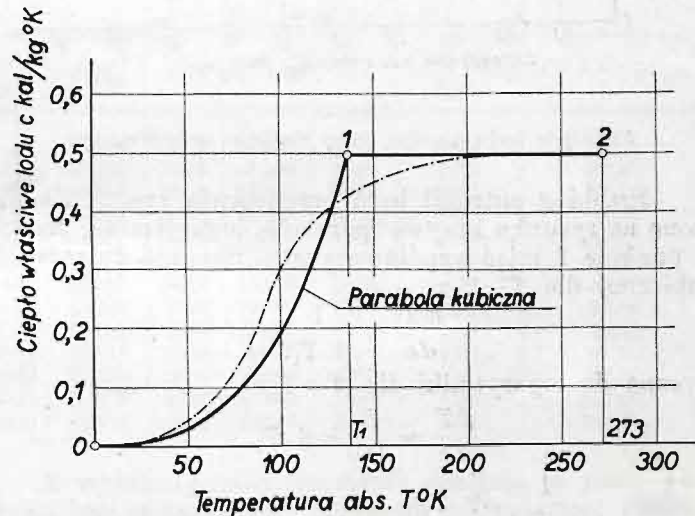
1. III. Zasada termodynamiki (Teoremat Nernst'a) która głosi, że ciepło właściwe jednorodnych ciał stałych i płynnych maleje ze spadkiem temperatury i w $0^\circ K$ zdoła do zera⁸⁾.

2. Równanie Debye'a: $c = \beta \cdot T^3$, które podaje zależność wspomnianego ciepła właściwego c od tempe-

ratury absolutnej $T^\circ K$ w pobliżu $0^\circ K$. W powyższym równaniu β oznacza pewną stałą, zależną od rodzaju ciała⁹⁾.

3. Absolutna wartość entropji lodu w temperaturze $0^\circ C$: $s_2 = 0,516$ clausiusów/kg podana przez prof. Nusselt'a na wykładzie termodynamiki¹⁰⁾.

Odbierając ciepło doprowadzamy wodę w temperaturze $0^\circ C$ do zmiany stanu skupienia, zamieniając ją izotermicznie w lód¹¹⁾. Odbieramy przytem t. zw. ciepło topnienia, które wynosi ≈ 80 kal/kg. Dalsze oziębianie lodu powoduje obniżanie się jego temperatury. Ciepło właściwe lodu w tej okolicy wynosi $c = 0,5$ kal/kg $^\circ K$. Ponieważ w dostępnej mi literaturze nie znalazłem badań nad zmiennością ciepła właściwego lodu w niskich temperaturach, przeto zakładam zależność $c = F(T)$ jak na rys. 2. Dla zakresu temperatur od $0^\circ K$ do $T_1^\circ K$ ważne jest równanie Debye'a, zaś począwszy od temperatury T_1 przyjmuję stałe ciepło właściwe lodu.



Rys. 2.

Ciepło właściwe lodu, jako funkcja temperatury.

Linja kreska-kropka podaje prawdopodobny przebieg ciepła właściwego lodu. Przy obliczaniu T_1 będziemy mieli na uwadze, że: 1. abs. wartość entropji $s_2 = 0,516$; 2. krzywa entropji w temperaturze T_1 nie ma żadnego załamania.

Elementarny przyrost entropji:

$$ds = \frac{du + A \cdot P \cdot dv}{T};$$

dla ciał stałych $dv = 0$, a więc:

$$ds = \frac{du}{T} = \frac{c \cdot dT}{T}.$$

Zatem równania przebiegu entropji przybiorą następującą postać:

a) Dla zakresu temperatur od 0° do $T_1^\circ K$:

$$ds = \beta \frac{T^3}{T} \cdot dt = \beta \cdot T^2 \cdot dT$$

$$s = \beta \int T^2 \cdot dT = \beta \frac{T^3}{3} + s_0,$$

a że entropja, w myśl twierdzenia Planck'a (zasady Nernst'a), w zerze absolutnym zdoła do zera, przeto:

$$s = \frac{\beta}{3} \cdot T^3 \quad \text{parabola kubiczna (a).}$$

b) Dla zakresu temperatur od T_1 do $273^\circ K$:

$$ds = 0,5 \frac{dT}{T},$$

$$s = 0,5 \cdot \ln T + s',$$

⁵⁾ Jeżeli będziemy uważali, że $\varphi = \frac{p_p}{p_n} = \frac{\text{ciśnienie pary}}{\text{ciśnienie nasyżenia}}$ w danej temperaturze, to w przypadku c): $\varphi = 100\%$

⁶⁾ Np. Hütte I. 1925, 25 w. str. 486 i d.

⁷⁾ Obliczone na podstawie wartości $(\mu_{H_2O} c_v^{sr})_0^T$ z zest. I.

⁸⁾ Świętosławski: „Fizyka chemiczna“ I, str. 130.

⁹⁾ W. Nernst: „Die theoretischen Grundlagen des neuen Wärmesatzes“, str. 51.

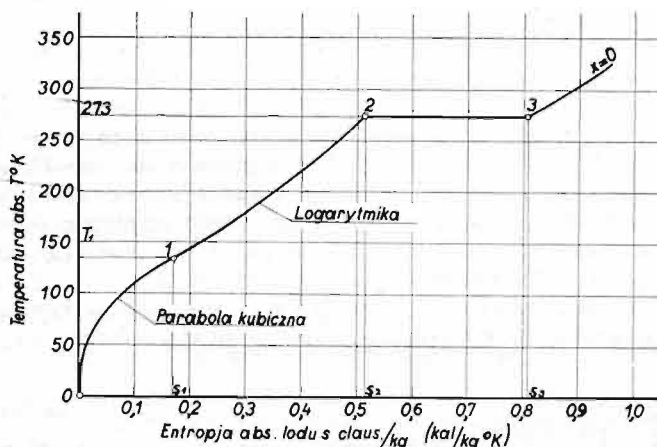
¹⁰⁾ „Mechanische Wärmetheorie, Oberstufe“.

¹¹⁾ Dopiero zwiększenie ciśnienia o 125 at powoduje obniżenie punktu krzepnięcia o $1^\circ C$.

gdzie stałą całkowania s' obliczamy z warunku, by dla $T=273^{\circ}K$, $s=s_2=0,516$ (rys. 3):

$$0,516=0,5 \ln 273 + s'$$

$$s=0,5 \ln \frac{T}{273} + 0,516 \quad \text{logarytmika (b)}$$



Rys. 3.
Entropja lodu (wody), jako funkcja temperatury.

Przebieg entropji lodu przedstawia rys. 3. Zaznaczone na rysunku krzywe (parabola, logarytmika) muszą w punkcie 1 mieć wspólną styczną. Styczna do paraboli kubicznej dla $T=T_1$:

$$\frac{dT}{ds} = \frac{1}{\beta \cdot T_1^2}$$

styczna do logarytmiki dla $T=T_1$:

$$\frac{dT}{ds} = \frac{T_1}{0,5} = 2 \cdot T_1$$

a więc: $\frac{1}{\beta \cdot T_1^2} = 2 \cdot T_1$, stąd $\beta = \frac{1}{2 \cdot T_1^3}$.

Temperaturę T_1 obliczamy z warunku, by: $s_2=0,516$; z równania (a):

$$s_1 = \frac{\beta}{3} \cdot T_1^3 = \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot T_1^3} \cdot T_1^3 = 0,167$$

więc: $s_2 - s_1 = 0,516 - 0,167 = 0,349$.

Z równania (b) zaś:

$$s_2 - s_1 = 0,5 \ln \frac{273}{T_1}$$

Przez porównanie dwóch ostatnich równań dochodzimy do:

$$T_1 = 135,8^{\circ}K, \quad \text{oraz} \quad \beta = \frac{1}{2 \cdot 135,8^3}$$

Mając powyższe wartości, możemy obliczyć absolutny ciepłik i_0 , jeśli uwzględnimy, że przyrost ciepła dq , potrzebny do ogrzania ciała o dT :

$$dq = T \cdot ds^{12}$$

Dla zakresu 0—1 (p. rys. 3):

$$q_{01} = \int_0^{T_1} \beta \cdot T^3 \cdot dT = \frac{1}{2 \cdot 135,8^3} \cdot \frac{135,8^4}{4} = 16,98 \approx 17,0$$

dla zakresu 1—2:

$$q_{12} = 0,5 (273 - 135,8) = 68,6$$

dla zakresu 2—3:

$$q_{23} = \dots = 80,0$$

Absolutny ciepłik wody w temperaturze $0^{\circ}C$:

$$i_0 = 17,0 + 69,6 + 80,0 = 165,6 \text{ kal/kg} \quad (16)$$

Jakkolwiek obliczona wartość ciepłika absolutnego jest przybliżona, to jednak stosowanie jej w naszych dalszych rozważaniach ma tylko nieznaczny wpływ na wartości szczegółowe, nie zmieniając ogólnego charakteru krzywych.

¹²⁾ jeśli przemiana ta odbywa się w sposób odwracalny.

Zależność ciepła spalania od temperatury odniesienia.

Ponieważ równanie (11) nie nadaje się do wysnuwania ogólnych wniosków, szczegółowe rozważania nad zależnością ciepła spalania od temperatury odniesienia, nadmiaru i wilgotności powietrza musimy przeprowadzić dla konkretnego paliwa. Celem najdobitniejszego uwydatnienia wspomnianych zależności, obrano wodór, jako najodpowiedniejsze paliwo, zaznaczamy przytem, że dla innych paliw gazowych, wprawdzie szczegółowe wartości wypadną inne, lecz charakter zależności będzie naogół ten sam.

Podstawą naszego rachunku jest podane w „Landolt Börnstein: Physik. Tafeln“ ciepło spalania wodoru, cytowane przez Rosini'ego w „Bur. Stand, Journ. Res.“ 6. I. 1931; dla temperatury $t=25^{\circ}C$:

$$\Phi H_2^{298} = 68313 \pm 9 \text{ kal/mol gp.}$$

Niestety nie podano tam, ani ciśnienia, ani też nadmiaru i wilgotności powietrza, towarzyszących pomiarowi tego ciepła spalania. Wobec tego, celem obliczenia energii chemicznej wodoru zakładamy, że:

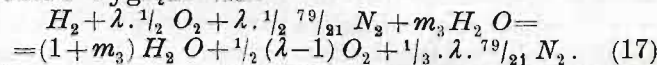
1. Spalanie odbywało się w aparacie, którego zasada działania podobna jest, jak w kalorymetrze Junkers'a.

2. Ciśnienie całkowite otoczenia: $p=1 \text{ ata}$.

3. Nadmiar powietrza $\lambda=2$ (normalnie spotykany przy spalaniu w kalorymetrze Junkers'a).

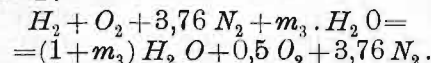
4. Wilgotność względna gazu $\varphi_{gp}=100\%$, zaś wilgotność względna powietrza $\varphi_p=50\%$.

Ogólne równanie stechiometryczne reakcji spalania wodoru wygląda tak:



W powyższym równaniu oznaczając: λ nadmiar powietrza, m_3 ilość moli pary wodnej dopływającej do kalorymetru z gazem i z powietrzem.

Dla $\lambda=2$:



W mieszance palnej mamy zatem: $m_1=1$ mol wodoru, $m_2=4,76$ moli dwuatomowych gazów; m_3 moli obliczymy później.

W produktach spalania natomiast mamy: $m'_2=4,26$ moli dwuatomowych gazów, $m'_1=(1+m_3)$ moli pary wodnej, gdyż całkowita zawartość pary wodnej w mieszance palnej, przeszła do produktów spalania.

W tablicach dla pary wodnej znajdujemy dla $t=25^{\circ}C$: $p_n=23,76 \text{ mm rt.}$, ciężar właściwy $\gamma_n=23,10 \text{ g/m}^3$, $i''=606,6 \text{ kal/kg}$, $i'=25 \text{ kal/kg}$.

Objętość jednego wilgotnego mola gazu palnego w danej temperaturze i ciśnieniu, w myśl równania (5) i charakterystycznego równania gazów:

$$V_{gp} = 22,4 \cdot \frac{298}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - 23,76} = 26,1 \text{ m}^3/\text{mol gp.}$$

zaś ilość pary wodnej w niej zawartej:

$$G_{gp} = 26,1 \cdot 23,1 \cdot \frac{1}{1000} = 0,603 \text{ kg/mol gp.}$$

Abs. ciepłik pary wodnej: $i_a=606,6 + 165,6 = 772,2 \text{ kal/kg}$.

Ponieważ wilgotność względna powietrza $\varphi_p=50\%$, więc ciśnienie częściowe pary wodnej $p_p=0,5 \cdot 23,76 = 11,88 \text{ mm rt.}$, zaś ciężar właściwy pary wodnej $\gamma_p=0,5 \cdot 23,1 = 11,55 \text{ g/m}^3$. Objętość wilgotnego powietrza doprowadzonego do spalania wynosi:

$$V_p = 4,76 \cdot 22,4 \cdot \frac{298}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - 11,8} = 122,2 \text{ m}^3/\text{mol gp.}$$

a para wodna zawarta w powietrzu:

$$G_p = 122,2 \cdot \frac{11,55}{1000} = 1,416 \text{ kg/mol gp.}$$

Abs. ciepłik pary wodnej:

$$i_a = 164,6 + 595 + 0,46 \cdot 25 = 772,1 \text{ kal/kg}$$

Teraz możemy obliczyć:

$$I_m = 0,603 \cdot 772,2 + 1,416 \cdot 772,1 = 1558,5 \text{ kal/mol gp.}$$

Sumarycznie mamy w mieszance palnej:

$$G_m = 0,603 + 1,416 = 2,019 \text{ kg pary/mol gp.,}$$

$$\text{a stąd, ponieważ } \mu_{H_2O} = 18,016, m_3 = \frac{2,019}{18,016} = 0,1122 \text{ moli pary/mol gp.}$$

Po spaleniu mieszanki wodorowej otrzymujemy parę wodną jako produkt spalania, która w miarę ochłodzenia się spalin, w chwili przekroczenia t. zw. punktu rosy zaczyna wydzielać się ze spalin w postaci kropelek wody. Punkt rosy, jak wykaże późniejszy rachunek, leży znacznie ponad $25^\circ C$, tak, że woda zawarta w spalinach w temperaturze $25^\circ C$ jest parą nasyconą mokrą. Wiadomo, że ciśnienie takiej pary równa się ciśnieniu pary nasyconej suchej. Ze spalania wodoru uzyskujemy 1 mol t. j. 18,016 kg wody chemicznej; do tego należy dodać parę wodną z mieszanki palnej $G_m = 2,019 \text{ kg}$. Razem zawierają spaliny $G_s = 20,035 \text{ kg}$ wody/mol gp. Objętość wilgotnych spalin wynosi:

$$V_s = 4,26 \cdot 22,4 \cdot \frac{298}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - 23,76} = 111,2 \text{ m}^3/\text{mol gp.}$$

W postaci pary nasyconej suchej mamy:

$$G_n = 111,2 \cdot 23,1 \cdot \frac{1}{1000} = 2,57 \text{ kg/mol gp.,}$$

zaś skropiło się: $G_s - G_n = 20,035 - 2,570 = 17,465 \text{ kg/mol gp}$. Ilość moli pary wodnej nasyconej suchej:

$$m_n = \frac{2,57}{18,016} = 0,1426 \text{ moli/mol gp.}$$

Zawartość wilgoci w parze:

$$1 - x = \frac{17,465}{20,035} = 87,2\%, \text{ a } x = 12,8\%.$$

Abs. ciepłik pary wodnej nasyconej $i_{an} = 772,2 \text{ kal/kg}^{13}$, abs. ciepłik wody $i_{aw} = 25 + 165,6 = 190,6 \text{ kal/kg}$. Abs. ciepłik pary nasyconej mokrej $i_a = 165,6 + 25 + 0,128 \cdot 581,6 = 265,0 \text{ kal/kg}$.

Energja pary wodnej w produktach spalania:

$$I_s = 2,57 \cdot 772,2 + 17,465 \cdot 190,6 = 5313 \text{ kal/mol gp.,}$$

lub: $I_s = 20,035 \cdot 265 = 5310 \text{ kal/mol gp.}$

Dla $T = 273 + 25 = 298^\circ K$ odczytujemy z zestawienia I.: $\mu_{H_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} = 4,96$ i $\mu_{N_2, O_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} = 4,97 \text{ kal/mol}^0 K$.

Mając w ten sposób przygotowany materiał rachunkowy, możemy obliczyć energję chemiczną wodoru, posługując się równaniem (11):

$$B_m - B_s = \Phi \cdot H_p^{298} - \left\{ (\mu_{H_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} + 1,987) + 4,76 (\mu_{N_2, O_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} + 1,987) - 4,26 (\mu_{N_2, O_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} + 1,987) \right\} 298 + I_s - I_m$$

$$B_m - B_s = \Phi \cdot H_p^{298} - 298 (\mu_{H_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} + 0,5 \cdot \mu_{N_2, O_2} \cdot c_v^{sr} \Big|_0^{298} + 1,5 \cdot 1,987) + I_s - I_m$$

Ostatecznie energja chemiczna wodoru:

$$B_m - B_s = 68313 - 298(4,96 + 0,5 \cdot 4,97 + 1,5 \cdot 1,987) + 5313 - 1558,5 = 68960 \text{ kal/mol gp.}$$

$$H_p^0 = \frac{68960}{22,4} = 3079 \text{ kal/nm}^3 \text{ gp.}$$

Skolei obliczamy na podstawie równania (1) ciepło spalania wodoru pod stałym ciśnieniem w temperaturze $T = 298^\circ K$:

$$H_p^{298} = \frac{68313}{22,4} = 3050 \text{ kal/nm}^3 \text{ wodoru.}$$

Kontrakcja w tej temperaturze w myśl równań (2) i (4) wynosi:

$$\Delta V = V_m - V_s = V_{gp} + V_p - V_s = 26,1 + 122,2 - 111,2 = 37,1 \text{ m}^3/\text{mol gp.}$$

W myśl równania (3) wartość opałowa górna w stałej objętości:

$$\Phi \cdot H_p^{298} = 68313 - \frac{1}{427} \cdot 10000 \cdot 37,1 = 67446 \text{ kal/mol gp.}$$

$$H_p^{298} = \frac{67446}{22,4} = 3011 \text{ kal/nm}^3 \text{ gp.; } \frac{H_p - H_v}{H_p} = 1,27\%.$$

Dla obliczania H_p , kontrakcji ΔV i H_v w innych temperaturach, czynimy następujące założenia:

1. nadmiar powietrza $\lambda = \text{const.} = 2$;

2. ciśnienie pary wodnej w powietrzu ($p = 11,88 \text{ mm rt}$) i ciśnienie pary wodnej w gazie palnym ($p_{gp} = 23,76 \text{ mm rt}$) w temperaturach wyższych od $25^\circ C$ są niezmiennione, zaś poniżej tej temperatury pozostają bez zmiany aż do stanu nasycenia, poczem stosują się do temperatury.

Wyniki obliczeń podane są w zestawieniu II. oraz częściowo ujęte wykreślne na rys. 4.

Zestawienie II.

$T^\circ K$	ΦH_p^1	H_p	$\Phi \cdot H_v$	H_v	$\frac{H_p - H_v}{H_p} \%$	$\Delta V \text{ m}^3/\text{mol gp.}$
0	68958	3079	68958	3079	0,00	0
273	68923	3075	68106	3040	1,19	34,87
298	68813	3050	67446	3011	1,27	37,10
313	66092	2951	65308	2915	1,19	33,48
323	63087	2816	62443	2788	1,02	27,50
333	58462	2610	58118	2593	0,59	14,71
400	58552	2612	58133	2595	0,72	17,90
600	58782	2623	58153	2596	1,07	26,84
1000	59429	2653	58381	2606	1,76	44,75
1500	60118	2683	58546	2613	2,62	67,12
2000	60390	2695	58294	2602	3,47	89,50
2500	59803	2670	57183	2553	4,88	111,90
3000	58458	2608	55316	2469	5,37	134,20

Z wykresu widać, że ciepło spalania w stałej objętości jest stale niższe, od ciepła spalania pod stałym ciśnieniem. Stosunek $\frac{H_p - H_v}{H_p} = \frac{A \cdot P \cdot \Delta V}{\Phi H_p}$ między $0^\circ K$ a $333^\circ K$ przechodzi przez maksimum a następnie po załamaniu w temperaturze $333^\circ K$ stale rośnie ze wzrostem temperatury. Zmienia się on analogicznie, jak przebieg kontrakcji ΔV , przedstawionej na rys. 4.

Ciepło spalania wodoru pod stałym ciśnieniem w temperaturze $273^\circ K$ jest co do swej wielkości prawie równe energii chemicznej. Od temperatury $273^\circ K$ ($0^\circ C$) do $333^\circ K$ ($60^\circ C$) ciepło spalania spada zrazu wolno, następnie gwałtownie. Od $333^\circ K$ począwszy, ciepło spalania rośnie, lecz w temperaturze $2000^\circ K$ zaczyna się dość prędko spadek krzywej. Krzywe H , jak i ΔV mają w temperaturze $333^\circ K$ ostre załamanie. Charakter krzywych H powyżej tej temperatury spowodowany jest tem, że ciepło właściwe pary wodnej o wiele szybciej rośnie z temperaturą, aniżeli ciepła właściwe pozostałych składników gazowych. Natomiast gwałtowny wzrost ciepła spalania poniżej temperatury $333^\circ K$ jest wywołany tem, że po przekroczeniu tej temperatury zaczyna się wykraplać para wodna (początkowo więcej, później mniej na tę samą różnicę temperatur), oddając przytem swe duże ciepło parowania na zewnątrz.

W temperaturze $333^\circ K$ ($60^\circ C$) całkowita woda zawarta w spalinach występuje w postaci pary zasyczonej suchej. Tę temperaturę określa się jako punkt rosy spalin. Nie będzie od rzeczy podać, w jaki sposób do tej temperatury się dochodzi.

Przedewszystkiem należy zauważyć, że, przy założeniu tego samego ciśnienia cząstkowego pary wodnej (powyżej $25^\circ C$), ilość pary wodnej doprowadzonej z powietrzem i gazem palnym pomimo wzrostu temperatury prawie nie ulega zmianie.

Jak wiadomo, ilość pary wodnej zawartej w naszej mieszance palnej:

¹³) Obliczono poprzednio.

$$G_m = m_1 \cdot 22,4 \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - p_n} \gamma_n +$$

$$+ m_2 \cdot 22,4 \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - 0,5 p_n} \cdot 0,5 \cdot \gamma_n,$$

γ_n kg/m³ oznacza tu ciężar właściwy pary wodnej nasyconej suchej.

Ponieważ ciśnienie pary nasyconej suchej w temperaturze 25° C: $p_n = \text{const.}$, $m_1 = \text{const.}$ i $m_2 = \text{const.}$, więc:

$$G_m = \text{const.} \cdot T \cdot \gamma_n.$$

Dla par pod niskim ciśnieniem — nawet już w stanie nasycenia — stosowalne jest równanie charakterystyczne dla gazów:

$$P_n \cdot v_n = 47,1 \cdot T,$$

stąd: $\frac{T}{v_n} = T \cdot \gamma_n = \frac{P_n}{47,1} = \text{const.}$, i $G_m = \text{const.}$,

ponieważ założono $P_n = 13,56 \cdot p_n = \text{const.}$

Zatem ilość pary wodnej nasyconej suchej w spalinach w temperaturze rosy wynosi — jak poprzednio wyliczono — $G_s = 20,035$ kg/mol gp. W spalinach

Dla $t_n = 61,1^\circ \text{C}$, $\gamma_n = 0,137$ kg m³, więc ilość pary wodnej:

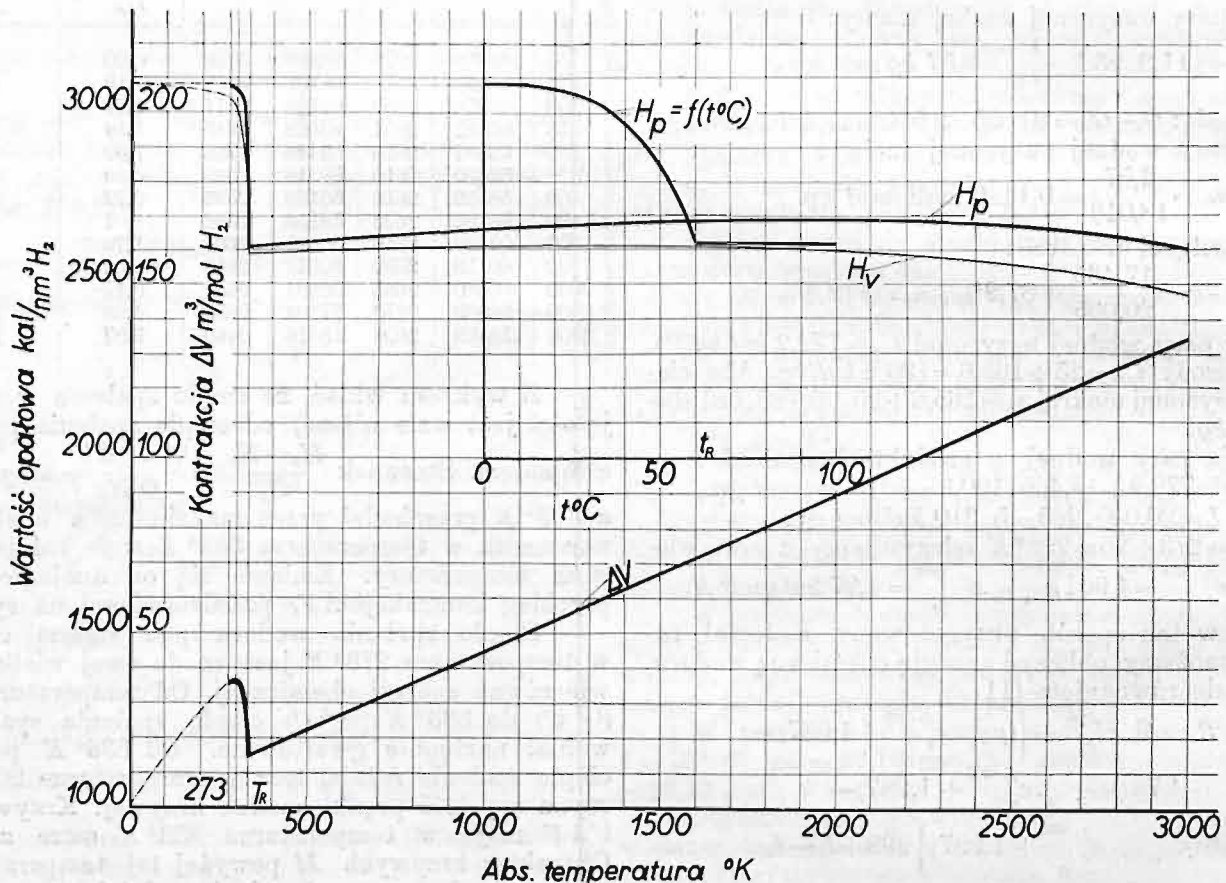
$$G_n = 4,26 \cdot 22,4 \frac{273 + 61,1}{273} \cdot \frac{760}{735,5 - 157,3} \cdot 0,137 =$$

$$= 21,002 \text{ kg/mol gp.}$$

Ponieważ $G_n > G_s$, zatem obliczona temperatura — przy przyjęciu, że para wodna zachowuje się jak gaz doskonały (ciśnienie pary dość duże) — okazała się nieco za wysoką. W tej temperaturze nasza para wodna znajduje się już w stanie przegrzania. Wilgotność względną spalin t. j. stosunek ilości pary wodnej, przypadającej na pewną masę gazu suchego, do tej ilości pary wodnej, która w tej samej temperaturze wystąpiłaby w stanie nasycenia, obliczymy z równania:

$$\varphi = \frac{G_p}{G_n} \cdot \frac{735,5 - \varphi \cdot p_n}{735,5 - p_n}$$

Do równania tego prowadzi taka droga: stosunek objętości mieszaniny przy $\varphi < 100\%$ i $\varphi = 100\%$, w tej samej temperaturze wynosi:



Rys. 4.

Ciepło spalania wodoru pod stałym ciśnieniem i w stałej objętości oraz kontrakcja, jako funkcje temperatury, dla nadmiaru powietrza $\lambda = 2$.

mamy w tym wypadku $m_1' = (1 + m_3) = 1,112$ moli pary wodnej suchej.

Objętościowy udział pary wodnej w spalinach wynosi:

$$r = \frac{m_1'}{m_1' + m_2'} = \frac{1,1122}{1,1122 + 4,26} = \frac{1,1122}{5,3722} = 0,2072,$$

a ciśnienie cząstkowe tej pary w myśl prawa Dalton'a: $p_p = p_n = 0,2072 \cdot 1 = 0,2072 \text{ ata} = 157,3 \text{ mm rt.}$

Temu ciśnieniu odpowiada temperatura nasycenia $t_n = 61,12^\circ \text{C}$.

Dla kontroli wyznaczmy ilość pary wodnej nasyconej suchej G_n zawartej w spalinach, posiadających obliczoną temperaturę.

$$\frac{V_\varphi}{V_n} = \frac{735,5 - p_n}{735,5 - \varphi \cdot p_n} \text{ a } \varphi = \frac{\gamma_\varphi}{\gamma_n} = \frac{G_\varphi V_n}{V_\varphi G_n}.$$

Wskaźnik φ określa wielkości w przypadku $\varphi < 100\%$, zaś wskaźnik n dotyczy stanu nasycenia ($\varphi = 100\%$).

$$\varphi = \frac{20,035}{21,002} \cdot \frac{735,5 - \varphi \cdot 157,3}{735,5 - 157,3};$$

$$\text{stąd: } \varphi = \frac{735,5}{763,9} = 0,963,$$

a ciśnienie pary wodnej:

$$p_p = 0,963 \cdot 157,3 = 151,4 \text{ mm rt., zaś } t = 60,28 \approx 60^\circ \text{C} = t_r.$$

Zatem punkt rosy wynosi $t_r = 60^\circ \text{C}$, a nie, jak wstępny rachunek wykazał: $t = 61,12^\circ \text{C}$.

(Dok. nast.).