WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA IM. JURIJA GAGARINA
W ZIELONEJ GÓRZE
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA

zeszyty naukowe

ZIELONA GÓRA – 1982

SPIS TREŚCI

1. ZBIGNIEW LEWICKI, MAREK PRZETOCKI, IRENEUSZ WRÓBEL — Badania stosunków wodnych w rejonie miasta Lubsko . 3

2. IRENEUSZ WRÓBEL — Badania stosunków wodnych w rejonie Narintaj-obo we wschodniej Mongolii 33

3. ZBIGNIEW LEWICKI — Adaptacja metod rachunku wyrównawczego do oceny sprawności hydraulicznej czynnych sieci wodociągowych 53

4. MARIA STANISŁAWSKA, JANUSZ STANISŁAWSKI — Macierz logiczna i jej zastosowanie w projektowaniu systemów zaopatrzenia w wodę i usuwania ścieków 65

5. GRZEGORZ CHUDZIO, MICHAŁ GŁOMBA, STANISŁAW SUDER — Oczyszczanie gazów odlotowych z dwutlenku siarki w kolumnie rurkowej wypełnionej 79

6. GRZEGORZ CHUDZIO, MICHAŁ GŁOMBA, STANISŁAW SUDER — Usuwanie SO_2 z gazów odlotowych w kolumnie rurkowej wypełnionej pierścieniami I-15M 95

7. IWONA BRESIŃSKA, MAREK GĄSIOREK, ZDZISŁAW DUDZIK — Usuwanie dwutlenku siarki z mieszanin gazowych drogą redukcji tlenkiem węgla 101

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA im. JURIJA GAGARINA
W ZIELONEJ GÓRZE
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA

ZESZYTY NAUKOWE
Nr 69

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 2

REDAKCJA WYDAWNICTW UCZELNIANYCH
ZIELONA GÓRA 1982

Kolegium redakcyjne
STANISŁAW KOŁACZKOWSKI (przewodniczący), HENRYK GREINERT, MICHAŁ DRAB

Redaktor naukowy
Prof. zwycz. dr STANISŁAW KOŁACZKOWSKI

Naczelny Redaktor Wydawnictw Uczelnianych
TADEUSZ STRYSZOWSKI

Redaktor techniczny
HELENA MARIA TRZECIAK

Printed in Poland

Wydano za zgodą
REKTORA WYŻSZEJ SZKOŁY INŻYNIERSKIEJ im. JURIJA GAGARINA
W ZIELONEJ GÓRZE

ZIELONA GÓRA — 1982. Nakład 200+30 egz. Format B5. Objętość: ark. wyd. 6,225; ark. druk. 6,75. Oddano do składania w październiku 1982 r. Podpisano do druku 25 kwietnia 1983 r. Druk ukończono w maju 1983 r. Papier drukowy kl. III, 70 g, 70/100. Cena zł 93,—

Druk: Zielonogórskie Zakłady Graficzne — zam. 894 — E-19

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Zbigniew Lewicki,
Marek Przetocki,
Ireneusz Wróbel

BADANIA STOSUNKÓW WODNYCH W REJONIE MIASTA LUBSKO

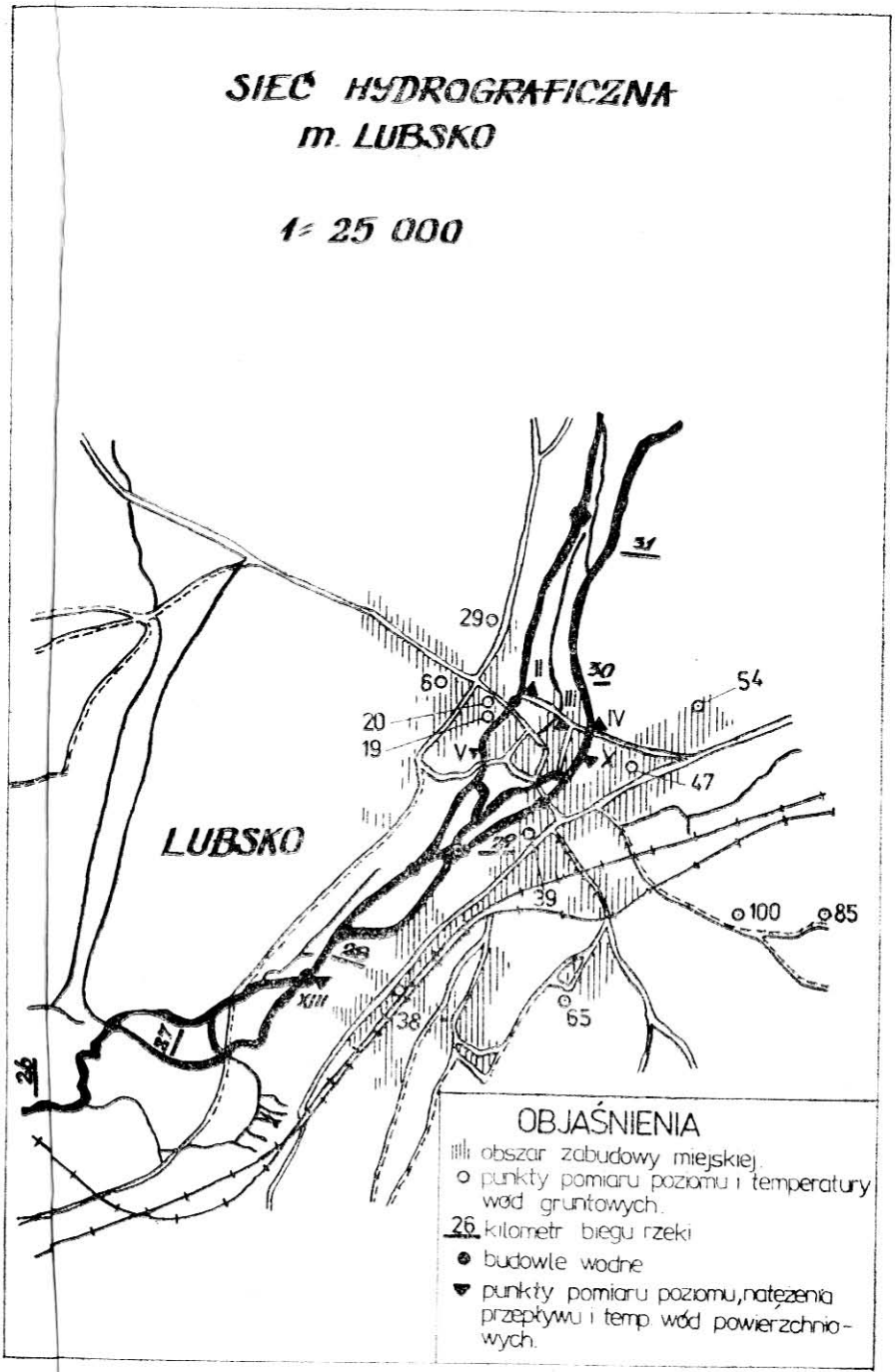
1. Wstęp

W latach 1974—1976 Instytut Budownictwa Wyższej Szkoły Inżynierskiej im. J. Gagarina w Zielonej Górze na zlecenie Wydziału Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego w Zielonej Górze przeprowadził na terenie miasta Lubsko kompleksowe badania wybranych komponentów środowiska przyrodniczego [2].

Zakres badań obejmował:

— obserwacje wybranych elementów meteorologicznych takich jak: temperatura i wilgotność powietrza, wysokość opadów atmosferycznych itp.,
— obserwacje przepływów i stanów wód powierzchniowych w rzece Lubszy i w kanałach,
— pomiary stanów zwierciadła wody podziemnej w 12-tu wytypowanych studniach, zlokalizowanych w różnych jednostkach geologiczno-geomorfologicznych,
— wykonanie analiz fizyczno-chemicznych prób wody, pobieranych systematycznie jeden raz w miesiącu przez okres roku hydrologicznego 1974-75 z obserwowanych studzien i w wybranych punktach wód powierzchniowych,
— wykonanie jednorazowego pomiaru stanu zwierciadła wody gruntowej w 105 zaniwelowanych studniach kopanych i opracowanie mapy hydroizohips pierwszej warstwy wodonośnej,
— oględziny i fragmentaryczną inwentaryzację uszkodzonych i podtopionych obiektów budowlanych,
— przygotowanie dokumentacji kartograficznej i fotograficznej związanej z lokalizacją niektórych obszarów i punktów objętych badaniami.

Dr inż. Zbigniew Lewicki, mgr inż. Marek Przetocki, dr inż. Ireneusz Wróbel — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze



Rys. 1. Sieć hydrograficzna m. Lubsko

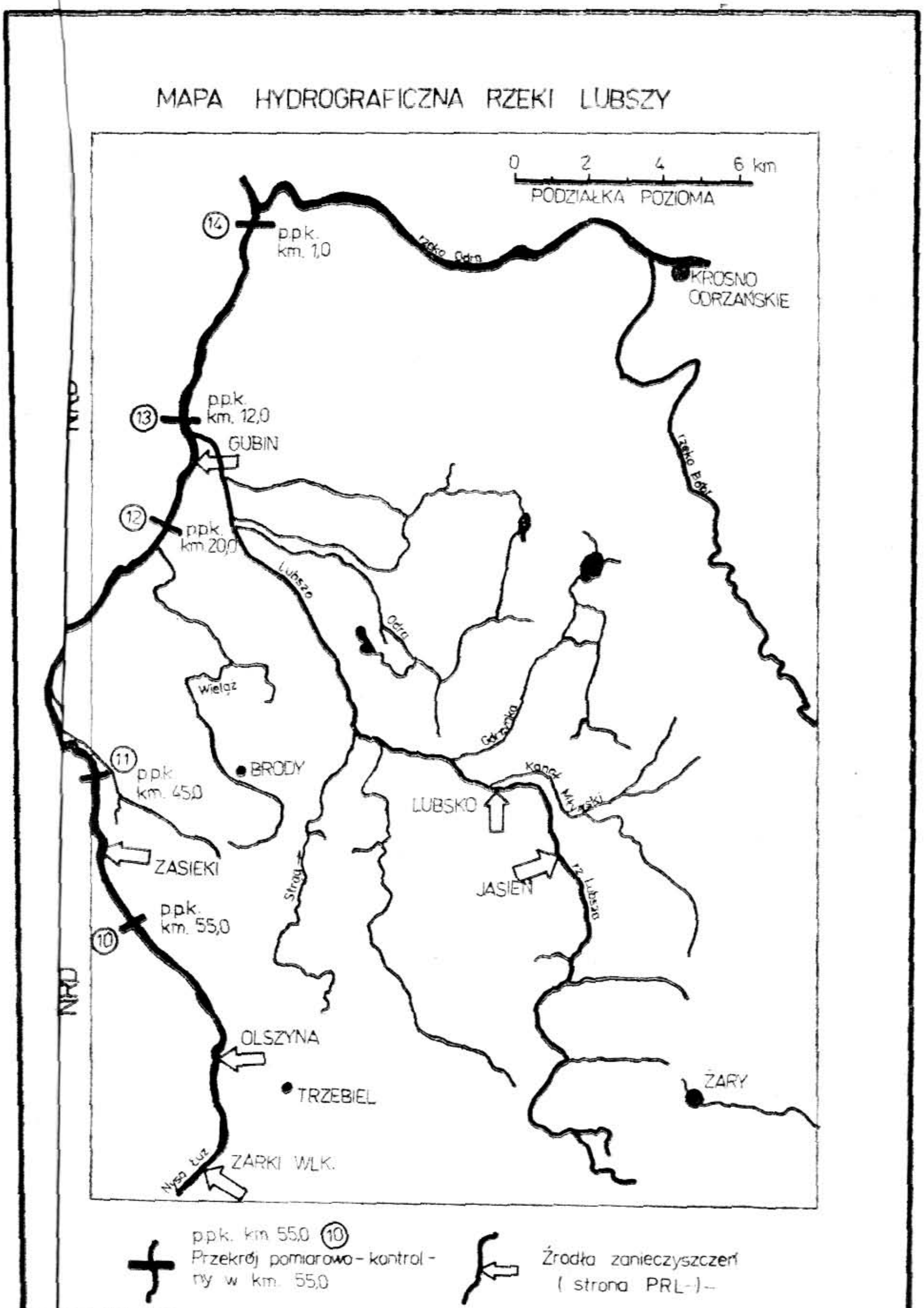
dwoma poziomami znajduje się dolina rzeki Lubszy. Najstarsza część Lubska położona jest na terasach rzecznych i opływają ją od południa rz. Lubsza a od północy kanał. Północna część Lubska, osią której są ulice Warszawska i Poznańska, położona jest na południowym zboczu niższego poziomu wysoczyznowego, natomiast południowo-wschodnia część miasta, osią której jest ul. XX-lecia usytuowana jest na północnym skłonie ostańca wysoczyznowego. W granicach poziomów wysoczyznowych występują liczne bezodpływowe zagłębienia (rys. 9 i 10), w których przy nieprzepuszczalnym podłożu stanowiącym najczęściej iły poznańskie, gromadzi się woda. Zagłębienia w powierzchni iłów poznańskich z reguły wypełnione są piaskami, żwirami a niekiedy torfami (rys. 9 i 10). Jedno takie torfowe zagłębienie stwierdzone zostało na S od cegielni Mierków. Powstanie kopalnych zagłębień bezodpływowych należy wiązać z wytopieniem się brył zagrzebanego martwego lodu. Ukształtowanie powierzchni w rejonie Lubska posiada zróżnicowaną genezę. Ostańce wysoczyznowe — obszary najwyżej wyniesione (80—125 m npm.) mają powierzchnie denudacyjne. Dolina rzeki Lubszy uformowana została w procesie akumulacyjnej działalności wód płynących. Jak z krótkiej przedstawionej powyżej charakterystyki fizyczno-geograficznej wynika, jest ona jednym z czynników wpływających na stan obiektów budowlanych, ze względu na duże urozmaicenie hipsometryczne obszaru zabudowanego i zróżnicowanie genezy poszczególnych typów geomorfologicznych.

2.2. Wody powierzchniowe

Osią hydrograficzną Lubska jest rzeka Lubsza przepływająca przez miasto ze wschodu na zachód połączona z systemem kanałów (rys. 1 i 2). Lubsza ma 62,5 km długości, a powierzchnia jej zlewni wynosi około 905 km². Przeciętny spadek dna rzeki waha się w granicach 1,8—2,2% przy czym w górnym biegu rzeki spadek ten wynosi 4% a w dolnym biegu 0,3% (rys. 3).

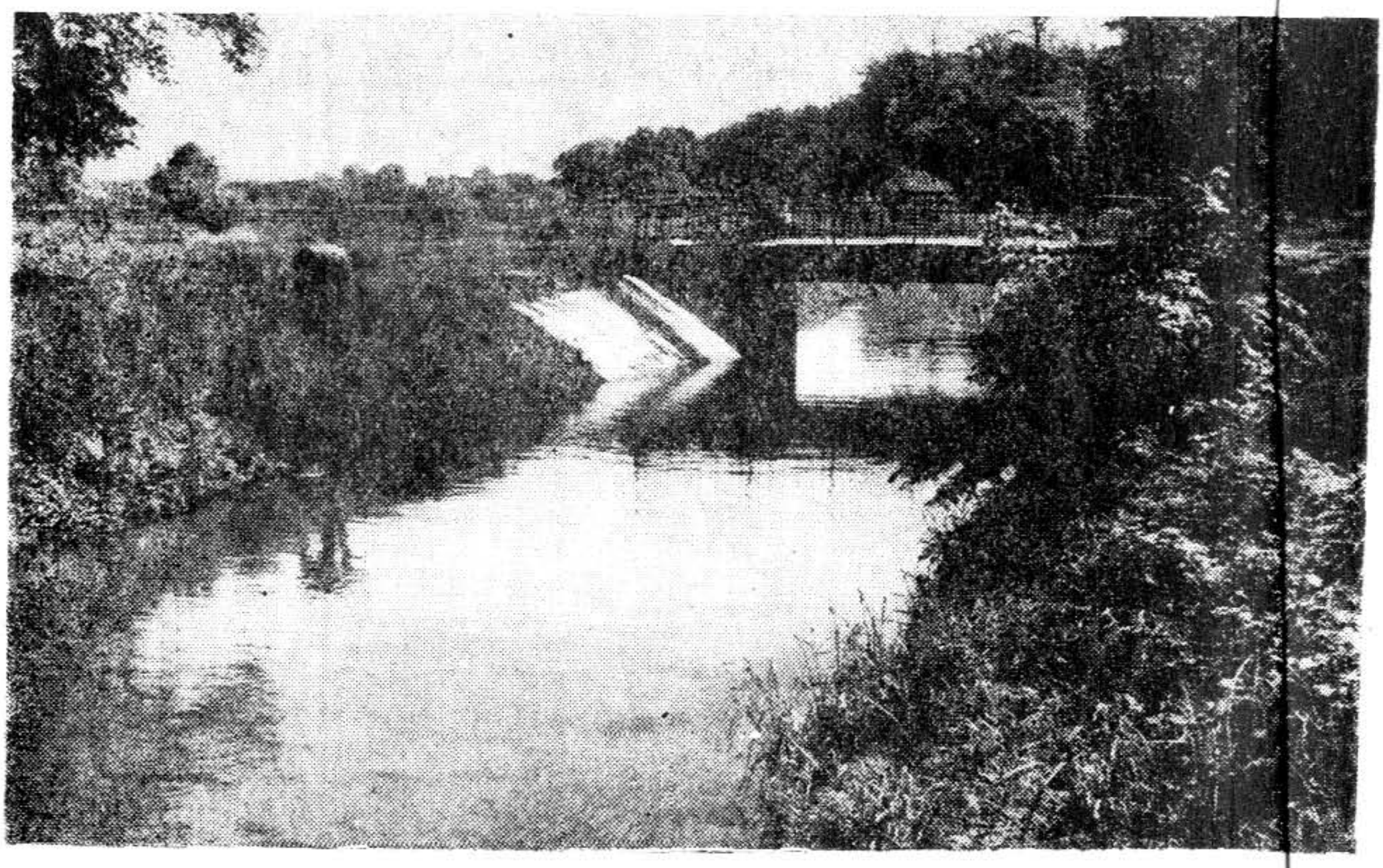
Lubsza posiada 10 większych dopływów, z których największym jest Rów Młyński zwany też Kanałem Młyńskim lub Młynkówką, wpadający do Lubszy na W od miasta (rys. 4). Rzeka Lubsza i Rów Młyński są połączone siecią otwartych rowów i kanałów do których odprowadza się ścieki oraz wody opadowe. Na terenie miasta znajdują się różnego typu budowle wodne jak jazy, progi i zastawy. Większość z nich jest uszkodzona i nie odgrywa żadnej roli w regulacji przepływu wody. Na Lubszy na 5,6 km w m. Pleśno znajduje się jedyny posterunek obserwacyjny. Powierzchnia zlewni w profilu Pleśno wynosi 814 km².

Zestawienie stanów wody w rzece Lubszy w latach 1966—1972 przedstawiono w tabeli 1, natomiast rysunki nr 5, 6 i 7 ilustrują zmienność



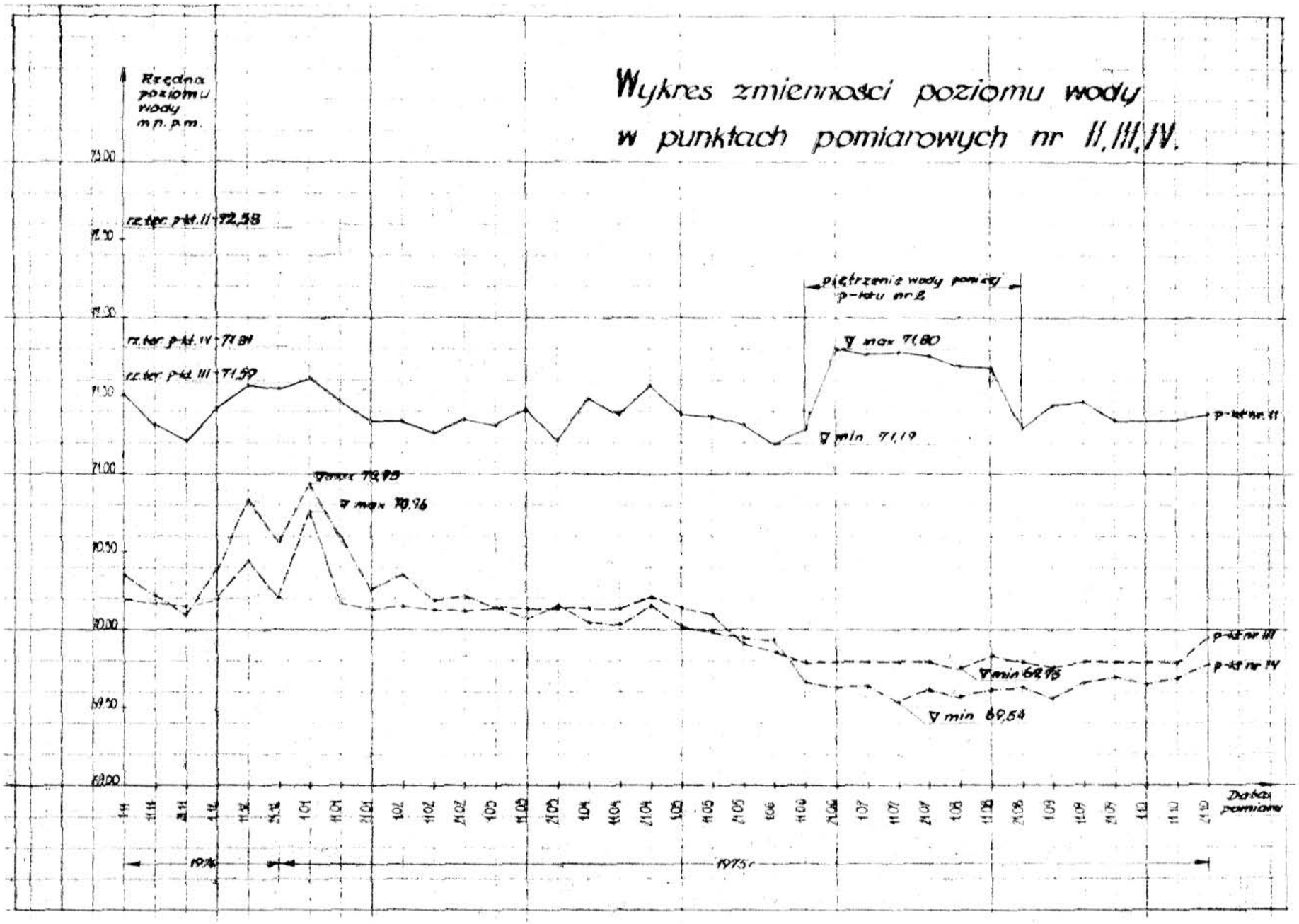
*Rys. 2. **Mapa hydrograficzna** rzeki Lubszy*

stanów wód powierzchniowych, zmienność natężeń przepływów i zmienność temperatury wody w wybranych punktach pomiarowych na terenie Lubska.

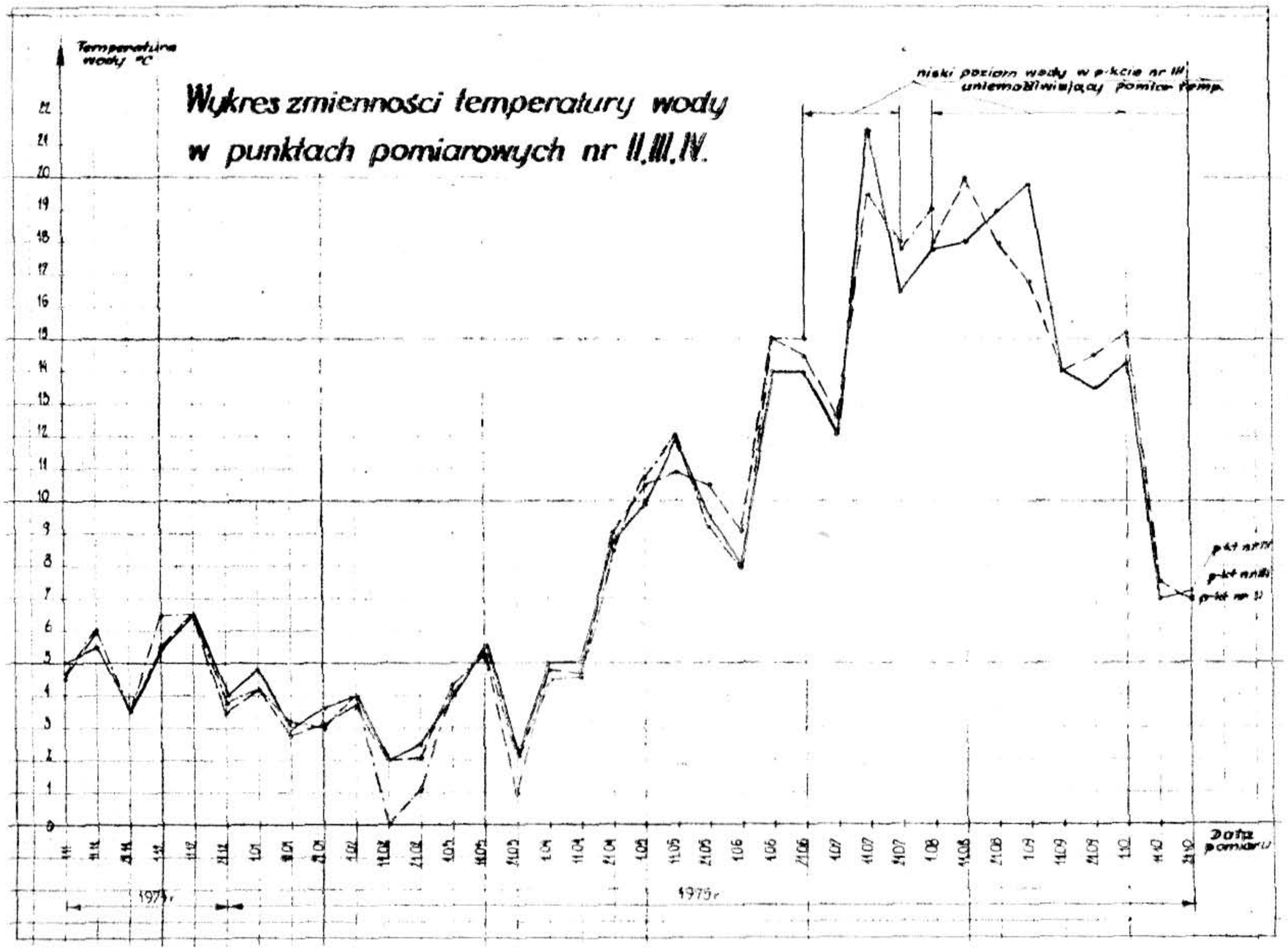


Rys. 3. Rzeka Lubsza — prawa odnoga, punkt pomiarowy nr IV

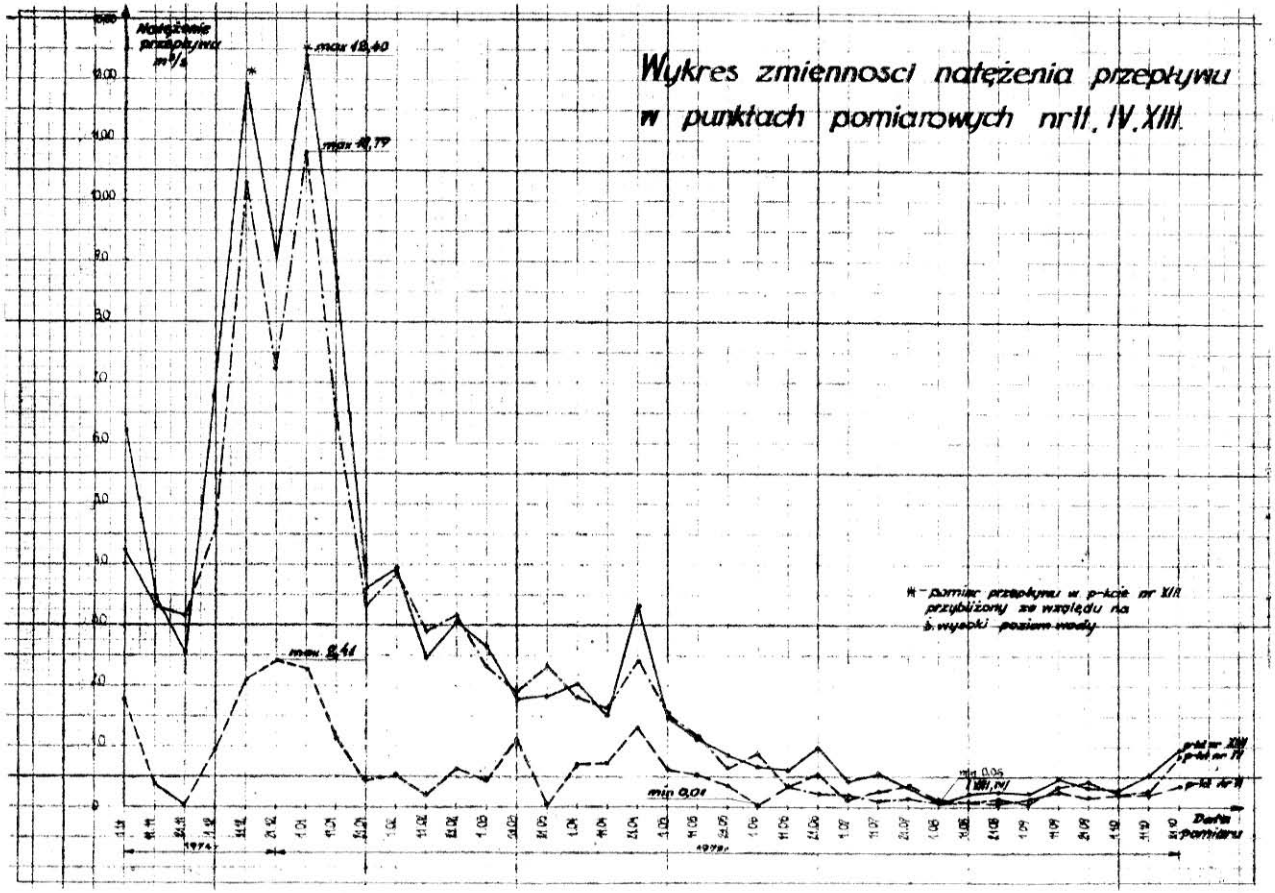
Rys. 4. Kanał Młyński — punkt pomiarowy nr II.



Rys. 5. Wykres zmienności poziomu wody w punktach pomiarowych nr II, III, IV



Rys. 6. Wykres zmienności natężenia przepływu w punktach pomiarowych nr II, IV i XIII



Rys. 7. Wykres zmienności temperatury wody powierzchniowej w punktach nr II, IV i XIII

2.3. Warunki klimatyczne

Klimat rejonu Lubska charakteryzuje się krótką zimą, wczesną i wilgotną wiosną, ciepłym latem i stosunkowo wysoką średnią roczną temperaturą powietrza (18,4°C). Średnie miesięczne temperatury powietrza wynoszą dla stycznia —0,9°C, a dla lipca +18,4°C.

Pierwsze przymrozki zdarzają się około 20 października a ostatnie około 20 kwietnia.

Średnia roczna wysokość opadu w latach 1881—1930 dla zlewni Lubszy wynosiła 640 mm. Wysokość rocznego opadu dla stacji Pleśno w latach 1970-71 wynosiła odpowiednio:

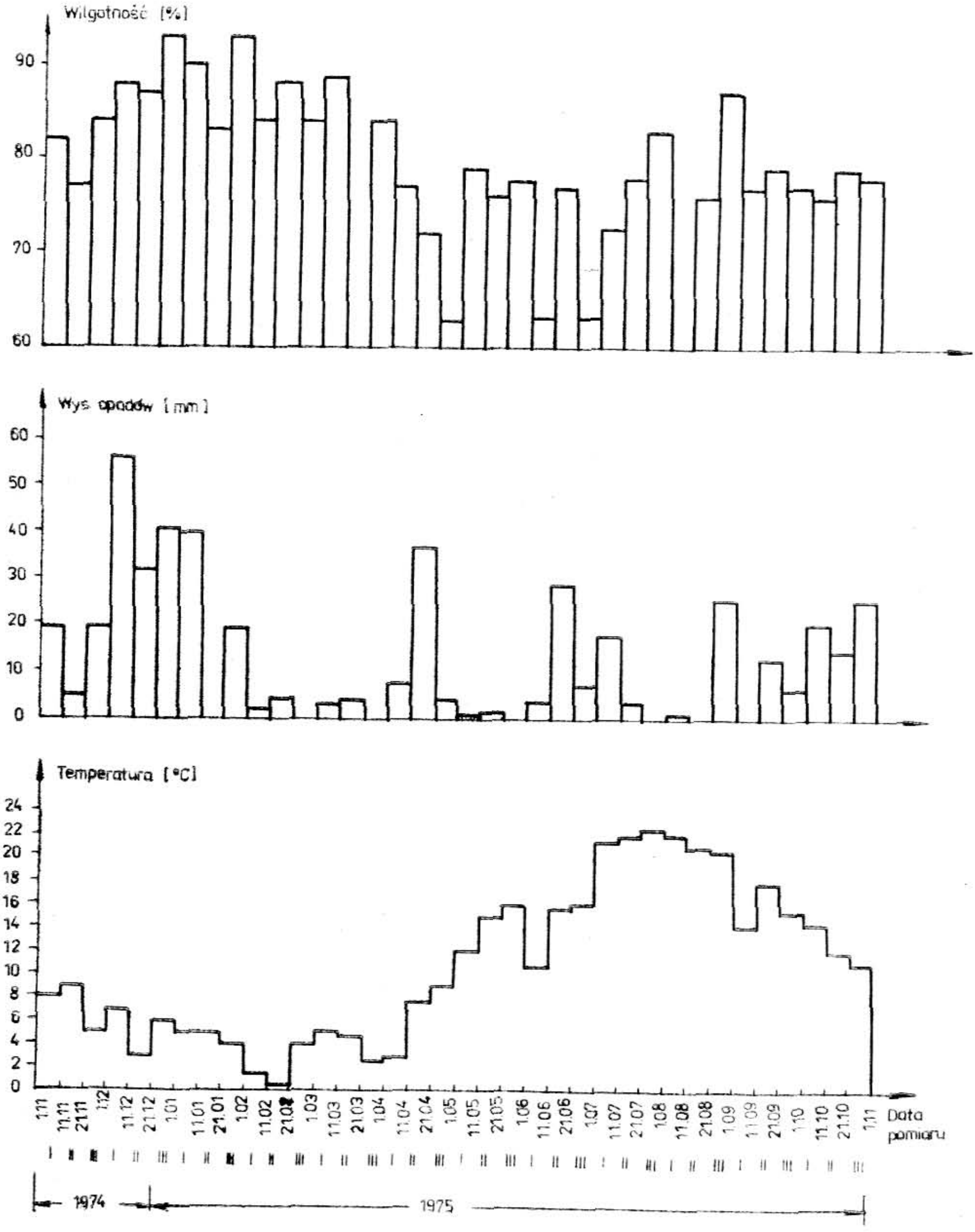
1970	— zima	271,9 mm	1971	— zima	296,6 mm
	— lato	324,9 mm		— lato	350,2 mm
	Rok:	596,8 mm		Rok:	613,8 mm

Tabela 1

ZESTAWIENIE CHARAKTERYSTYCZNYCH STANÓW WODY W RZECE LUBSZY W LATACH 1966-1972 WG DANYCH Z POSTERUNKU PLEŚNO

Rok	1971			
Srednia wartość w roku /SW/	Zima 134 cm	Rok 125 cm		Lato 118 cm
Ekstremum roku	WW 196 cm 16. III.	NW 112 cm 21-23. 29, IV	WW 288 cm 5-6. VII	NW 82 cm 22-23. VIII
Rok	1972			
	Zima 123 cm	Rok b. d.		Lato brak danych
	WW 164 cm 14-15. XII	NW 94 cm	WW-b.d.	NW-b.d.
Okres	1966-1970			
Srednia wartość w okresie /SSW/	Zima 142 cm	Rok 126 cm		Lato 111 cm
Ekstrum okresu	NNW 296 cm 24. III. 1970	NNN 92 cm 1, 2. I. 1970	WWW 262 cm 15. IX. 67	NNW 94 cm VII-VIII 1968 VII 1970
Ekstrum obserwacji	WWW 296 cm 24. III. 1970	NNW 74 cm 21-23. III. 1964	WWW 288 cm 5-6. VII. 1971	NNW 72 cm 12.VI.-10.X.1972

b.d. brak danych — zerwana łata wodowskazowa



Rys. 8. Wykres zmienności temperatury i wilgotności powietrza oraz wysokości opadów dla miasta Lubska w latach 1974-1975

Wyniki wykonanych w okresie 1974/75 pomiarów temperatury i wilgotności powietrza oraz wysokości opadów na terenie m. Lubsko przedstawiono na rys. 8.

3. Budowa geologiczna i warunki geologiczno-inżynierskie

Osady starszego podłoża geologicznego występują na znacznej głębokości (poniżej 200 m) i nie mają bezpośredniego wpływu na stosunki wodne, sposób posadowienia oraz na zachowanie się obiektów budowlanych na terenie miasta Lubsko.

W strefie przypowierzchniowej występują ilaste osady górnego profilu litostratygraficznego trzeciorzędu w postaci tzw. serii poznańskiej oraz różnorodne pod względem litologicznym i genetycznym osady czwartorzędowe. Poniżej przedstawiono charakterystykę osadów występujących na terenie Lubska w strefie przypowierzchniowej.

T r z e c i o r z ę d reprezentowany jest przez:

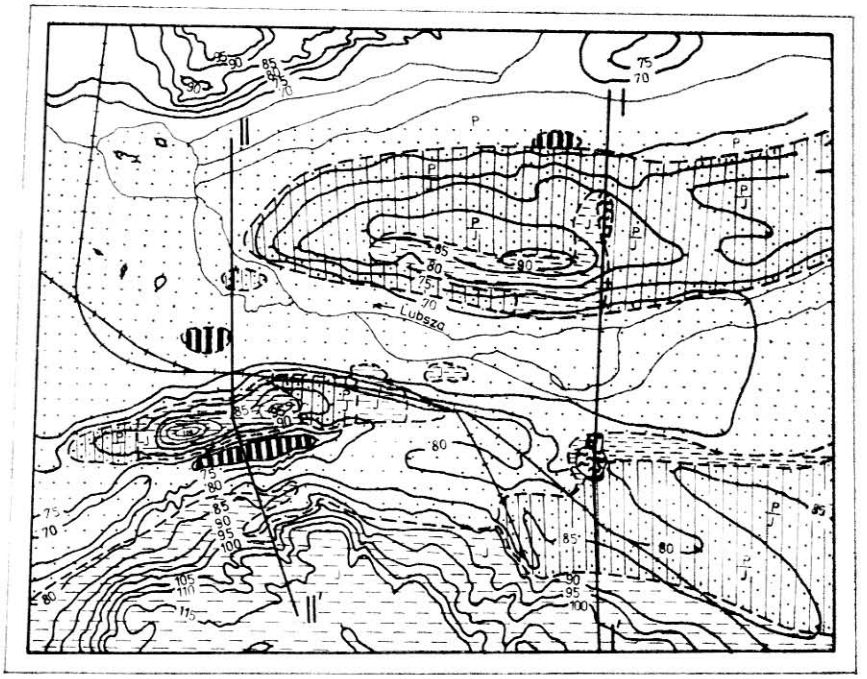
— poziom iłów i mułków zielonych, zielono-niebieskich z przewarstwieniami pyłów i piasków pylastych, rozprzestrzenionych głównie na obszarze niższego poziomu wysoczyznowego (80—90 m npm.) i w dnie doliny Lubszy pod niewielkim nadkładem piaszczysto-żwirowych osadów akumulacji rzecznej (rys. 9). Miąższość tych osadów wynosi około 40 m (są one dobrze odsłonięte w kopalni cegielni Mierków),

— poziom iłów i mułków płomienistych, z przewarstwieniami żwirów i piasków kwarcowych a niekiedy z przerostami i soczewkami glin kaolinowych. Osady te budują wyższe poziomy wysoczyznowe (120—125 m npm.). Stwierdzono ich występowanie na całym obszarze złoża „kaflarnia" i wielu innych miejscach na terenie Lubska.

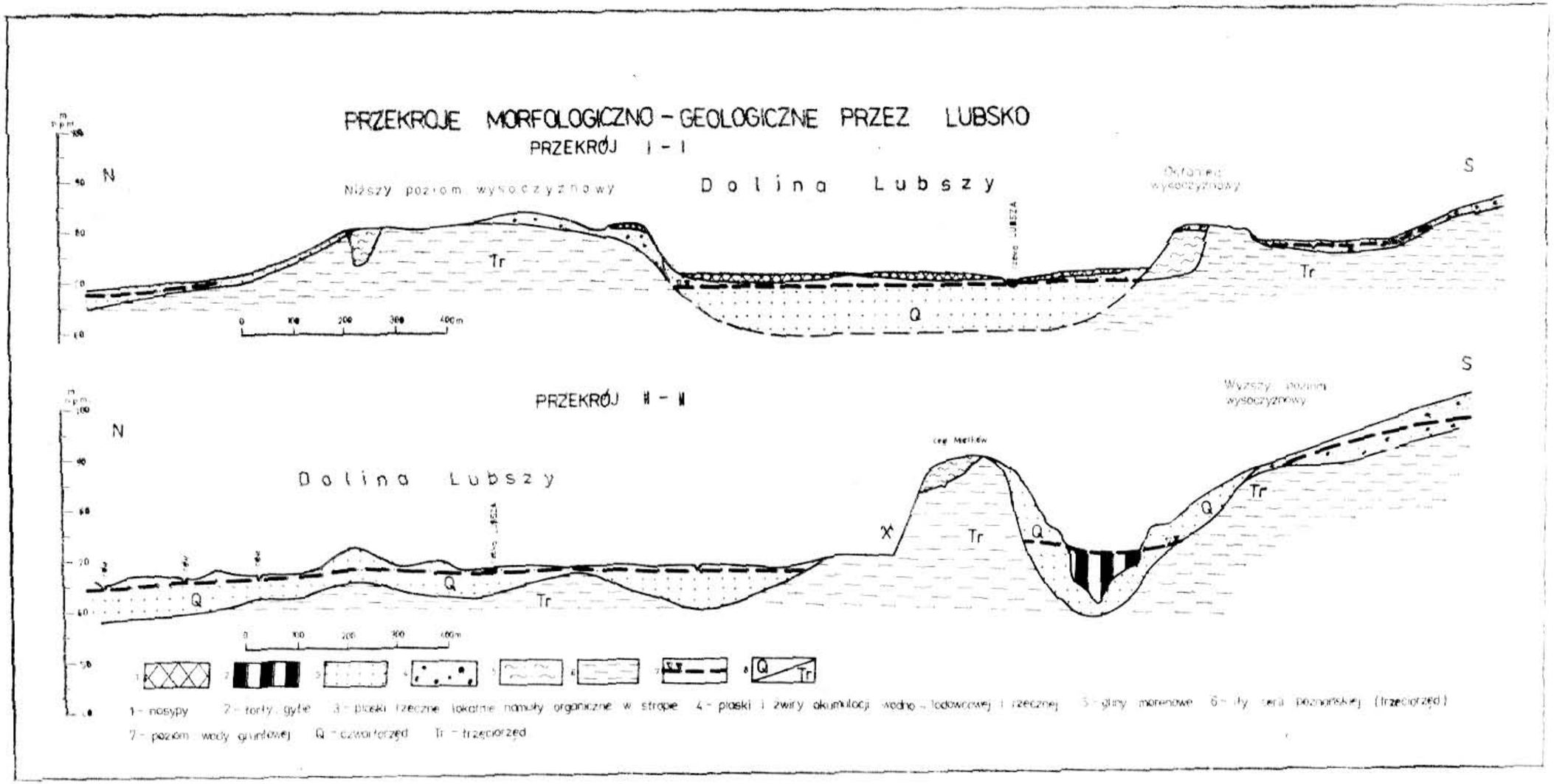
Na znacznej części powierzchni obszarów wysoczyznowych ilaste osady trzeciorzędowe zalegają pod niewielką pokrywą osadów piaszczysto-żwirowych wodnolodowcowych o miąższości 0,3—3,0 m (rys. 9, 10). Powierzchnia stropu trzeciorzędu wykazuje w rejonie Lubska duże deniwelacje (50—125 m npm). Największe obniżenie tej powierzchni stwierdzono w dolinie Lubszy, gdzie obniżenia osiągają 45 m npm. W obrębie poziomów wysoczyznowych występują kopalne bezodpływowe nieckowato wydłużone doliny wypełnione osadami wodnolodowcowymi lub też holoceńskimi piaskami humusowymi, gytiami i torfami. Na obszarach poziomów wysoczyznowych ilaste osady trzeciorzędowe stanowią bardzo często bezpośrednie podłoże budowlane. Pod wzblędem geotechnicznym trzeciorzędowe osady ilaste kwalifikowane są jako iły, iły pylaste, gliny ciężkie, gliny piaszczyste, gliny. Pod względem mineralogicznym prze-

wagę mają kompleksy illitowo-montmorylonitowe z domieszką kaolinitu i hydromik.

Uogólniając wyniki badań laboratoryjnych zawarte w archiwalnych



Rys. 9. Powierzchniowa mapa geologiczna Lubska



Rys. 10. Przekroje morfologiczno-geologiczne przez Lubsko

dokumentacjach geologiczno-inżynierskich można wyróżnić następujące własności spoistych osadów serii poznańskiej dla obszaru miasta Lubska:
— zawartość frakcji iłowej 70—90%,
— wysokie granice płynności, plastyczności i skurczliwości,
— wskaźniki pęcznienia w granicach od 7 do 22,
— duże zróżnicowanie spójności (C = 0,5 do 2,15 kG/cm²).

Tabela 2

ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WSKAŹNIKA PĘCZNIENIA I GRANICY SKURCZLIWOŚCI DLA PRÓB GRUNTÓW SPOISTYCH TRZECIORZĘDOWYCH POBRANYCH W LUBSKU

Lp	Nr wiercenia	Głęb. pobrania próby w m ppt	Rodzaj gruntu	Wskaźnik pęcznienia % %	Wilgotność pęcznienia % %	Granica skurczliwości
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3,9—4,0	I	10,97	35,56	14,86
2	4	3,4—4,4	I	7,91	29,83	11,29
3	8	4,2—3,8	I+Cb	6,90	33,23	—
4	12	3,6—3,8	I+Cb	10,43	69,97	20,00
5	15	4,0—4,2	I	7,38	46,66	—

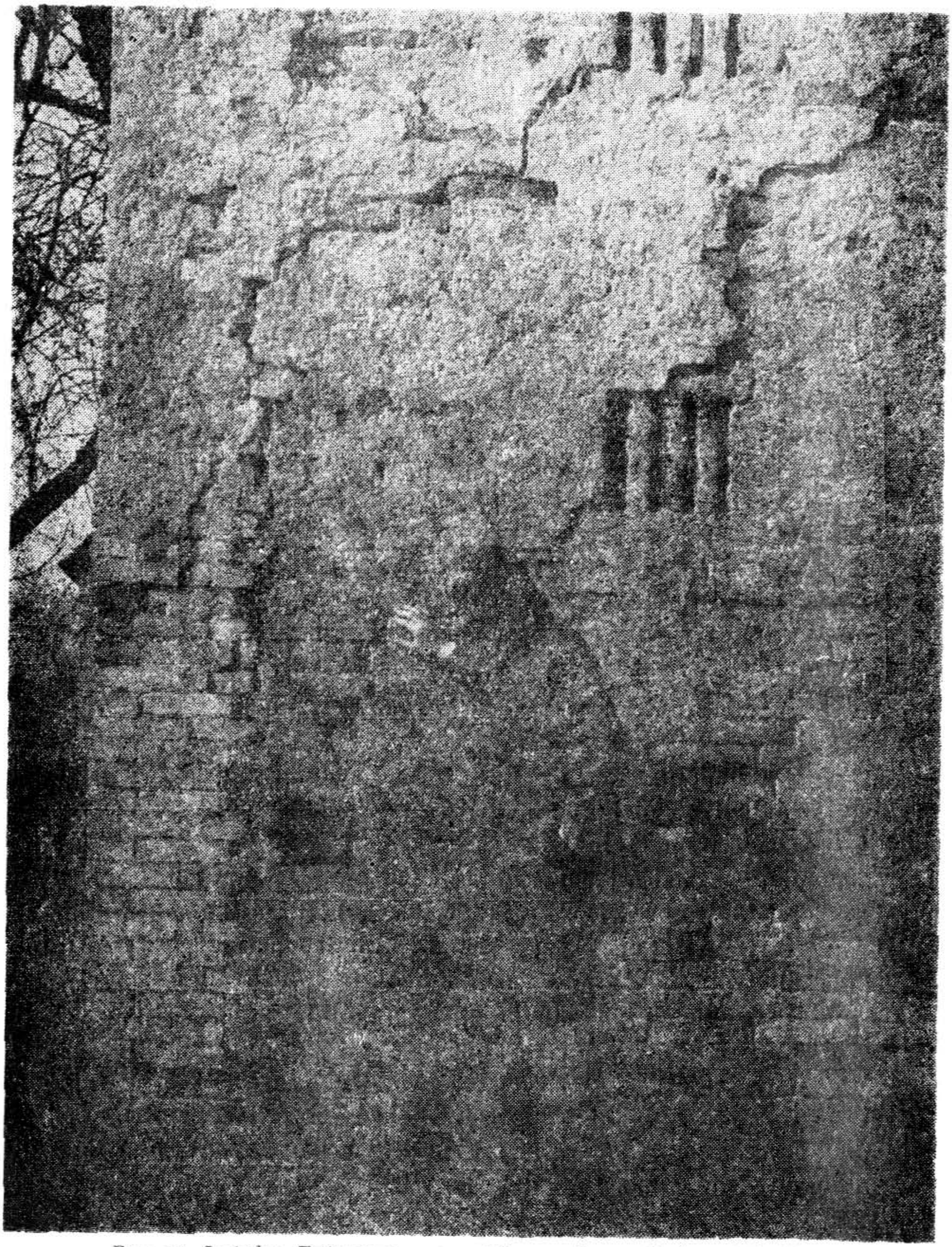
Badania wykonane zostały przez Zakład Mechaniki Gruntów Politechniki Poznańskiej

Zestawienie badań wskaźnika pęcznienia i granicy skurczliwości przedstawiono w tabeli 2. Wyniki badań dotyczą prób gruntu pobranych na Osiedlu XX-lecia (rys. 11a).

Podsumowując charakterystykę cech geotechnicznych spoistych gruntów trzeciorzędowych stwierdzić należy, że posiadają one korzystne parametry wytrzymałościowe w stanie naturalnym lecz należą do gruntów bardzo wrażliwych na zmianę warunków klimatycznych (sezonowe zawilgocenia i sezonowe przesuszenia), szczególnie zaś wrażliwe są na zmianę stosunków wodnych w podłożu. Występowanie w stropie serii poznańskiej warstwy osadów wodnolodowcowych piaszczystych lub piaszczysto-żwirowych oraz bezodpływowych zagłębień wypełnionych osadami piaszczysto-żwirowymi stwarza możliwość częstych zmian stosunków wodnych w podłożu.

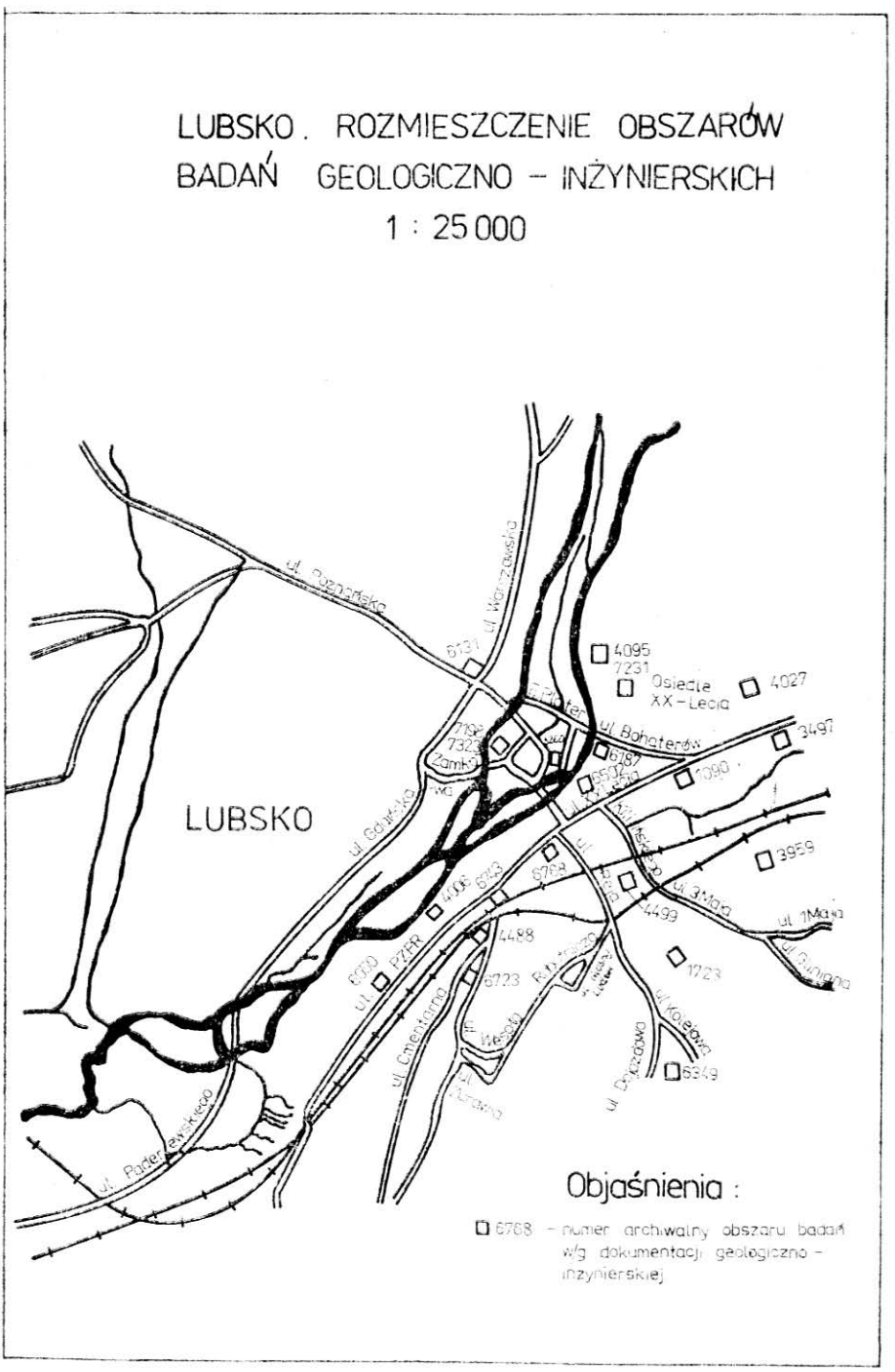
Czwartorzęd na terenie Lubska reprezentowany jest przez:
— osady wodnolodowcowe piaszczysto-żwirowe i lodowcowe wykształcone jako gliny morenowe plejstocenu,
— osady rzeczne, organiczne i nasypowe holocenu.

Osady lodowcowe — gliny morenowe i piaski gliniaste stwierdzone zostały fragmentarycznie w kilku wierceniach i w odkrywce cegielni



Rys. 11. Lubsko. Zniszczony w wyniku ruchu podłoża gruntowego budynek gospodarczy

„Mierków" (rys. 10). Osady wodnolodowcowe piaszczyste i piaszczysto-żwirowe mają na terenie Lubska znaczne powierzchniowe rozprzestrzenienie. W strefach wysoczyznowych ich miąższość jest niewielka i ma-



Rys. 11a Lubsko. Rozmieszczenie obszaru badań geologiczno-inżynierskich

ksymalnie osiąga 2—3 m tworząc pokrywy nad iłami poznańskimi. W granicach doliny Lubszy ich miąższość jest znaczna i może osiągnąć 20 m.

Osady piaszczysto-żwirowe stanowią dobre podłoże budowlane o korzystnych parametrach geotechnicznych. W warunkach miasta Lubsko, gdzie miąższość osadów piaszczysto-żwirowych jest ograniczona a podłoże stanowią nieprzepuszczalne osady serii poznańskiej, w okresie intensywnych opadów, roztopów i wysokich stanów wód powierzchniowych zmieniają się warunki hydrogeologiczne, wywierające wpływ na zmiany cech fizyczno-mechanicznych ilastego podłoża. Przejawia się to pionowymi ruchami powierzchni ziemi, wywołanymi pęcznieniem lub kruszeniem się ilastego podłoża trzeciorzędowego i jego oddziaływaniem na warstwy wyżej leżące oraz na fundamenty obiektów budowlanych (rys. 11). Wyniki badań laboratoryjnych dla poszczególnych rodzajów gruntów zestawiono na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskich w tabeli nr 3. Rozmieszczenie obszarów badań geologiczno-inżynierskich uwzględnionych w tab. 3 przedstawia rys. 11a.

4. Stosunki hydrogeologiczne

Wśród ilastej serii poznańskiej zalegają soczewki i przewarstwienia piaszczysto-żwirowe, zawierające wody podziemne o charakterze subartezyjskim lub o zwierciadle swobodnym. Wody te są odizolowane od powierzchni terenu i innych poziomów wód podziemnych. Pod względem fizyko-chemicznym wody podziemne trzeciorzędowych poziomów wykazują z reguły własności silnie agresywne w stosunku do betonów. Wody te nie posiadają większego praktycznego znaczenia dla projektowania posadowienia obiektów budowlanych i ich eksploatacji. Wody podziemne w utworach czwartorzędowych charakteryzują się dużym rozprzestrzenieniem powierzchniowym. Ich występowanie uzależnione jest od warunków geomorfologiicznych i budowy geologicznej. W granicach miasta Lubsko wydziela się następujące typy czwartorzędowych zbiorników wód podziemnych:

4.1. Wody podziemne doliny Lubszy

Wody te występują w osadach piaszczysto-żwirowych wodnolodowcowych plejstocenu i piaszczystych osadach rzecznych holocenu wypełniających kopalne obniżenie powierzchni trzeciorzędowej. Miąższość warstwy wodnonośnej w dolinie Lubszy waha się w granicach od 2 do 25 m i maleje ku peryferiom doliny. Jest to jedyny podstawowy poziom użytkowy wód podziemnych czwartorzędowych na terenie miasta Lubska.

Tabela 3

ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH GRUNTÓW NA PODSTAWIE DOKUMENTACJI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Nr otworu	Głębokość pobrania	Rodzaj opakowania Sk — skrzynka St — słoik C — cylinder	Badania makroskopowe: rodzaj gruntu i barwa	zawartość $CaCO_3$ %	wilgotność	ilość wałeczków	stan gruntu	Analiza uziarnienia — zawartość frakcji %/%: mm	2,0	0,05	0,002	% straty wagowe przy ż — wyrażaniu u — utlenianiu	Konsystencja: wilgotność natur. lub % Wn	ciężar objętościowy g/cm³	wilgotność Wn %/%	plastyczność Lp	płynność Ly	Ścinanie: stopień plastyczności Sp	metoda ścinania	ilość wałeczkowań	spójność (kohezja) kg/cm²	kąt tarcia wewnętrznego	Inne: lokalizacja nr archiw. opracowania
								żwirowa	piaskowa	pyłowa	iłowa												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1		C	namuł organ.	1	b.w	maże się	m.pl.					2=3,77	**34,3**	1,78 1,79							0,20		ul. Lubelska — 4499
1	4,1	St	w.c. szary	1	m.w	0×0	**p.zw.**						**23,9**		23,9	27,7	84,2	**0**					
1	5,3—5,5	C	ił szaro-brązowy	1	W	1×1	tw.pl.						**22,7**		22,7	22,0	91,9	**0,01**					ul. Poznańska — Warszawska Szpital Powiatowy — 6131
1	9,6	St	ił polny	1	m.w	ØØ	zwarty						**16,5**										
2	2,5	St	ił polny	1	W	2×2	tw.pl.						**28,9**		28,9	26,4	76,6	**0,05**					
2	3,6—3,8	C	wkładki węgla	1	W	5×5	tw.pl.						**39,9**	1,79	39,9	32,4	93,5	**0,12**		5×5	0,4	4°	
2	5,2	St	ił polny	1	W	5×5	tw.pl.						**34,4**		34,4	25,6	101,5	**0,10**					
3	3,9—4,1	C	ił polny	1	W	3×3	tw.pl.						**27,0**	1,95	27,0	23,9	95,0	**0,04**		3×3	0,75	9°30″	
3	7,1—3,7	C	Cpc+z	1	W	3×3	tw.pl.						**15,1**	2,17	15,1	11,6	28,4	**0,21**		3×3	0,30	9°	
7	1,8	St	ił polny	1	W	4×4	tw.pl.						**27,3**		27,3	22,7	62,7	**0,12**					
11	2,4	C	ił polny	1	W	4×4	tw.pl.						**26,7**	1,95						4×4	0,60	2°	ul. XX-lecia Szpital Powiatowy — 3497
13	2,5	St	glina piaszcz. ciężka	1	W	6×6	plast.						**22,3**		22,3	15,4	52,9	**0,39**					
13	4,0	St	glina piaszcz. ciężka	1	W	2×2	tw.pl.		50	33	17		**22,0**		22,0	18,0	34,8	**0,24**					
14	3,4	St	glina ciężka niebieska	1	W	1×2			43	39	18		**21,3**		21,3	19,1	35,3	**0,14**					
15	2,9	St	ił niebiesko-szary	1	W	2×2	tw.pl.						**32,1**		32,1	29,9	99,6	**0,03**					
4	1,3	St	glina piaszcz.	1	W	6×7	m.pl.					U=2,03 Z=4,49	**31,0**		31,0	21,0	42,2	**0,47**					
5	1,5	St	glina piaszcz.	1	W	5×5	m.pl.					U=2,17 Z=4,45	**29,5**		29,5	20,1	38,3	**0,52**					ul. Traugutta baza MPGK — 4095
6	4,2	St	ił szary	1	W	2×2	tw.pl.						**39,4**		39,4	33,9	92,2	**0,09**					
8	4,0	St	ił szaro-niebieski	1	W	2×2	tw.pl.						**30,6**		31,8	28,0	99,4	**0,05**					
9	6,0	St	glina piaszcz. c.szara	1	W	3×3	tw.pl.	9	59	22	15	U=3,93 Z=6,62	**17,7**		17,7	14,0	26,4	**0,23**					
1	3,8	St	ił szary	1	W	4×4	tw.pl.		15	27	58		**30,3**		30,3	24,5	76,4	**0,14**					
2	2,5	St	ił szary	1	W	2×3×3	tw.pl.						**26,4**		26,4	22,5	83,2	**0,06**					
3	2,4	St	ił pstry	1	W	3×3	tw.pl.						**27,8**		27,8	24,5	79,7	**0,06**					
4	2,5	St	ił pstry	1	W	4×4×3	tw.pl.						**34,2**		32,8	27,0	81,0	**0,11**					
11	2,0	St	ił pstry	1	W	5×5	tw.pl.		1	11	33		**40,7**		40,7	32,9	112,2	**0,10**					ul. Kilińskiego bazy PZGS — 3959
7	1,8	St	ił pstry	1	W	4×4	tw.pl.		7	13	80		**39,8**		39,8	32,7	100,3	**0,09**					
14	2,0—2,2	St	ił jasno-żółty	1	W	3×3×3	tw.pl.		1	14	85		**41,4**		41,4	37,2	104,6	**0,08**		2×3×3			
16	2,2	St	ił jasno-szaro-żółty	1	W	4×3×3	tw.pl.		6	12	82		**34,8**		34,8	29,3	101,6	**0,08**					
1	4,8		ił pstry tr	1	W	4×4	tw.pl.		8	9	83		**38,5**		38,5	33,0	116,3	**0,07**					

przybliżona

c.d. tabeli 3

1	2	3		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2,6—2,8		ił/glinę ciężką Tr	1	W	2×3×3	tw.pl.		20	43	37		23,9	1,97	23,9	18,5	51,2	0,16		2×3×3	0,70	7°	ul. Cmentarna
18			ił/glinę ciężką Tr	1	W	1×2	tw.pl.		4	32	62		25,4	2,03 1,93		23.5	87,2	0,03			0,58	5°	Przedszkole ZPW — 4488
2 5	2,50 3,50		ił pylasty ił z domieszką żwiru	1—3 1	W W	2×2 5×5	tw.pl. tw.pl.	6,31	2 29,7	48 32,5	50 31,5		39,65 25,60		39,65 25,60	27,24 20,92	80,20 53,20	0,23 0,14	przybliżona				Osiedle XX-lecia — 4027
1	1,80		piasek pylasty jasno-żółty		na-																		
2	2,20		szary glina piaszcz. rdzaw.	1	wod.		tw.pl.		86,8	13,2					31,5	29,0		0,69					Baza PBR-lu — 1723
4	1,20		nieb.-szara glina ciężka rdzaw.		mo-kry	7/7	m.pl.		72	17	11		31,0										Lecznica Weterynaryjna — 1090
			szaro-żółta	2—3	m.wg	5×6	tw.pl.		30	48	27		24,1										Baza PPRB — 6768

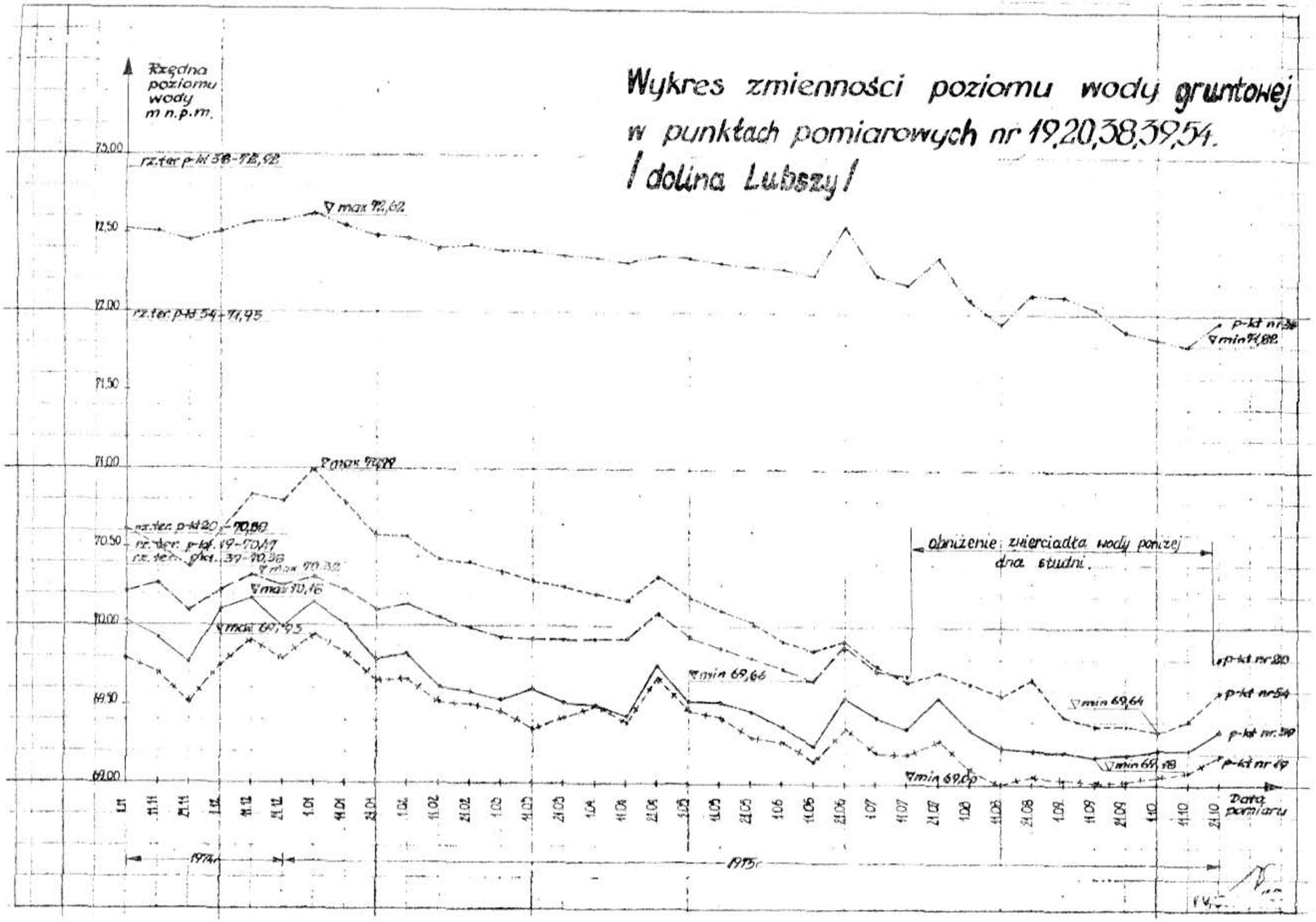
Tabela 4

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYNIKÓW ANALIZ CHEMICZNYCH PRÓB WODY GRUNTOWEJ WG MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH

Lp.	Lokalizacja miejsca pobrania prób wody	Głębokość pobrania próby w m ppt	Data pobrania próby	Próbka po filtrowaniu									Kationy		Aniony						Ocena stopnia agresywności H_2O
				odczyn p.H	mval/l metyłowanie	zawartość CO_2 wolnego w mg/l	w mg/l CO_2 agresywny	CO_2 związany w mg/l	Tw całkowita $w^{o}n$	Tw węglanowa $w^{o}n$	Tw niewęglanowa $w^{o}n$	zawartość H_2S w mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	kwaśne węglany HCO_2 mg/l	SO_4^{--} mg/l	chlorki Cl mg/l	poz. po odparow. mg/l	poz. po praż. mg/l	strata praż. mg/l	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	ul. Głowackiego	0,5	12.04.68	7,2	3,2	22,0	17,6	70,4	25,0	9,0	16,0	n.w	132,8	32,1	195,2	180,0	49,6	860,0	596,0	246,0	słabo agresywna
2	ul. PZPR — LZWP	1,60	17.10.60	7,2	3,2	13,2	n.w	70,4	21,0	9,0	12,0	n.w	134,8	9,1	195,2	221,0	156,0	828,0	667,0	161,0	nieagresyw. na beton
3	Os. XX-lecia otw. 4	1,28	30.01.70	6,8	—	—	4,4	—	—	—	—	—	104,2	62,4	—	457,5	—	684,0	—	—	słabo agresywna
4	ul. Popławskiego — Kopernika	2,6	25.05.71	7,0	2,6	35,6	6,6	57,2	13,0	7,3	5,7	n.w	62,8	5,6	158,6	59,3	35,5	434,0	325,0	109,0	słabo agresywna
		2,8	5.06.71	6,9	4,4	52,8	2,2	96,8	15,5	12,3	3,3	n.w	71,2	10,1	268,4	102,5	46,2	614,0	454,0	160,0	słabo agresywna
5	Baza PBR-m ul. Głowackiego	1,5	13.08.66	6,5	1,9	39,6	26,4	41,8	18,4	5,32	13,08	n.w	85,6	25,64	115,9	208,8	14,18	533,0	317,0	236,0	silnie agresywna
6	ul. Głowackiego	2,6	13.08.66	6,7	—	57,2	43,8	—	—	4,76	—	—	—	17,0	—	120,0	—	—	508,0	—	silnie agresywna
7	ul. Kolejowa — Kanał od odpr. ścieków	2,2	25.03.71	6,2	1,2	52,8	6,6	26,4	15,5	3,4	10,1	n.w	617,9	15,2	73,2	172,8	24,8	697,0	—	189,0	słabo agresywna bet.
8	ul. Lubelska — hydrofor	3,1	23.09.70	6,4	2,2	39,6	17,6	48,4	14,0	6,2	7,8	n.w	55,6	26,0	34,2	213,5	70,9	1560,0	1428,0	132,0	słabo agresywna
9	ul. Kolejowa — Zajezdnia	2,0	23.04.68	6,0	0,6	88,0	4,4	13,2	17,0	1,7	45,3	n.w	213,4	74,4	36,6	112,0	42,6	1345,0	1111,0	234,0	kwas i s.w silnie agresywna
10	Hotel Robotniczy ul. E. Plater	1,0	27.03.68	7,0	—	193,6	0,0	—	—	43,68	—	—	—	26,9	—	72,0	—	—	—	—	nieagresyw. silnie agresywna
11	Rozb. sieci kanal.	1,1	12.1970	6,4	—	105,6	61,2	—	—	7,56	—	—	—	19,1	—	180,0	—	—	—	—	słabo agresyw
12	Rozb. sieci kanal.	2,1	12.1970	7,0	—	114,4	0,0	—	—	28,0	—	—	—	52,9	—	390,0	—	—	—	—	silnie agresywna
13	ul. XX-lecia Szpital Pow. Proj.	1,2	27.03.69	5,8	0,3	17,6	46,2	6,6	11,0	0,8	10,2	n.w	59,9	3,3	18,3	104,0	63,8	879,0	296,0	83,0	silnie agresywna
14	ul. Traugutta — bazy MPGK	0,4	14.01.70	6,6	4,6	8,8	33,0	101,2	63,0	12,9	50,1	ślady	307,4	86,3	280,6	241,8	163,1	1852,0	1504,0	348,0	słabo agresywna
15	ul. Traugutta — bazy MPGK	1,8	9.01.70	7,2	13,8	110,0	n.w	413,0	66,0	52,6	13,4	n.w	301,0	79,9	1146,6	114,4	78,0	1402,0	1046,0	356,0	silnie agresywna
16	ul. Kilińskiego — baza PZGS	1,62	14.09.69	5,8	0,4	35,2	39,6	8,8	8,5	1,1	7,4	n.w	32,1	13,0	24,4	96,2	17,7	613,0	473,0	140,0	silnie agresywna
17	ul. PZPR — oczyszczalnia	1,3	24.09.70	5,8	0,5	22,0	15,4	11,0	11,5	1,4	10,1	n.w	59,9	15,6	30,5	201,0	14,2	475,0	433,0	42,0	silnie agresywna
18	ul. Chopina	0,9	17.10.58	5,8	—	132,5	98,3	12,3	10,0	1,7	8,3	n.w	77,0	16,3	—	156,0	—	—	—	—	silnie agresywna
19	Dom Kultury	2,6	24.10.58	6,2	—	39,0	24,9	57,5	11,7	7,8	3,9	n.w	100,0	12,6	—	90,0	—	—	—	—	silnie agresywna
20	Składostacja CPN	5,0	24.10.58	6,5	—	30,8	27,7	—	2,8	—	—	—	—	10,8	—	26,0	—	—	—	—	silnie agresywna na bet.

c.d. tabeli 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
21	p-kt weteryna-ryjna ul. XX-lecia	1,7	15—22.03.58	6,6	—	61,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80,0	30,5	—	—	—	silnie agresywna
22	p-kt weteryna-ryjna ul. XX-lecia	1,09	15—22.03.58	6,5	—	39,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65,0	29,1	—	—	—	silnie agresywna
23	Stacja Obsł. Sam. ul. PZPR	3,3	1.02.74	7,2	2,4	8,8	n.w	52,8	14,0	6,7	7,3	n.w	112,8	1,4	—	124,3	49,7	614,0	512,0	102,0	nie wykazuje wł. agresyw.
24	ul. Nowotki 27	3,1	4.12.74	6,8	10,5	110,0	n.w	231,0	42,0	29,4	12,6	n.w	244,0	26,6	—	364,4	92,3	—	—	—	słabo agresywna
25	ul. Nowotki 9/7	1,6	4.12.74	6,8	10,6	79,2	n.w	233,2	44,0	29,7	14,3	n.w	257,0	4,9	—	300,0	71,0	1641,0	1498,0	143,0	słabo agresywna
26	ul. Reja 16	2,3	4.12.74	7,0	10,0	25,2	n.w	220,0	23,0	28,0	1,79	n.w	133,8	14,8	—	107,0	92,3	—	—	—	słabo agresywna
27	ul. Reja 10	1,1	4.12.74	7,2	11,6	57,2	13,2	255,2	34,9	32,5	1,5	n.w	157,54	14,8	—	99,9	120,0	995,0	596,0	299,0	nieagresyw. słabo
28	ul. Reja z prz. Lubicy	rzeka	4.12.74	7,2	6,4	17,6	n.w	140,8	21,0	17,9	3,10	n.w	78,7	14,8	—	130,0	177,5	353,0	241,0	112,0	agresywna nie wykazuje wł. agresyw.
29	ul. XX-lecia Os. Mieszk.		23.12.75	6,5	2,2		8,8		14,1	6,2			73,5		—	317,0	49,7	—	—	—	słabo agresywna
30	Baza PGKiM ul. Głowackiego	1,5	15.07.75	6,0	0,8	35,2	4,4	17,6	19,0	2,2	16,8	n.w	95,0	38,7	—	194,0	92,3	—	—	—	silnie agresywna
31	Baza PGKiM ul. Głowackiego	2,5	24.07.75	7,0	5,0	44,0	n.w	110,0	63,0	14,0	49,0	n.w	372,2	44,4	—	852,0	23,1	1648,0	1338,0	310,0	silnie agresywna
	ul. Głowackiego	2,0	1970	6,6	—	—	26,4	—	—	7,84	—	—	147,4	120,7	—	370,2	—	—	—	—	silnie agresywna
33	Cegielnia magazyn	1,0	1970	7,2	—	—	44,0	—	—	8,96	—	—	115,4	123,0	—	154,6	—	—	—	—	silnie agresywna
34	Dzierżyńskiego 36	3,1	21.01.76	7,0	4,0	26,4	4,4	88,0	27,0	11,2	11,8	n.w	166,2	15,6	—	216,0	85,2	750,0	698,0	58,0	słabo agresywna
35	Pl. Wolności 17	3,9	13.01.76	7,0	5,8	48,4	4,4	127,6	24,0	16,2	7,8	n.w	126,7	52,0	—	133,3	142,0	834,0	673,0	161,0	słabo agresywna
36	ul. Reja 5	2,7	21.01.76	7,0	1,0	26,4	4,4	22,0	13,0	2,8	10,2	n.w	95,0	10,4	—	124,7	85,2	108,0	92,0	16,0	słabo agresywna
37	ul. Bohaterów LO	1,5	31.07.74	7,2	7,4	22,0	4,4	162,8	50,0	20,7	29,3	n.w	320,3	92,2	—	550,0	106,5	1534,0	1151,0	383,0	wł. silnie agresywna
38	ul. XX-lecia PRL	2,7	7.02.75	6,4	3,2	39,6	n.w	70,4	25,0	9,0	16,0	n.w	128,4	18,6	—	189,7	127,8	839,0	650,0	189,0	wł. słabo agresywna
39	ul. Dojazdowa — Kolejowa	3,0	29.09.74	7,0	7,2	22,0	n.w	158,4	26,5	20,2	6,3	n.w	228,0	34,9	—	277,4	177,5	791,0	602,0	189,0	słabo agresywna
40	ul. Dojazdowa — Baza PSS	3,5	15.09.75	6,8	4,2	44,0	n.w	92,4	35,0	11,8	23,2	n.w	198,0	27,8	—	443,2	120,7	179,0	101,0	78,0	słabo agresywna
41	ul. Dzierżyńskiego 39	2,6	23.12.75	7,4	4,0	17,6	n.w	88,0	12,0	11,2	0,8	n.w	146,0	10,2	—	171,2	92,3	916,0	860,0	53,0	nie wykaz. wł. agresyw.
42	ul. Traugutta OSM	1,7	6.01.76	6,4	1,4	18,8	13,2	30,8	21,0	3,9	17,1	n.w	436,1	41,6	—	266,7	71,0	330,0	272,0	38,0	słabo agresywna
43	ul. Traugutta OSM	rzeki	6.01.76	7,2	1,4	13,2	11,0	30,8	12,0	3,9	8,1	n.w	97,2	10,4	—	141,6	56,3	130,0	98,0	32,0	słabo agresywna
44	Osiedle XX-lecia	1,28	30.01.70	6,8	—	—	4,4	—	—	—	—	—	104,2	62,4	—	457,45	—	684,0	—	—	słabo agresywna
45	Osiedle XX-lecia	5,5	30.01.70	6,7	—	—	13,2	—	—	—	—	—	104,2	102,5	—	428,0	—	836,0	—	—	



Rys. 12. Wykres zmienności poziomu wody gruntowej w punktach pomiarowych nr 19, 20, 38, 39, 54 (doliny Lubszy)

Tabela 5

ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ STOPNIA AGRESYWNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH Z REJONU LUBSKA, WYKONANYCH W LATACH 1974—1975

Lp.	Miejsce poboru próby	Nr pkt. pom.	Rodzaj agresywności			
			kwasowa	siarczanowa	ługująca	węglanowa
1	Studnia, ul. Osiedle 11	54	+(2 pr)	—	+(1 pr)	+(6 pr)
2	Studnia, ul. 22 Lipca 7	47	+(1 pr)	+(4 pr)	—	+(1 pr)
3	Studnia, ul. Poznańska 29	6	—	+++(11 pr)	—	+(1 pr)
4	Rzeka Lubsza-Młynówka, ul. Farbiarska	II	—	—	+(6 pr)	+(6 pr)
5	Rzeka Lubsza — koryto właściwe, ul. Farbiarska	IV	—	—	+(5 pr)	+(4 pr)
6	Studnia, ul. Dzierżyńskiego 43	19	—	—	—	+(4 pr)
7	Rzeka Lubsza — pon. m. Lubsko	XIII	—	—	+(3 pr)	+(7 pr)
8	Studnia, ul. 3 Maja 3	100	+(8 pr)	—	++(9 pr)	++(11 pr)
9	Studnia, ul. Wiosny Ludów 12	65	+(5 pr)	+(8 pr)	+(9 pr)	+++(12 pr)
10	Studnia, ul. Warszawska 84	29	++(8 pr)	+(10 pr)	+(9 pr)	+(9 pr)
11	Studnia, PZPR 49	38	+(4 pr)	+(2 pr)	—	+(9 pr)

Współczynniki filtracji dla omawianego poziomu wg danych z dokumentacji geologiczno-inżynierskich, obliczone na podstawie wyników analizy granulometrycznej wahają się w granicach od 3 do 25 m/dobę. Duża rozpiętość wartości współczynników filtracji wynika z dużej zmienności litologicznej osadów budujących omawiany zbiornik.

Wody podziemne tego zbiornika zasilane są przez:

— wody z opadów atmosferycznych,
— wody powierzchniowe rzeki Lubszy i kanałów,
— wody podziemne spływające z obszarów wysoczyznowych.

Głębokość zalegania zwierciadła wody podziemnej doliny Lubszy uzależniona jest od ilości opadów atmosferycznych w całej zlewni i od stanów wody w Lubszy. Amplitudy wahań pionowych wód podziemnych

Tabela 6

ZESTAWIENIE WYBRANYCH PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH DLA REJONU M. LUBSKA NA PODSTAWIE DANYCH ZAWARTYCH W DOKUMENTACJACH GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

A. Obszar doliny Lubszy (Lubicy)

Lp.	Lokalizacja. Nr dokum. Adres	Data pomiaru	ustabilizowane zwierciadło wody		Przewidywane maksymalne stany zw. wody w m npm	Amplitudy wahań h max w m	Sr. „k" w m/d			Uwagi
			w m ppt	w m npm			wg wzoru USBSC			
							Pd	Ps	Pr; Pz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	7313	14.01.76	(5) 3,1	68,61	70,11	1,5				stw. stany niskie
2	ul. Dzierżyńskiego nr 4	13.01.76	(6) 3,4	67,73	69,23	1,5				
3	ul. Dzierżyńskiego nr 4	13.01.76	(7) 3,1	68,14	69,64	1,5		7,8		
4	ul. Dzierżyńskiego nr 4	13.01.76	(8) 3,1	68,61	70,11	1,5				
5	ul. Dzierżyńskiego nr 4	13.01.76	(9) 4,1	68,16	69,66	1,5	5,0	—		
6	ul. Dzierżyńskiego nr 4		(10) 1,9	70,40	71,90	1,5	3,1	—		
7	Pl. Wolności	12.01.76	(11—13) 3,4—3,9	68,88—67—84	70,33	1,5	—	10,0		
8	ul, Reja		2,6—2,8	68,20—68,61	69,70—70,11	1,5	6,0	—		
9	ul. XX-lecia	19.01.76	(19) 2,1	68,71	70,21	1,5		10,8		
10	ul. Nowotki	19.01.76	(20) 1,8	68,81	70,61	1,5		10,0		

c.d. tabeli 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	6187 ul. Bohaterów L. O,	3.07.74	1,2—1,5	69,3—69,7	69,9—70,3	1,19	14	17,33	—	stw. stany średn. k-wzorem Beyera
12	6502 ul. XX-lecia pawilon handl.	3.02.75	0,3—1,3	69,8—70,9	69,8—70,9	0,62	13,82	25,36	—	stw. stany wysoki hmax k wg Beyera
13	7198 ul. Dzierżyńskiego 39	23.11.75	2,6—2,7	68,51—67,20	70,00	1,5	—	—	28,0	k w zależności od d_{20}
14	6748	4.12.74	(1) 3,1	70,00			4,65			
15	ul, Nowotki nr 27, 9, 7, 3		(2) 3,0	69,35	70,00	1,5	5,50	14,3	14,0	stan wody uzn. za zbliżony do wysokich
16			(3) 1,5	68,95			—	—	—	
17			(4) 2,0	69,41			7,7			
18			(5) 2,5	69,66			—	—	—	
19	7231 ul. Traugutta CSM		0,2—1,8	68,88—70,13	67,28,83	0,7	—	33,6	26,0	stwierdzone stany uznano jako średnie
20	4006 ul. PZPR	16.10.69	1,8—2,1	69,5—69,86	70,8—71,16	1,3	6,6	8,12	—	stw. stan niski
21	6723 Walki Młodych 4	6.12.74	3,2—3,5	79,1—80,90	80,0—81,50	1,4	—	—	—	
22	3260 ul. Grunwaldzka	13.01.70	(4) 0,65	70,0	70,50	0,5	—	4,59	—	

cd. tabeli 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	4095 ul. Traugutta baza MPGK	9.01.70	(6) 1,30	70,0	70,60	0,6	5,0	5,80	19,5	stan średni
24	6050 ul. PZPR Stacja Obsł. Sam.	01.74	0,6—3,3	67,50—67,62	67,50—67,62	0,5	8,0		11,0	stw. stan wysoki
				B. Obszar wysoczyznowy						
1	6349 (Zajezdn. PKS) ul. Dojazdowa-kolejowa	21.09.74	2,0—7,0	98,58—101,66	102,16	0,5	1,95	—	46,7	wody w osadach Tr lokalnie o zw. napiętym
2	7125 ul. Głowackiego baza MPB	18.08.66	0,7—2,0	88,2—85,80	b.d.	b.d.	b.d.		b.d.	wahań pion. nie przewidyw.
3	7123 ul. Dojazdowa baza PSS	15.09.75	3,4—4,1	100,17—100,50	109,37—101,70	1,2	—	—	—	st. uzn. za średni
4	3497 ul. XX-lecia Szpital Pow.	21.04.69	0,6—1.3	82,66—77,56	77,56—82,66			6,5		uzn. stan za najwyższy
5	4027 Osiedle XX-lecia	1.03.70	1,2—1,7	82,70—85,4	83,8—86,9	1,47	3,5	—	—	stan stwierdzono bada-
6	1723 Baza SPRB		0,7—2,0	88,2—89,8	—	—	—	—	—	—

doliny Lubszy w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich oceniane były różnie i wahały się w granicach od 0,5 do 1,5 m. Przeprowadzone w roku hydrologicznym 1974-75 obserwacje wykazały, że dla obszaru doliny Lubszy najwyższe stany wód podziemnych występują w miesiącu styczniu i wynoszą 72,62 m npm. i 70,99 m npm. (0,3÷0,94 m p.p.t. — punkty obserwacyjne nr 38 i 54), a najniższe w miesiącu wrześniu i kształtowały się na poziomie 69,00 m npm. (1,2÷1,47 m p.p.t. w punktach pomiarowych 19 i 39).

Zmienność poziomu wód gruntowych w obszarze zbiornika hydrogeologicznego doliny Lubszy w wybranych punktach pomiarowych przedstawiono na wykresie (rys. 12) i w tabeli nr 6. Zmienność temperatury wody gruntowej w wybranych punktach pomiarowych ilustruje wykres (rys. 13). Przeprowadzona analiza wyników badań chemizmu wód podziemnych wykazała, że są to wody wykazujące silną lub słabą agresywność w stosunku do betonu. Próby z wodami nieagresywnymi występowały nadzwyczaj rzadko (tabele nr 4 i 5). Fakt ten został potwierdzony wynikami analiz wykonanych w latach 1974/75.

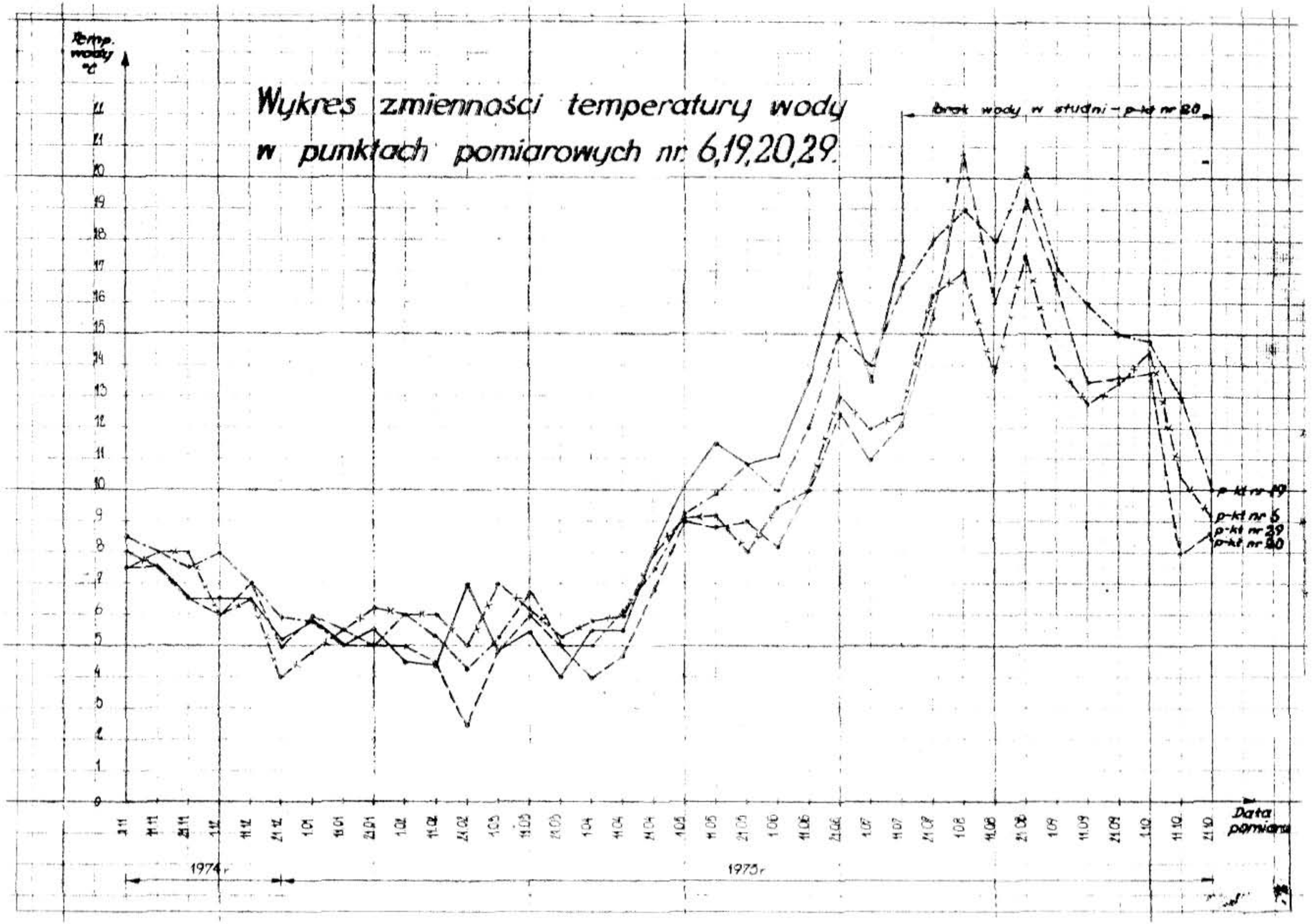
W oparciu o przeprowadzone studia materiałów źródłowych i własne wyniki badań wód podziemnych stwierdzono, że ich chemizm jest zmienny, a jednorazowe badania wykonywane dla potrzeb dokumentacji geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych nie mogą stanowić podstawy do wydania orzeczenia o jakości tych wód dla potrzeb projektowania i wykonawstwa budowlanego.

Zestawienie wybranych parametrów hydrogeologicznych wód podziemnych doliny Lubszy przedstawia tabela nr 6. Rozmieszczenie obszarów badań uwzględnionych w tab. 6 przedstawia rys. 11a.

4.2. Wody podziemne obszarów wysoczyznowych

Wody podziemne na obszarach wysoczyznowych występują w miejscach, gdzie w stropie spoistych osadów trzeciorzędowych zalegają osady piaszczyste lub piaszczysto-żwirowe czwartorzędu. Jeśli w stropie powierzchni trzeciorzędowej występują bezodpływowe zagłębienia wypełnione gruntami piaszczysto-żwirowymi, to będzie się w nich utrzymywała woda gruntowa stojąca zasilana wodami atmosferycznymi.

W innych przypadkach, gdzie strop ilastych osadów trzeciorzędowych stromo opada, wody gruntowe w osadach piaszczysto-żwirowych będą utrzymywały się okresowo w zależności od warunków atmosferycznych (rys. 14). Wody podziemne obszarów wysoczyznowych nie tworzą ciągłej warstwy wodonośnej, a ich występowanie uzależnione jest od ukształtowania stropu powierzchni podczwartorzędowej i rodzaju osadów przykrywających ten strop. Amplitudy wahań wód podziemnych wg danych

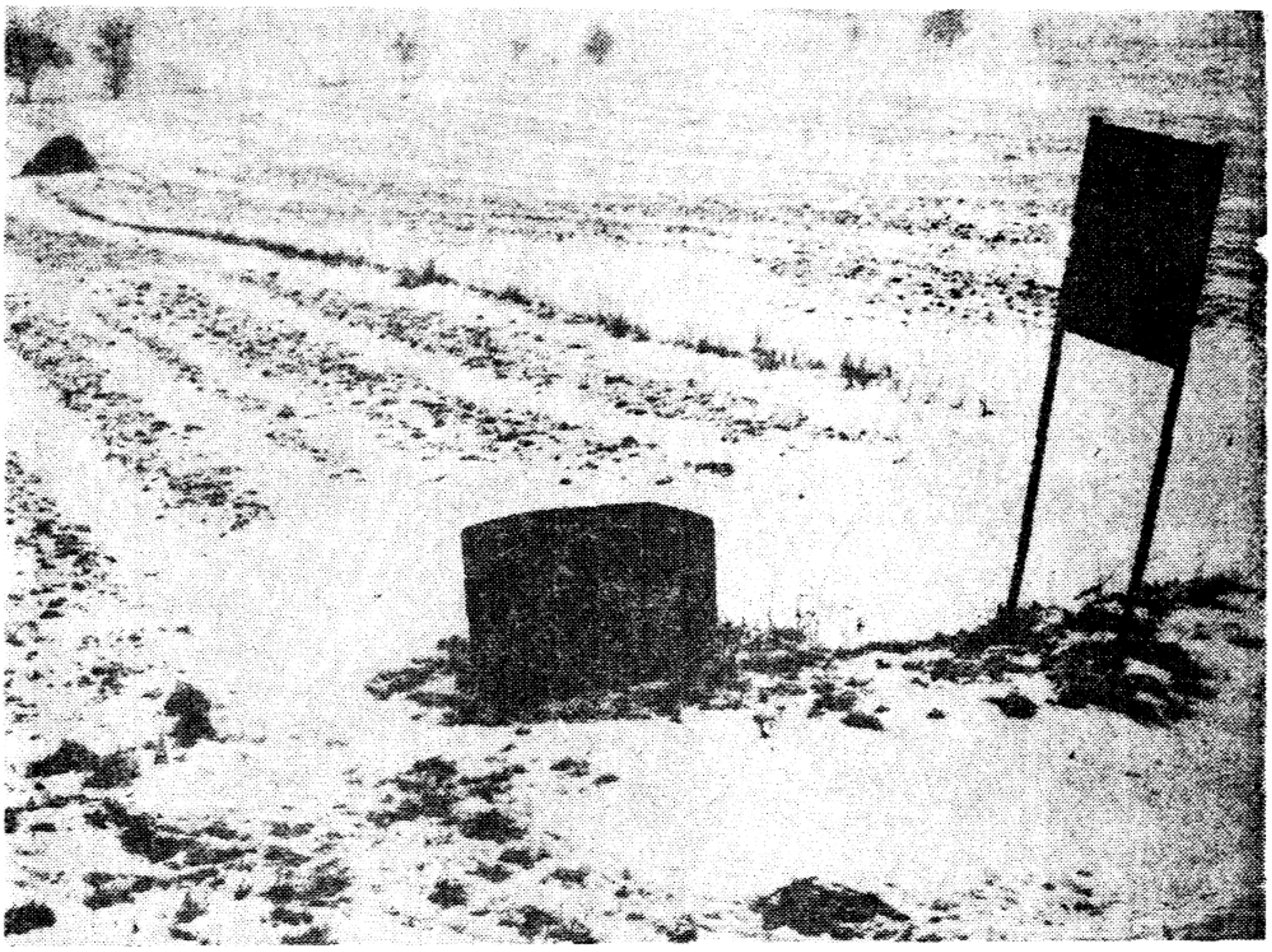


Rys. 12. Wykres zmienności temperatury wody w punktach pomiarowych nr 6, 19, 20 i 29

z pomiarów roku hydrologicznego 1974/75 wynoszą 1,15—1,35 m i 2,05—4,33 m dla punktów pomiarowych nr 6, 29, 65, 85 i 100.

Najniższe stany stwierdzono w miesiącu lipcu w punktach 6 i 29 oraz w miesiącu październiku w punktach nr 65, 85 i 100, a najwyższe w miesiącu grudniu we wszystkich rozpatrywanych wyżej punktach.

Chemizm wód podziemnych zbiorników wysoczyznowych wykazuje dużą zmienność. Najczęściej występują wody słabo agresywne lub agresywne o agresywności siarczanowej lub węglanowej (tabela 4). Przebieg wahań pionowych wód gruntowych obszarów wysoczyznowych (w wybranych punktach) w roku hydrologicznym 1974/75 przedstawiono na wykresie (rys. 15).

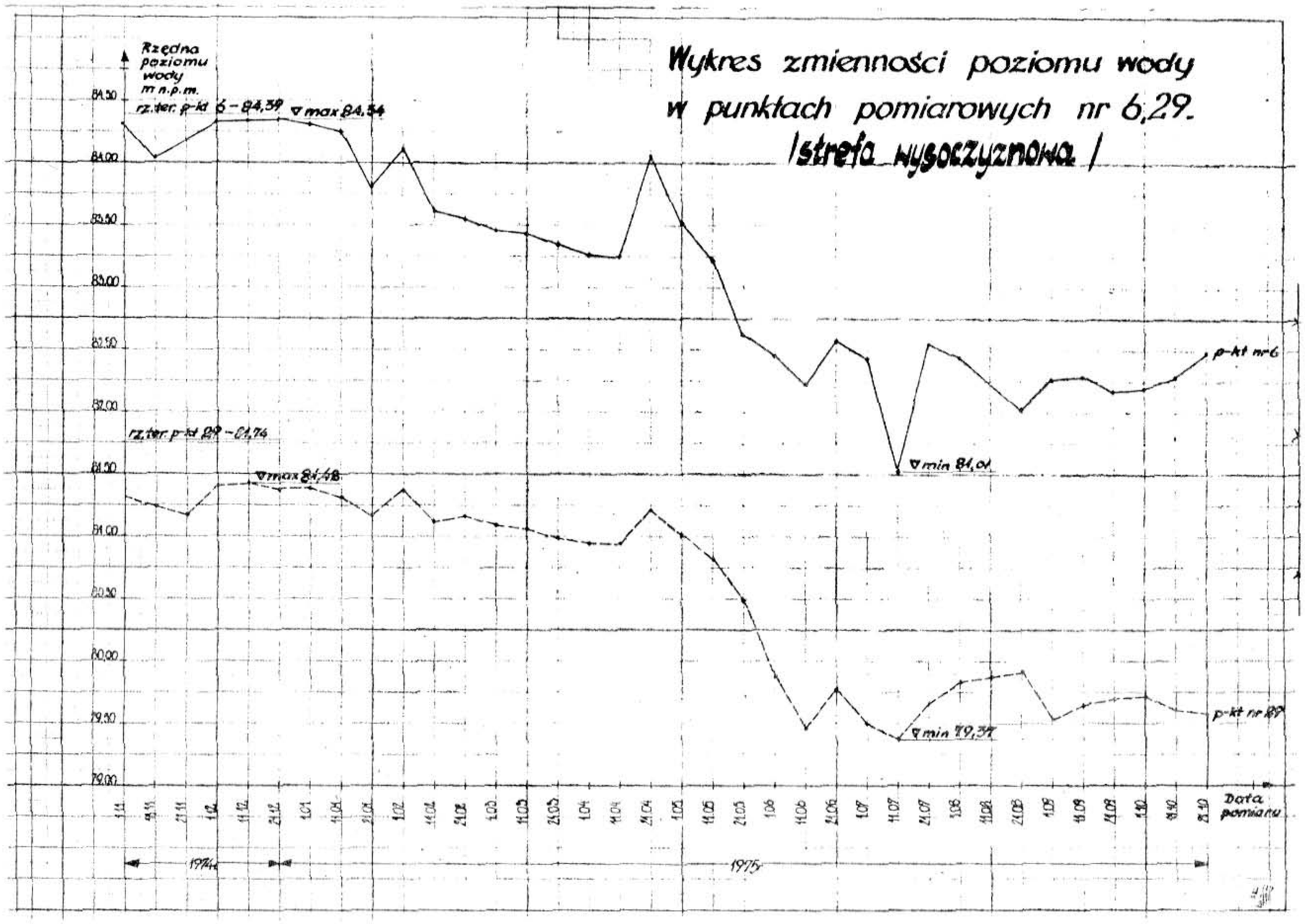


Rys. 14. Lubsko. Punkt pomiarowy nr 29 w strefie poziomu wysoczyznowego

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania studialne wytypowanych komponentów środowiska przyrodniczego w rejonie miasta Lubsko pozwoliły na:

— odtworzenie modelu budowy geologicznej i stosunków hydrogeologicznych,
— określenie reżimu wód powierzchniowych i podziemnych,



Rys. 15. Wykres zmienności poziomu wody w punktach pomiarowych nr 6, 29 (strefa wysoczyznowa)

— określenie zakresu zmian chemizmu wód powierzchniowych i podziemnych,
— określenie przyczyn i mechanizmu powstawania podtopień i szkód budowlanych.

Na model budowy geologicznej obszaru miasta Lubsko składają się
— kopalna, wypreparowana w ilastych osadach trzeciorzędowych dolina Lubszy, wypełniona osadami piaszczysto-żwirowymi wodnolodowcowymi plejstocenu, przykrytymi w stropie gruntami akumulacji rzecznej oraz osadami facji powodziowej (mady, piaski z humusem, pyły, namuły organiczne). Osady powyższe tworzą płaskodenną współczesną dolinę Lubszy.
— poziomy wysoczyznowe: niższy o rzędnych 80—90 m npm. i wyższy o rzędnych 120—125 m npm. Poziomy wysoczyznowe to formy ostańców denudacyjno-erozyjnych zbudowanych przede wszystkim z ilasto-pylastych osadów serii poznańskiej (Tr), przykryte mniej lub bardziej miąższą warstwą piaszczysto-żwirowych osadów wodnolodowcowych (Q). Miąższość osadów czwartorzędowych w sferach wysoczyznowych maleje ku wierzchowinie ostańców. Płaskie wierzchowiny ostańców wysoczyznowych z reguły pozbawione są piaszczystej pokrywy plejstocenu.

Wody powierzchniowe i podziemne wykazują sezonowe zmiany stanów zwierciadła wody, uwarunkowane zmianami klimatycznymi oraz zmiany własności parametrów fizyczno-chemicznych. Przeprowadzone badania wykazały, że na obszarach wysoczyznowych amplitudy wahań wód gruntowych wynoszą maksymalnie 4,33 m, a w strefie doliny Lubszy 1,5 m. Pod względem chemicznym wody powierzchniowe i podziemne wykazują agresywność w stosunku do betonu i zapraw wapiennych.

Stare miasto Lubsko usytuowane jest w dolinie Lubszy na gruntach akumulacji rzecznej tj. piaskach z przewarstwieniami glin pylastych, pyłów i namułów organicznych o miąższości do 3 m. Grunty te są podatne na nierównomierne osiadanie, które jest również wypadkową oddziaływania wahań wód gruntowych i powierzchniowych rzeki Lubszy. Ma to bezpośredni wpływ na stan obiektów budowlanych w przypadku rozwiązań fundamentów wrażliwych na nierównomierne osiadanie podłoża. Dzielnice miasta położone na ostańcach wysoczyznowych zbudowanych przede wszystkich ze spoistych osadów serii poznańskiej, narażone są na szkody budowlane wywołane zmiennością cech fizyczno-mechanicznych podłoża budowlanego. Przeprowadzone badania gruntów spoistych serii poznańskiej wykazały, że grunty te charakteryzują się wysokimi wskaźnikami pęcznienia (7—22%), wysokimi granicami płynności, plastyczności i skurczliwości oraz stosunkowo dużą spójnością (C = 0,5—2,15 kG/cm^2). Parametry wytrzymałościowe tych gruntów w stanie natural-

nej wilgotności są korzystne. Są one jednak bardzo wrażliwe na zmiany warunków wilgotnościowych. Szczególnie są wrażliwe na zmianę warunków wodnych w podłożu gruntowym. Występowanie na obszarach wysoczyznowych małomiąższej pokrywy osadów piaszczysto-żwirowych o dużych współczynnikach filtracji ($k \approx 0{,}005$ m/s) sprzyja powstawaniu okresowych lokalnych zbiorników wód podziemnych podczas roztopów i intensywnych opadów atmosferycznych. Te okresowe zmiany stosunków wodnych w stropowych partiach profilu geologicznego wywołują z kolei zmiany parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego, które bezpośrednio oddziaływuje na fundament. Jeżeli konstrukcja fundamentu obiektu budowlanego lub inżynierskiego nie uwgględnia możliwości pęcznienia i kurczenia się podłoża to obiekty te narażone są na powstawanie szkód budowlanych w postaci spękań o różnym nasileniu.

Dla zabezpieczenia istniejących, nowo wznoszonych i projektowanych obiektów budowlanych przed podtapianiem przyziemi i piwnic należy:

- uwzględniać amplitudy wahań pionowych wód powierzchniowych i podziemnych przy określaniu głębokości i sposobu posadawiania budynków,
- projektować i wykonywać odpowiednie zabezpieczenia fundamentów i przyziemi obiektów budowlanych, przed ich sezonowym podtapianiem i zawilgacaniem,
- przeprowadzić regulację stosunków wodnych w celu utrzymania stałego reżimu wód podziemnych i kontrolowanego reżimu wód powierzchniowych na obszarze starego miasta i zabudowy w obrębie doliny Lubszy,
- na obszarach wysoczyznowych w miejscach występowania lokalnych zbiorników wód gruntowych, wykonywać odpowiednie drenaże zabezpieczające np. opaskowe.

LITERATURA

[1] Bartkowski T.: *O granicy zlodowacenia bałtyckiego w okolicy Lubska (północna krawędź Wysoczyzny Zarskiej).* Sprawozdanie Pozn. Tow. Przyjaciół Nauk Nr 1 (Ogólny Zbiór nr 63). Poznań 1961.

[2] Lewicki Z., Mendaluk J. Przetocki M, Wróbel I.: *Zabezpieczenie istniejących i projektowanych obiektów budowlanych przed zawilgoceniami na tle warunków wodnych m. Lubsko Cz. I. Warunki gruntowo-wodne m. Lubsko i ich wpływ na podtapianie obiektów budowlanych.* Praca naukowo-badaw. Instytutu Budownictwa WSInż. w Zielonej Górze. Zielona Góra 1976 r.

[3] Wróbel I.: *Wahania pierwszego poziomu wód podziemnych na obszarze Wysoczyzny Zielonogórskiej i przyległych dolinach.* Zeszyty Nukowe W.S.Inż. Nr 27 Budownictwo. Zielona Góra 1974 r.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Ireneusz Wróbel

BADANIA STOSUNKÓW WODNYCH W REJONIE NARINTAJ-OBO WE WSCHODNIEJ MONGOLII

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały wyniki badań stosunków wodnych wykonanych w ramach Siódmej Grupy Międzynarodowej Ekspedycji Geologicznej w Mongolskiej Republice Ludowej. Badania prowadzone na obszarach przedgórza Chenteju w t.zw. Wielkim Łuku Kerulenu. Jest to strefa górskiego stepu suchego ze skąpymi opadami atmosferycznymi w postaci deszczu tylko w miesiącach letnich (czerwiec-lipiec). Ogólna suma opadów atmosferycznych wynosi około 200 mm w roku. W artykule dokonano podziału wód podziemnych na porowe i szczelinowe, wydzielając wodonośne i niewodonośne kompleksy litostratygraficzne. Oceniono na podstawie analiz chemizm wód podziemnych i powierzchniowych i dokonano oceny zasobów wodnych badanego regionu pod kątem możliwości ich wykorzystania dla celów gospodarczych. Największe znaczenie gospodarcze mają wody podziemne wodonośnych kompleksów czwartorzędowych — aluwialnego i aluwialno-proluwialnego (kompleks 1) i kompleksu proluwialno-deluwialnego (kompleks 2).

Wydzielenie kompleksów wodonośnych dokonano w oparciu o badania własne i materiały źródłowe. Synteza przeprowadzonych badań zestawiona została na wycinku mapy hydrogeologicznej stanowiącej rys. 1 niniejszego artykułu.

Zusammenfassung

Im Artikel wurden Ergebnisse den Untersuchungen der Wasserverhältnisse dargestellt, die im Rahmen der Siebten Internationaler Gruppe der Geologischen Expedition in MVR durchgeführt wurden.

Die Untersuchungen wurden auf dem Gebiet des Vorgebirge Chentej im sg Grossen Kerulen Bogen. Das ist die Zone der trokenen Berg-Wüste mit geizigen Fallen in Gestadt des Regens, nur im Sommer — Monaten (Juni, Juli). Die Gesamtsumme der atmosprierichen Fällen beträgt ca 200 mm im Jahr. Im Artikel wurde Teilung der Grundwasser auf Sand — und Spaltenwässer gemacht. Es wird hier der Wassertragene und Wassernichttragene Litostratographische Kompleks abgesondert.

Man beurteilt auf Grund der Chemie Analyse Untergrundwasser und Grundwasser und vollendet mon Schätzung des untersuchten Gebiets, mit besonderen Hinsicht aut Benutzung im Wirtschaft.

Die grosste Bedeutung für Wirtschaft haben Untergrundwässer der wassertragende viertragige Komplekse — der aluwial und Aluwial — proluwiale Kompleks (Kompleks — 1) und der proluwialaluwiale Kompleks (Kompleks 2).

Die Ausscheidungen der wassertragenden Komplekse vollendel man in Anlehnung an eigene Untersuchungs — ergebnisse und auf Grund der Mate-

Dr inż. Ireneusz Wróbel — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

rialen. Die Synthese der durchgeführten Untersuchungen wurde auf dem Ausschnitt der hydrologischen Karte zusammengestellt. Diese Karte bildet das Bild 1 des vorliegenden Artikels.

Wstęp

W roku 1978 autor był uczestnikiem Międzynarodowej Ekspedycji Geologicznej w Mongolskiej Republice Ludowej. W ramach tej Ekspedycji grupa polsko-mongolska prowadziła badania geologiczno-poszukiwawcze w Wielkim Łuku Kerulenu we wschodniej Mongolii (na zachód od centrum ajmacznego Undurchan). Program badań obejmował wykonanie kompleksowego zdjęcia geologicznego oraz przeprowadzenie prac poszukiwawczych dla wykrycia złóż cynku, ołowiu, złota, wolframu, fluoru.

Badania stosunków wodnych objęły:

— obserwacje meteorologiczne (temperatury dobowe, parowanie, wilgotność względna i opady);
— kartowanie hydrogeologiczne obszarów dolinnych w czasie którego prowadzono obserwacje i pomiary źródeł, studni, cieków i zbiorników wód powierzchniowych, a także pobierano próby wody do analizy hydrochemicznej;
— ustalenie warunków litostratygraficznych występowania wód podziemnych oraz kartowanie naturalnych odsłonięć ze szczególnym uwzględnieniem osadów czwartorzędowych.

Na obszarze objętym badaniami o powierzchni około 420 km² zlokalizowano i przebadano 21 — źródeł, 3 — studnie wiercone, 17 — studni płytkich (kopanych), 2 — nieduże jeziora i jeden strumyk stały.

Łącznie pobrano 50 prób wody do analizy chemicznej. Większe źródła opróbowano dwukrotnie: wiosną i jesienią, dla wyjaśnienia stałości składu chemicznego i zmienności wydajności źródła. Analizy fizyko-chemiczne prób wody wykonało Centralne Laboratorium Geologiczne w Ułan Bator.

Na podstawie budowy geologicznej badanego obszaru, litostrukturalnych własności poszczególnych formacji i uwzględnieniu wyników badań hydrogeologicznych przeprowadzonych wcześniej (Marinow, Popow — 1963; Kalimulin, Kozłowskaja — 1968) wydzielono 6 kompleksów wodonośnych.

1. Kompleks wodonośny czwartorzędowy, związany z osobami aluwialnymi i aluwialno-proluwialnymi wypełniający stare i współczesne doliny ($Q_{a,\ a-p}$)

Osady aluwialne i aluwialno-proluwialne o znacznej miąższości (do 50 m wg wierceń archiwalnych) wypełniają największe doliny badanego

obszaru: Geszegne, Nurentyjn-Dzun-Chunduj i Szeryjn-goł. Wodonośny kompleks osadów czwartorzędowych aluwialnych i aluwialno-proluwialnych tworzy jeden z największych zbiorników wód podziemnych i charakteryzuje się dobrą jakością wody. Pod względem litologicznym kompleks ten reprezentowany jest przez piaski drobno, średnio i gruboziarniste z przewarstwieniami i domieszką żwiru i otoczaków (galeczniki). Materiał ten jest z reguły słabo obtoczony. Wśród osadów piaszczysto-żwirowych występują przewarstwienia burych glin piaszczystych o miąższości 0,5—2,0 m. Ku peryferiom dolin miąższość kompleksu wyklinowuje się. Zwierciadło wody z reguły jest swobodne i zalega na głębokości od 2 do 7 m. Wydajność studni bazujących na tym kompleksie waha się w granicach od 1—2 l/s (tj. 3,6—7,2 m^3/h) przy depresji od 1 do 15 m. Są to wody słabo zmineralizowane o zawartości od 0,3 do 0,9 g/l suchej pozostałości (punkty na mapie 6, 19, 21, 32). Pod względem hydrochemicznym są to wody wodorowęglanowe (HCO_3^-) i wapniowo-magnezowe ($Ca^{+2} - Mg^{+2}$). Niekiedy wśród kationów przewagę mają jony potasowe (K^+).

Wyniki hydrochemicznych analiz prób wody dla wybranych reprezentatywnych punktów przedstawia się poniżej za pomocą skróconego zapisu wg wzoru M. G. Kurłowa:

Studnia nr 6 $$M_{0,42}\ \frac{HCO_3^{78} \cdot SO_4^{11} \cdot Cl^{10}}{(Na + K)^{39} \cdot Ca^{30} \cdot Mg^{25}}\ \cdot T^{3,5}$$

Studnia nr 19 $$M_{0,7}\ \frac{HCO_3^{70} \cdot SO_4^{18} \cdot Cl^{5}}{Ca^{46} \cdot Mg^{34} \cdot (Na + K)^{20}}\ \cdot T^{3}$$

Studnia nr 21 $$M_{0,44}\ \frac{HCO_3^{72} \cdot SO_4^{12} \cdot Cl^{7}}{Ca^{43}\,(Na + K)^{28} \cdot Mg^{27}}\ \cdot T^{4,5}$$

Wody podziemne omawianego kompleksu są słabozasadowe (pH = = 7,2—7,4) i tylko w punkcie nr 19 wystąpiły wody o odczynie słabo kwaśnym: pH = 6,6—6,2.

W suchej pozostałości analiza spektralna wykryła występowanie w niedużych ilościach następujących pierwiastków: Mn, Ti, Sr, Cz, Cu, Ni, Pb, Mo, Ag.

2. Wody podziemne czwartorzędowe w kompleksie osadów proluwialno-deluwialnymi (Q_{p-d})

Wody podziemne w osadach kompleksu proluwialno-deluwialnego występują lokalnie. Miąższość tych osadów jest niewielka i waha się w granicach 1—5 m. Do tego kompleksu zaliczono również wody podziemne

czwartorzędowe związane z innymi typami genetycznymi osadów. Przewagę mają tu osady proluwialno-deluwialne, które pokrywowo zalegają na połogich skłonach, a także wypełniają śródgórskie kotliny i nieduże śródgórskie doliny okresowych potoków. Pod względem litologicznym osady tego kompleksu reprezentowane są przez materiał detrytyczny słabo obtoczony (drobny żwir i żwir) oraz piaski zaglinione z domieszką materiału aleurytowego. W kompleksie tym występują także soczewki glin i przewarstwienia aleurytowe — lessopodobne. Zróżnicowanie litologiczne omawianych osadów jest znaczne. W związku z powyższym bardzo zmienna jest wodonośność omawianych osadów, a poziom zwierciadła wody podlega w ciągu roku dużym wahaniom — osiągając amplitudy 1,0—1,5 m.

Wody podziemne kompleksu deluwialno-proluwialnego zasilane są przede wszystkim przez infiltrację opadów atmosferycznych a także pośrednio:

— wodami szczelinowymi przede wszystkim triasowego i dewońskiego kompleksu, na obszarach hydraulicznych połączeń (np. punkt 7, 13, 18, 33, 35);

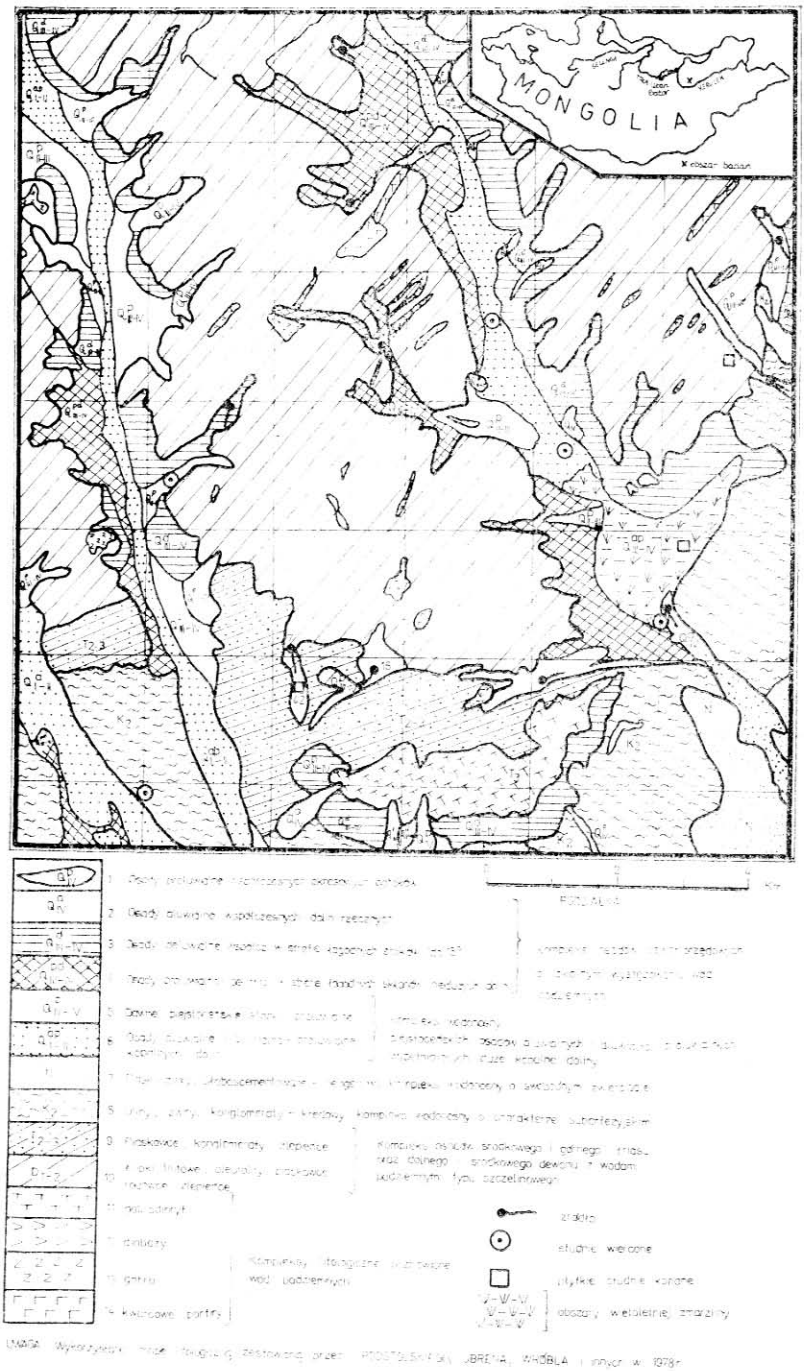
— wodami wieloletniej marzłoty, z topienia soczewek kopalnego lodu — np. źródła: Gedzegennyj-bułak, Narin-us; Ubur-bułak II i inne.

Wody podziemne omawianego kompleksu są eksploatowane za pomocą płytkich studni kopanych często bez obudowy (np. st. nr 23, 36, 42).

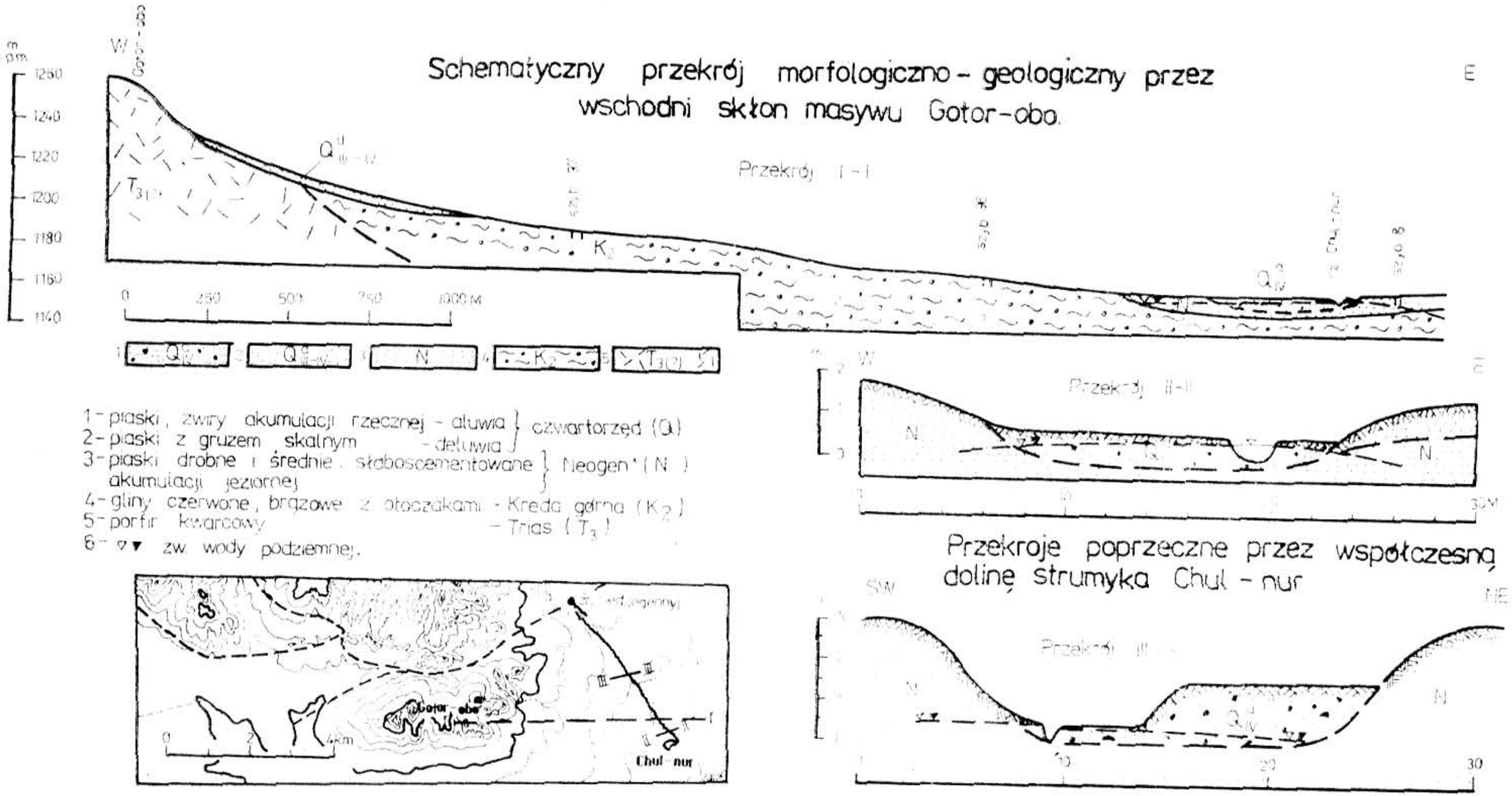
Wydajność źródeł waha się w granicach od 0,1 do 1,4 l/s. Wyjątkiem jest źródło Gedzegennyj-bułak, wypływające po południowej stronie obszaru wieloletniej marzliny, dla którego określona orientacyjnie wydajność wahała się w granicach 8—10 l/s. Ogólna mineralizacja dla wód podziemnych tego kompleksu wahała się w granicach od 0,28 do 0,98 g/l. Są to wody słabo zasadowe (pH = 7,1—8,2), typu wodorowęglanowo-wapniowego (HCO_3^-) ze zmienną ilością jonów wapnia (Ca^{++}), magnezu (Mg^{++}) i sodu (Na^+). Wyjątkiem pod względem jakości jest woda pochodząca ze studni o nazwie Dzabiłgyjn położonej na północ od źródła Gedzegennyj. Jest to woda bardzo mętna o ogólnej suchej pozostałości 5,06 g/l. Pod względem chemicznym wodę z omawianej studni zaliczyć należy do typu wodorowęglanowo-siarczanowego typu ($HCO_3^- — SO_4^{--}$), z dużą zawartością kationów sodu (Na^+) i magnezu (Mg^{++}). Przyczyny podwyższonej mineralizacji wody ze studni Dzabiłgyjn nie zostały wyjaśnione. Poniżej przedstawia się uproszczony zapis wyników analizy chemicznej dla wybranych punktów wód podziemnych kompleksu osadów proluwialno-deluwialnego:

źródło nr 27

$$M_{0,37}\ \frac{HCO_3^{59} \cdot SO_4^{29} \cdot Cl^{6}}{Mg^{52} \cdot Ca^{33} \cdot Na^{12}} \cdot T^{5}$$



Rys. 1. Wycinek mapy hydrologicznej



Rys. 2. Schematyczne przekroje morfologiczno-geologiczne przez wschodni skłon Gotor-obo i przez dolinę strumyka Chul-nur

źródło nr 28 $$M_{0,43}\ \frac{HCO_3^{58} \cdot SO_4^{21} \cdot Cl^{12}}{Ca^{41} \cdot Na^{31} \cdot Mg^{21}} \cdot T^{4,5}$$

studnia nr 42 $$M_{0,85}\ \frac{HCO_3^{72} \cdot SO_4^{23} \cdot Cl^{4}}{Mg^{53} \cdot Na^{27} \cdot Ca^{18}} \cdot T^{5}$$

Studnia Dzabilgyjn $$M_{5,06}\ \frac{HCO_3^{42} \cdot SO_4^{35} \cdot Cl^{11}}{Na^{56} \cdot Mg^{36} \cdot Ca^{5}} \cdot T^{9}$$

Należy zwrócić uwagę na stosunkowo niskie temperatury wód podziemnych kompleksu osadów proluwialno-deluwialnych, co związane jest z występowaniem wśród tych osadów pól wieloletniej marzliny z soczewkami martwego lodu.

3. Wody podziemne piaszczystych osadów neogenu (Ng)

Osady neogenu w rejonie objętym badaniami były stwierdzone na niedużych powierzchniach w rejonie jeziora Chul-nur oraz w południowo-zachodniej części obszaru badań. Osady neogenu reprezentowane są przez piaski średnio i gruboziarniste, żwiry oraz galeczniki (otoczaki), to jest osady bardzo porowate stanowiące dobry kolektor dla gromadzenia wód podziemnych.

Na obszarach występowania osadów neogenowych nie zarejestrowano źródeł ani studni w związku z czym nie zebrano danych dla dokonania charakterystyki hydrogeologicznej tego kompleksu. Biorąc jednak pod uwagę typ osadów neogenowych, obszar ich występowania należy traktować jako perspektywiczny dla występowania horyzontu wód podziemnych.

4. Wody podziemne górnej kredy (K_2)

Wodonośny kompleks osadów górnej kredy reprezentowany jest przez słaboscementowane piaski grubo i średnioziarniste, żwiry i galeczniki (pokłady otoczaków). Cement stanowi mieszaninę minerałów iłowych, które bardzo poważnie utrudniają przepływ wód podziemnych i ograniczają dopływ do studni. Litologiczny skład omawianego kompleksu został ustalony wykonanym w 1978 roku otworem badawczym nr 7/v. W profilu tego otworu stwierdzono:

0,0—15,2 m — gliny czerwono-brązowe, konglomeraty i aleurolity;
15,2—52,7 m — piaski i żwiry słaboscementowane, galeczniki z przewarstwieniami eleurytów i glin piaszczystych;
52,7 m — gliny, iłowce.

Kompleks górnokredowy wód podziemnych od powierzchni izolowany jest serią osadów spoistych o miąższości ponad 15 m w związku z tym zasilanie tych wód może zachodzić jedynie poprzez kondensację pary wodnej i w wyniku dopływu wód podziemnych z innych kompleksów wodonośnych. Wody tego kompleksu mają subartezyjski charakter. Wydajność źródła (nr punktu 25) występującego w strefie osadów górnokredowych wiosną 1978 r. wynosiła 1 l/s a jesienią tego roku źródło zanikło. Temperatura wody dla tego źródła wynosiła 12°C przy temperaturze powietrza 24°C a ogólna mineralizacja 1,499 g/l. Są to wody typu siarczanowego z podwyższoną zawartością kationów Na^+ i Mg^{++}. Ogólna charakterystyka chemiczna wód podziemnych kompleksu górnokredowego przedstawia się następująco:

$$M_{1.499}\ \frac{SO_4^{68} \cdot HCO_3^{21} \cdot Cl^7}{Na^{52} \cdot Mg^{41} \cdot Ca^6} \cdot T^{12}$$

Wody podziemne poziomu kredowego w rejonie prowadzonych badań nie były wykorzystywane dla celów pitnych i gospodarczych.

5. Wody podziemne szczelinowe w osadach triasowych (T_{2-3})

Osady środkowego i górnego triasu (T_{2-3}) w rejonie prowadzonych badań reprezentowane są przez kompleks skał osadowych spoistych (skalistych) tj. piaskowców grubo i średnioziarnistych, zlepieńców i konglomeratów z przewarstwieniami aleurolitów o miąższości do 0,5 m. Osady triasowego kompleksu wychodnie na powierzchni mają na skrzydłach tzw. cerchingolskiej muldy i ciągną się z południowego-zachodu na północny-wschód. Przyjmuje się, że maksymalna miąższość triasowych osadów występuje w centralnej części cerchingolskiej muldy i osiąga około 800 m. Osady te są intensywnie spękane. Na wychodniach obserwuje się szczeliny przebiegające w różnych kierunkach z tym, że przeważają szczeliny równoległe do warstwowania (diaklazy). Na kontaktach z kompleksem skał dewońskich obserwuje się dyslokacje nieciągłe i występowanie systemu szczelin typu paraklaz. Występujące w tym kompleksie skał źródła są typu descensyjnego a ich wydajność wahała się w granicach od 0,1 do 4,0 l/s. Wody podziemne kompleksu triasowego zasilane są na wychodniach przez infiltrację opadów atmosferycznych i częściowo w wyniku kondensacji wilgoci gruntowej. Występuje także intensywna więź hydrauliczna wód podziemnych omawianego horyzontu z wodami podziemnymi innych wodonośnych kompleksów geologicznych.

Wody podziemne kompleksu triasowego charakteryzują się dobrą jakością. Temperatura wody wahała się w czasie pomiarów od 2 do 7°C

przy temperaturze powietrza 10—22°C. Są to wody pod względem ogólnej mineralizacji słodkie (do 0,5 g/l suchej pozostałości) i o podwyższonej mineralizacji — akratopegi (od 0,5 do 1,0 g/l suchej pozostałości). Pod względem odczynu są to wody słabo zasadowe (pH = 7,2—8,2).

Pod względem chemicznym są to wody typu wodorowęglanowo-magnezowo-wapniowego. Skrócony zapis analizy chemicznej wód podziemnych kompleksu triasowego wg wzoru Kurłowa przedstawia się następująco:

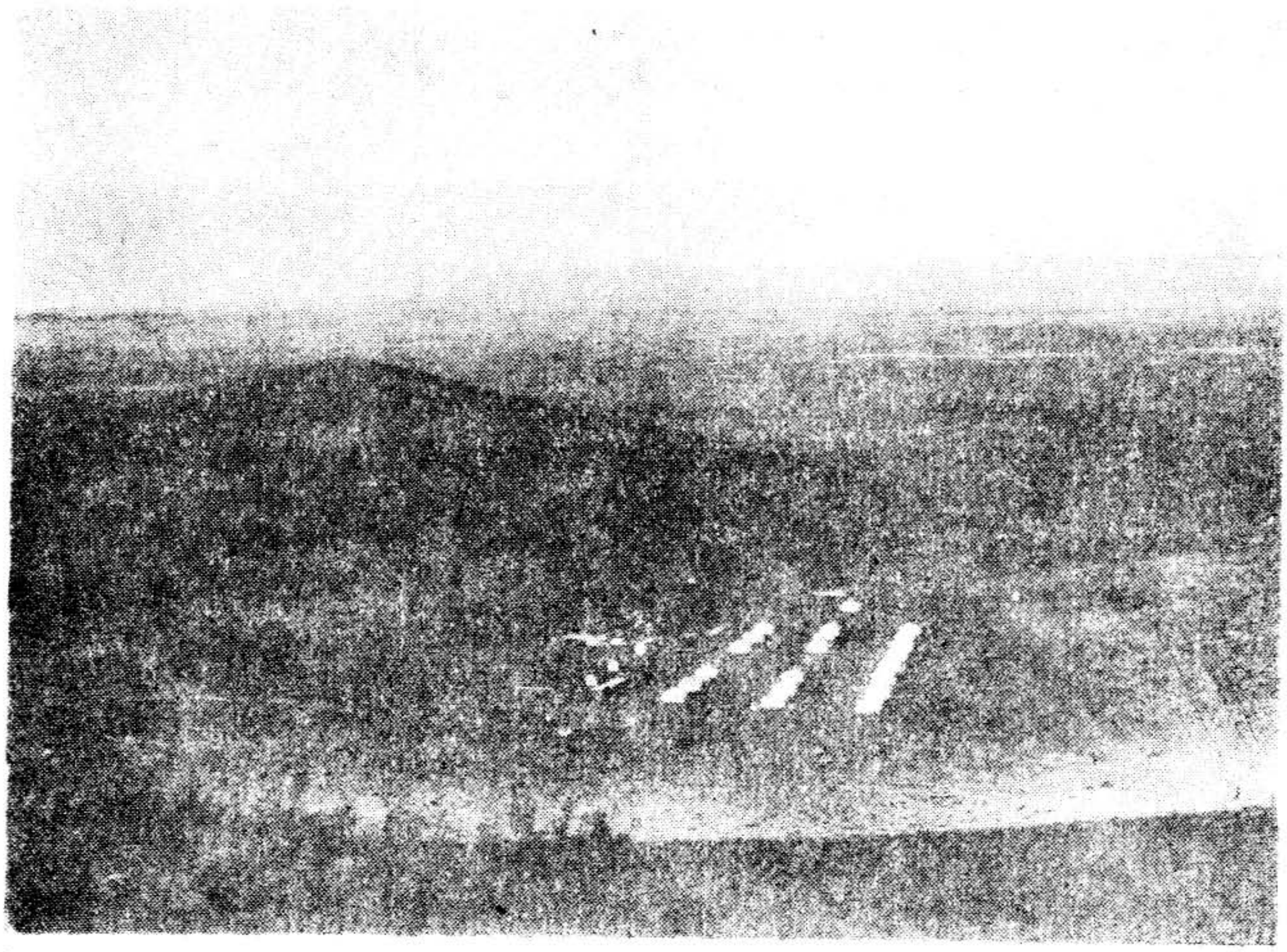
studnia nr 11 $$M_{0.62}\ \frac{HCO_3^{53} \cdot SO_4^{36} \cdot Cl^5}{Mg^{41} \cdot Ca^{37} \cdot Na^{21}} \cdot T^{4,5}$$

źródło nr 16 $$M_{0.71}\ \frac{HCO_3^{54} \cdot SO_4^{34} \cdot Cl^5}{Mg^{49} \cdot Ca^{27} \cdot Na^{24}} \cdot T^{4,5}$$

Poddana analizie spektralnej sucha pozostałość wykazała zawartość w niedużych ilościach następujących mikroelementów: Mn, Ti, Sz, Cu, Ni, Zr.

6. Wody podziemne szczelinowe kompleksu skał osadowych i piroklastycznych dewonu dolnego i środkowego ($D_{1-(2?)}$)

Wodonośny kompleks dewonu ($D_{1-(2?)}$) ma największe rozprzestrzenienie na badanym obszarze. Osady omawianego kompleksu reprezentowane są przez łupki, łupki okrzemionkowane, aleurolity, piaskowce, aleurolito-piaskowce, zlepieńce i konglomeraty. Cyrkulacja wód podziemnych dokonywana jest dzięki występowaniu w tym kompleksie licznych szczelin. Występują tu szczeliny różnego typu i charakteru. Są to przede wszystkim szczeliny typu tektonicznego — diaklazy i paraklazy. Wypływ wód na powierzchnię bardzo często związany jest ze strefami uskoków (rozłamów). Wodonośność omawianego kompleksu jest słaba. Wydajność źródeł waha się w granicach od 0,01 do 3,5 l/s z tym, że niektóre źródła charakteryzują się zmienną wydajnością w ciągu sezonu w granicach od 0,1 do 1,5 l/s. Wszystkie przebadane źródła były typu desensyjnego. Zasilanie wód podziemnych omawianego kompleksu odbywa się poprzez infiltrację opadów atmosferycznych i częściowo poprzez kondensację wilgoci atmosferycznej w skale. Badane obszary charakteryzują się bardzo słabym pokryciem szaty roślinnej lub jej zupełnym brakiem (rys. 3, 4). Temperatura wody mierzona w źródłach wahała się od 2 do 12°C. Pod względem ogólnej mineralizacji są to wody słodkie lub o podwyższonej mineralizacji (0,3—0,7 g/l) przy odczynie słabozasadowym (pH = = 7,0—8,0).



Rys. 3. Obóz polsko-mongolskiej grupy Międzynarodowej Ekspedycji Geologicznej pod Gotor-obo, 1978 r. Fot. I. Wróbel

W zależności od ilościowej zawartości poszczególnych anionów i kationów wody podziemne kompleksu dewońskiego zaliczyć należy do typu wodorowęglanowo-siarczanowo-sodowo-magnezowego i wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowego. We wszystkich możliwych kombinacjach wiodącym jest jon wodorowęglanowy (HCO_3^-). Poniżej przedstawia się kilka przykładów składu chemicznego wód podziemnych kompleksu dewońskiego wg skróconego zapisu:

Źródło Dunda-bułak I

$$M_{0,539}\ \frac{HCO_3^{56} \cdot SO_4^{33} \cdot Cl^{5}}{Mg^{47} \cdot Ca^{45} \cdot Na^{8}}\ \cdot T^{3,5}$$

Źródło Ubur-bułak I

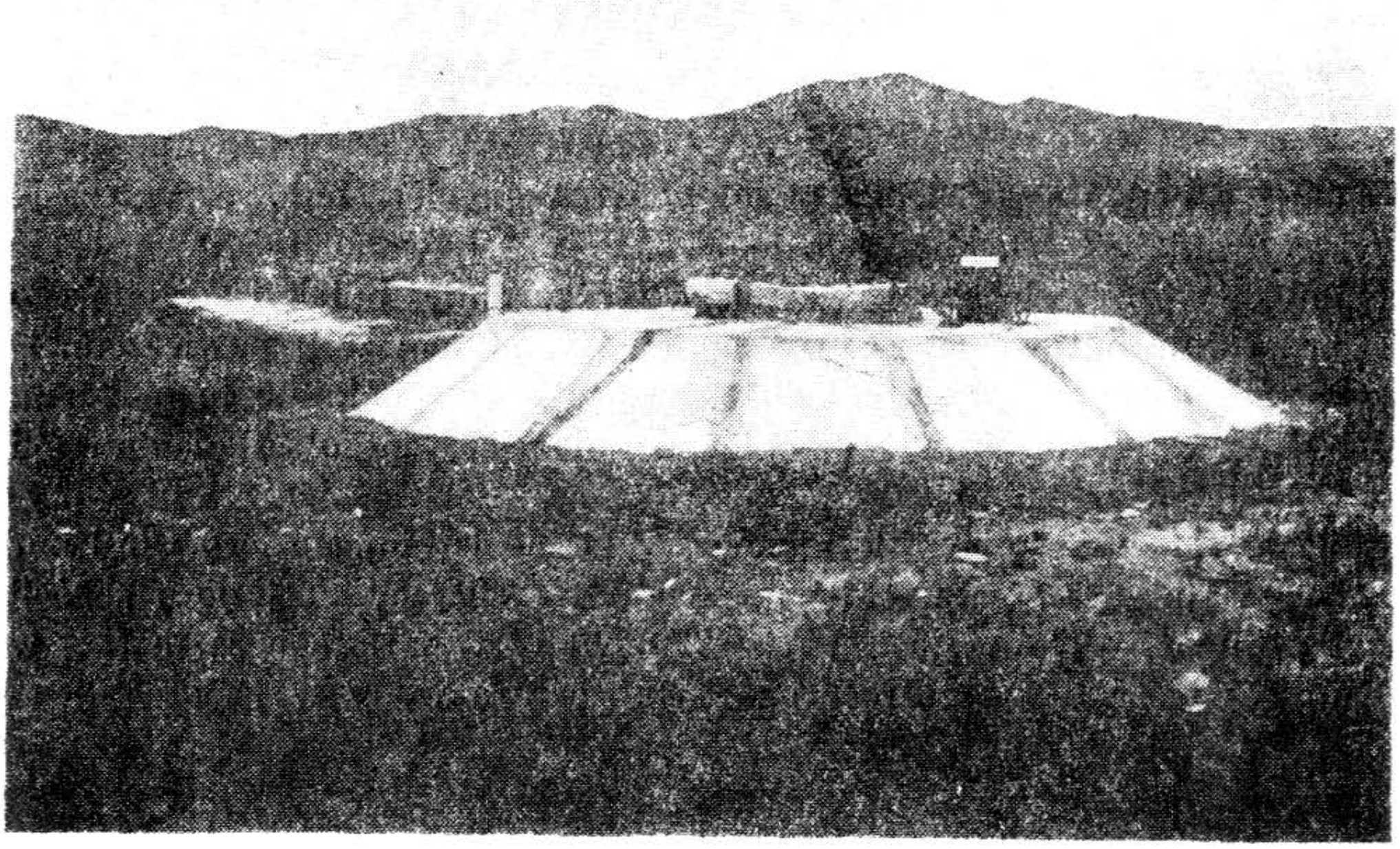
$$M_{0,398}\ \frac{HCO_3^{59} \cdot SO_4^{28} \cdot Cl^{5}}{Ca^{44} \cdot Mg^{41} \cdot Na^{14}}\ \cdot T^{8}$$

Studnia nr 26

$$M_{0,550}\ \frac{HCO_3^{72} \cdot SO_4^{14} \cdot Cl_{6}}{Na^{47} \cdot Ca^{30} \cdot Mg^{22}}\ \cdot T^{3}$$

W suchej pozostałości poddanej spektralnej analizie dla dwóch prób stwierdzono podwyższoną zawartość srebra (0,06 mg/l) i obecność w śladowych ilościach Mn, Ti, Sr, Cu, Ni, Pb i Zn. Wody podziemne komplek-

su dewońskiego na obszarze przeprowadzonych badań bardzo rzadko były wykorzystywane na potrzeby gospodarcze miejscowej ludności.



Rys. 4. Dolina Geszegne. Studnia wiercona z urządzeniem „kieratowym" do czerpania wody, ujmująca wody podziemne kompleksu aluwialno-proluwialnego
Fot. I. Wróbel

Geologiczne kompleksy pozbawione wód podziemnych

Kompleksy litologiczne pozbawione wód podziemnych to przede wszystkim skały magmowe i osadowo-wulkanogeniczne charakteryzujące się zbitymi, masywnymi teksturami oraz małomiąższe pokrywy skał osadowych.

Do kompleksów niewodonośnych zaliczono:

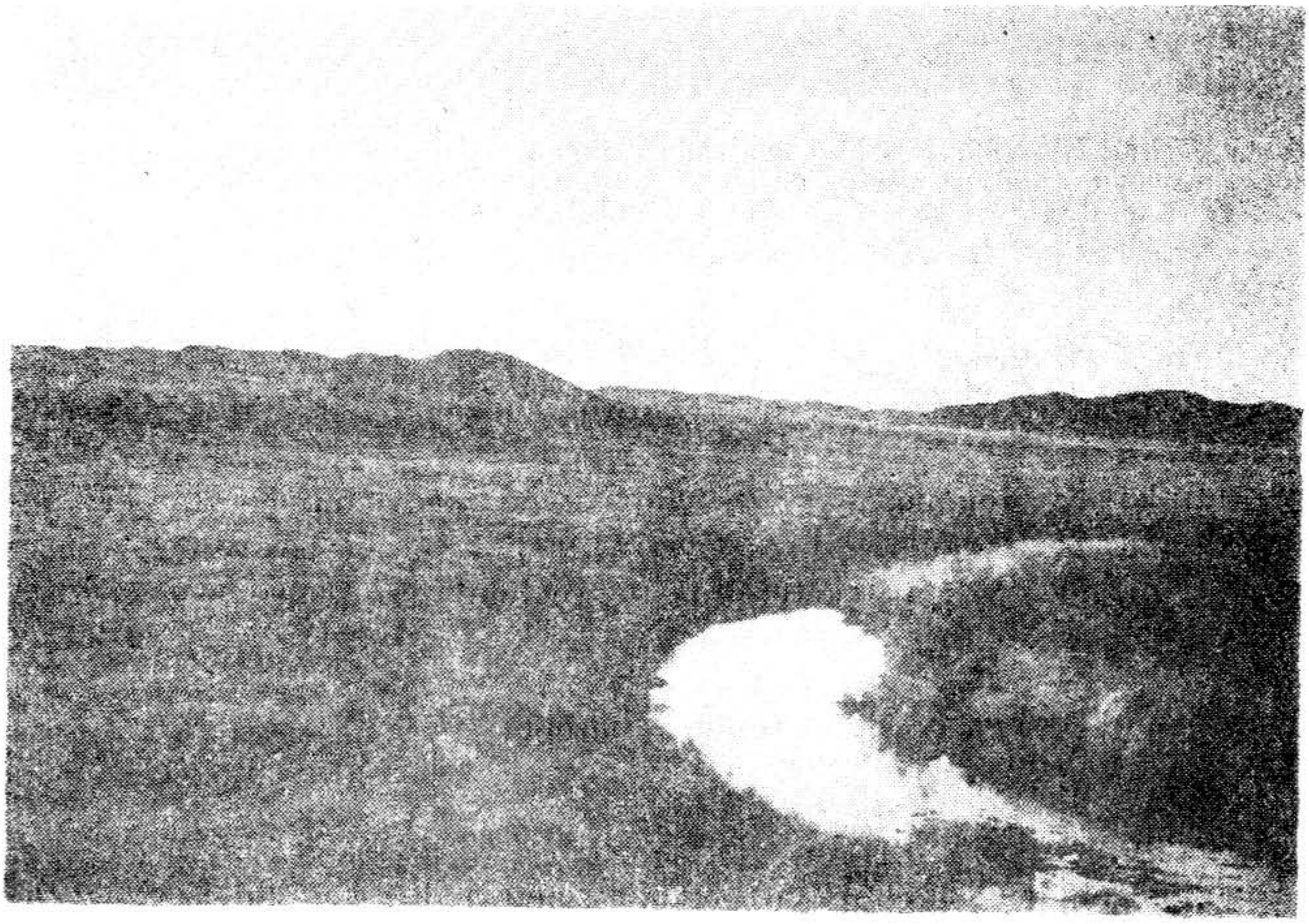
- bazalty dolnej kredy (K_1);
- intruzje mezozoiku: granity (J_1), porfiry kwarcowe (T_3), mające wychodnie na powierzchni lub pod niewielką pokrywą skał osadowych czwartorzędowych,
- osadowo-wulkanogeniczne skały permu, triasu i jury;

— diabazy, gabro-dioryty, gabra, dioryty, zalegające wśród serii skał wulkanogenicznych i osadowych dolnego i środkowego dewonu (D_{1-2}).

W rejonie występowania wyżej wymienionych litostratygraficznych kompleksów nie stwierdzono występowania objawów wód podziemnych na powierzchni (źródła, sączenia).

Wody powierzchniowe

Obszar badań jest bardzo ubogi w wody powierzchniowe. W czasie wykonywania zdjęcia hydrogeologicznego opróbowano źródłową część strumyka wypływającego ze źródliska Gedzegennyj-bułak i zasilającego jezioro Chul-nur (rys. 5, 8, 9). Drugim zbiornikiem wód powierzchniowych w rejonie badań jest nieduże, bardzo płytkie (ok. 1,5 m maksym. głęb.) jezioro położone w szerokiej dolinie Szeryjn-goł. Badania wód powierzchniowych dotyczyły ustalenia stopnia ich zasolenia i utrzymywania się wody w tych zbiornikach w okresie letnim. Jezioro Chul-nur we wrześniu wyschło zupełnie, a strumyk zasilający to jezioro skrócił swoją długość o około 1,5 km (tj. 40%). Wody w jeziorach są mętne, w strumyku natomiast przeźroczyste. Temperatura wody w jeziorach wa-

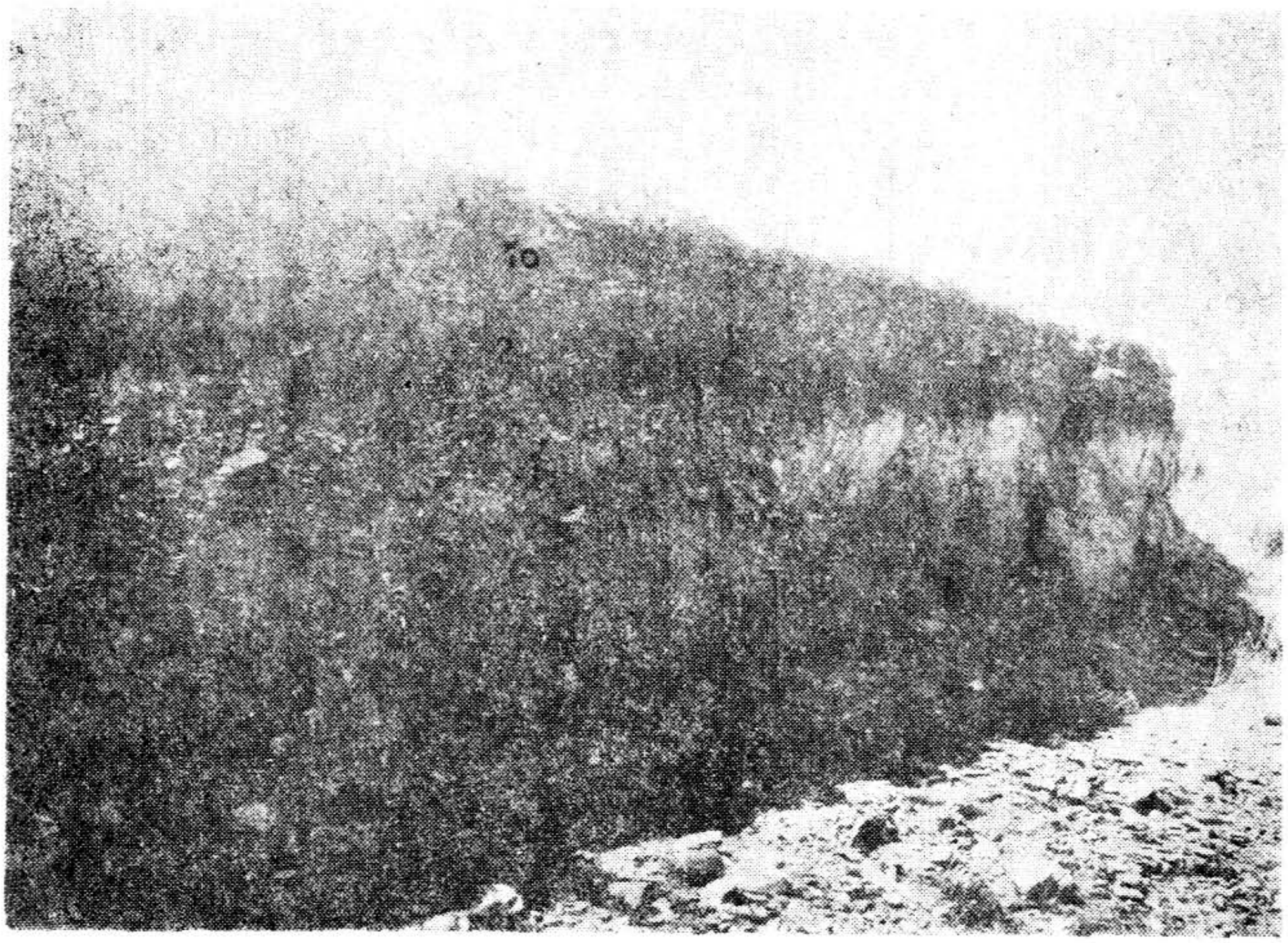


Rys. 5. Obszar wieloletniej marzliny źródła Gedzegennyj-bułak
Fot. I. Wróbel

hała się w granicach od 11 do 14°C. Stopień zmineralizowania wód powierzchniowych przedstawia się następująco:

— jezioro w dolinie Szeryjn-goł posiada wodę zmineralizowaną zawierającą 2,8 g/l suchej pozostałości;

— jezioro Chul-nur i strumyk posiadały wody słodkie o mineralizacji 0,408—0,507 g/l suchej pozostałości.



Rys. 6. W zboczach sajrów odsłaniają się profile litostratygraficzne czwartorzędu. Na zdjęciu osady proluwialne starsze (1) i współczesne (1a) rozdzielone kopalną gleba (2). Fot. I. Wróbel

Wody powierzchniowe są wodami słabozasadowymi o pH w granicach 7,2—7,4. Pod względem chemicznym ogromną przewagę mają jony wodorowęglanowe (HCO_3^-) oraz wapnia (Ca^{++}) i magnezu (Mg^{++}).

Analizy wody z jeziora z doliny Szeryjn-goł wykazały znaczną zawartość jonów potasu (K^+). Przebadane wody powierzchniowe można zakwalifikować do typów wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowego (Chul-nur i wodorowęglanowo-potasowo-wapniowego (w dolinie Szeryjn-goł). W wodach obydwu jezior stwierdzono także obecność w niedużych ilościach jonów NH_4^- i NO_2^- wskazujących na zanieczyszczenie wód jezior sub-

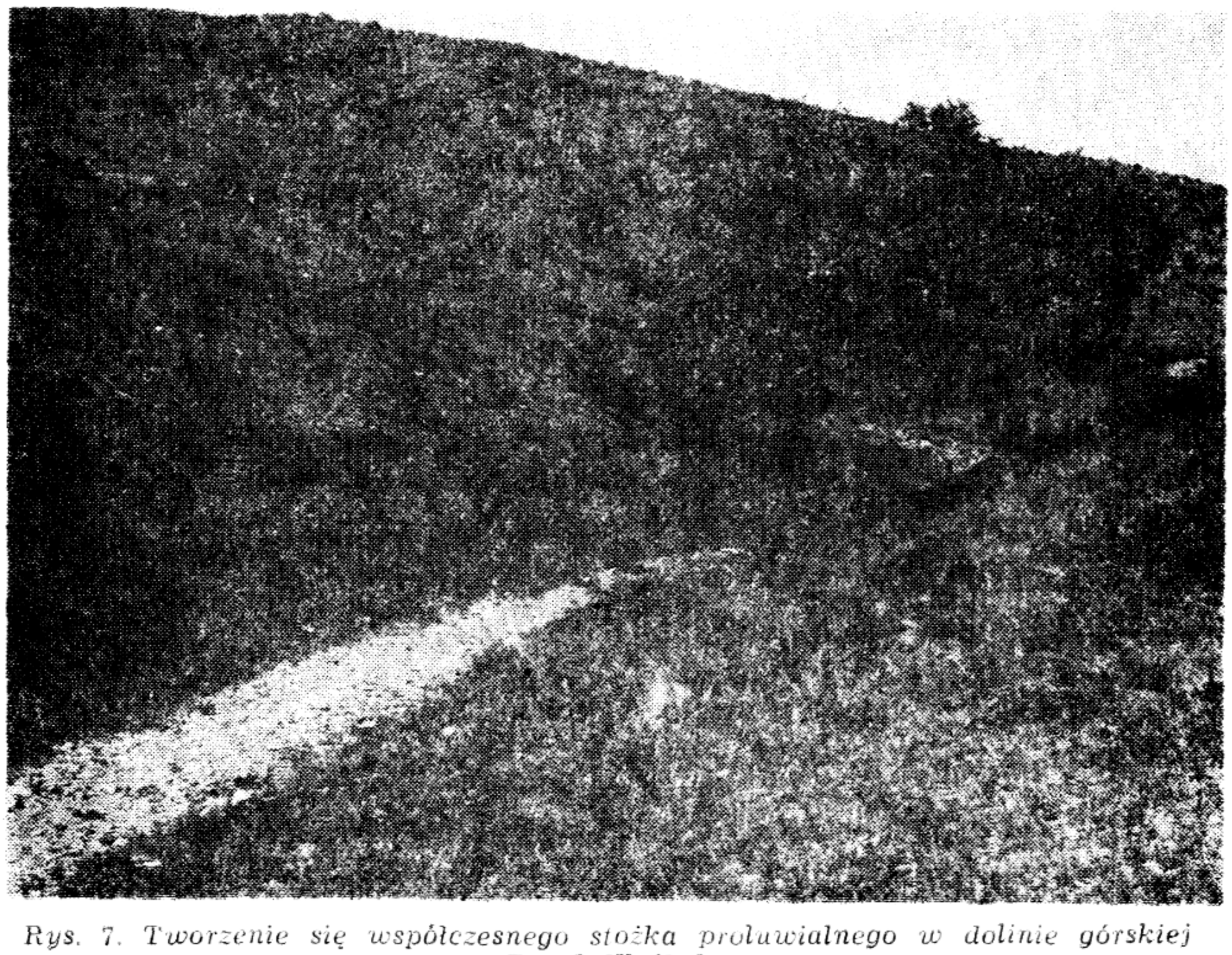
stancją organiczną. Poniżej przedstawia się skróconą analizę chemiczną wód powierzchniowych wg zapisu Kurłowa:

Jezioro Chul-nur $M_{0,507} \frac{HCO_3^{65} \cdot SO_4^{23} \cdot Cl^{12}}{Ca^{43} \cdot Mg^{37} \cdot Na^{26}} \cdot T^{14}$

Jezioro w dolinie Szeryjn-goł $M_{2,873} \frac{HCO_3^{58} \cdot SO_4^{30} \cdot Cl^{12}}{K^{46} \cdot Mg^{35} \cdot Ca^{6}} \cdot T^{11}$

Strumyk $M_{0,408} \frac{HCO_3^{66} \cdot SO_4^{25} \cdot Cl^{9}}{Ca^{44} \cdot Mg^{29} \cdot Na^{23}} \cdot T^{14}$

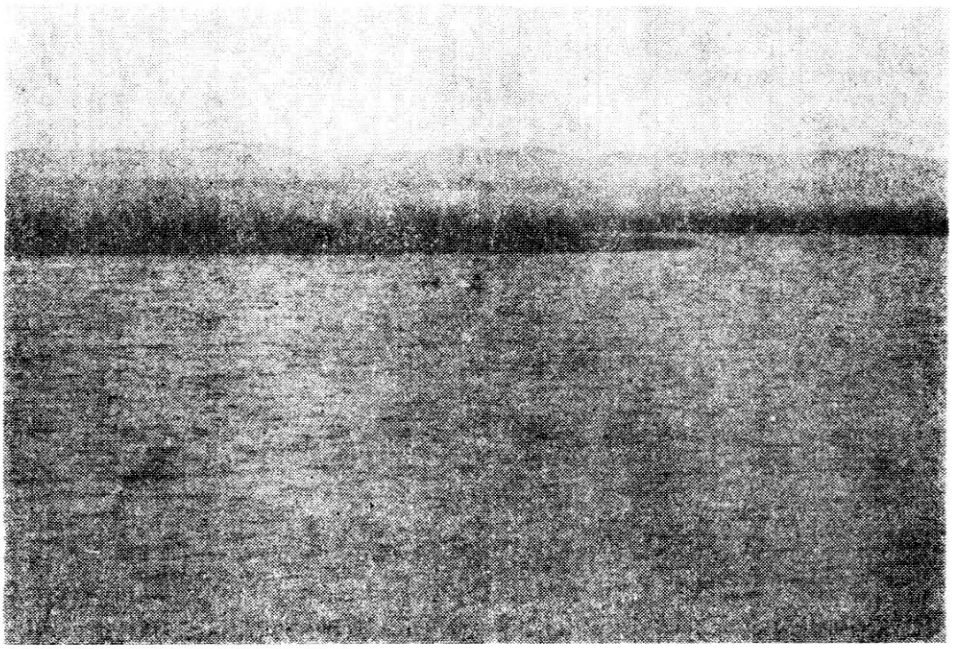
Wody powierzchniowe zasilane są przede wszystkim wodami podziemnymi i w niewielkim stopniu opadami atmosferycznymi.



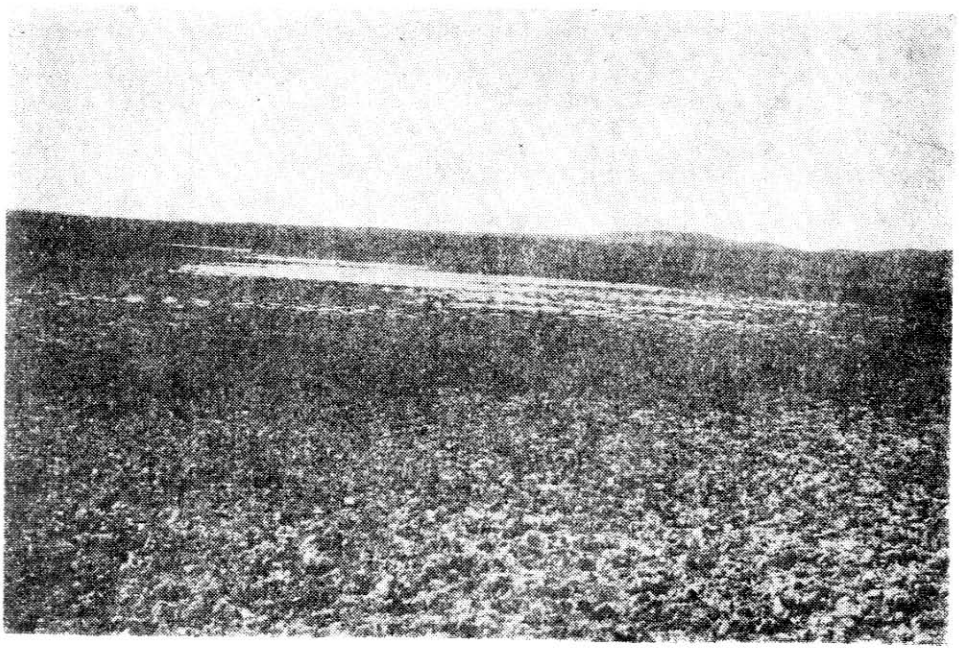
Rys. 7. Tworzenie się współczesnego stożka proluwialnego w dolinie górskiej
Fot. I. Wróbel

Podsumowanie

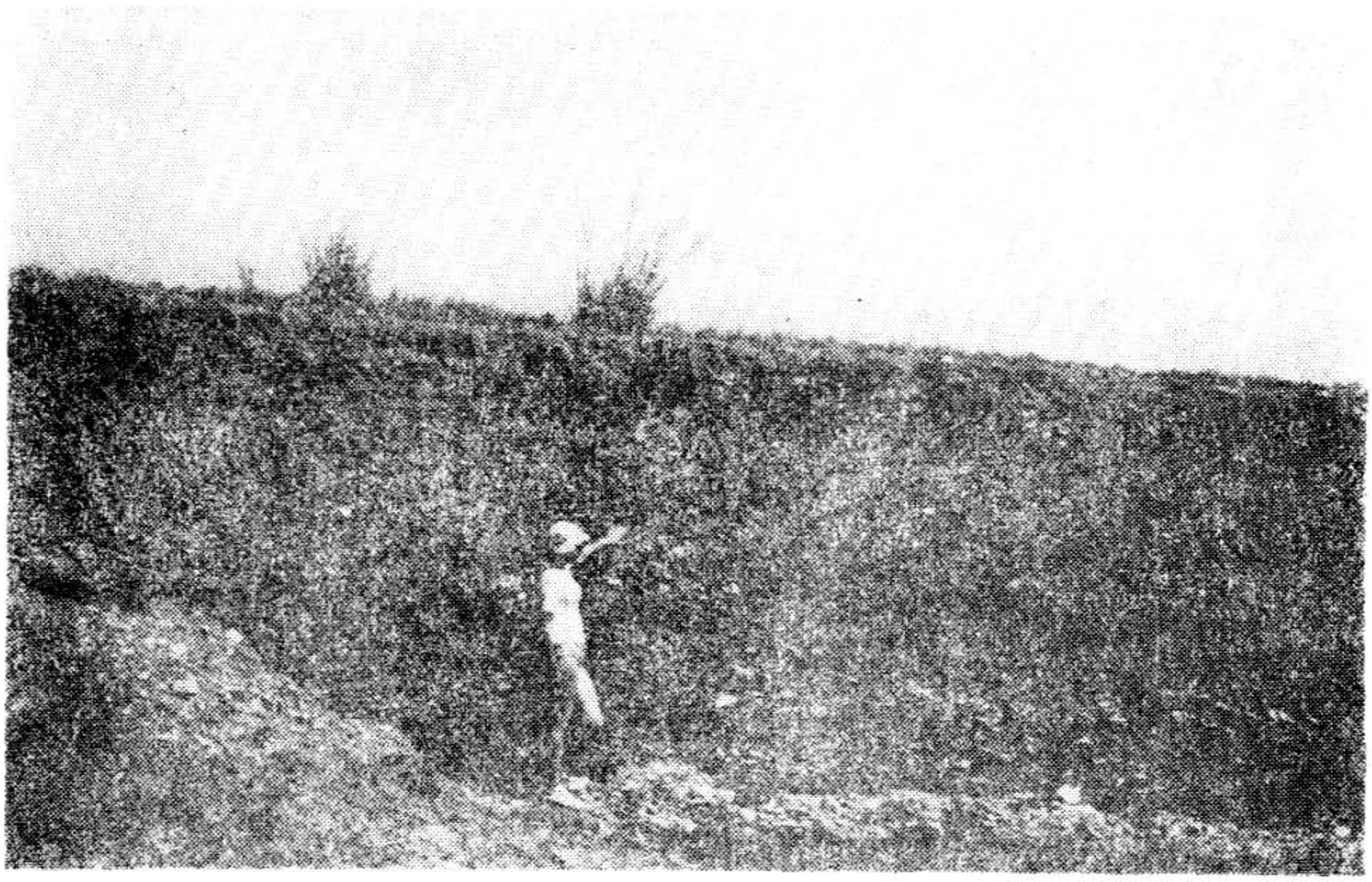
— Najbardziej zasobnymi w wody podziemne są obszary występowania kompleksów osadów czwartorzędowych aluwialnych i aluwialno-pro-



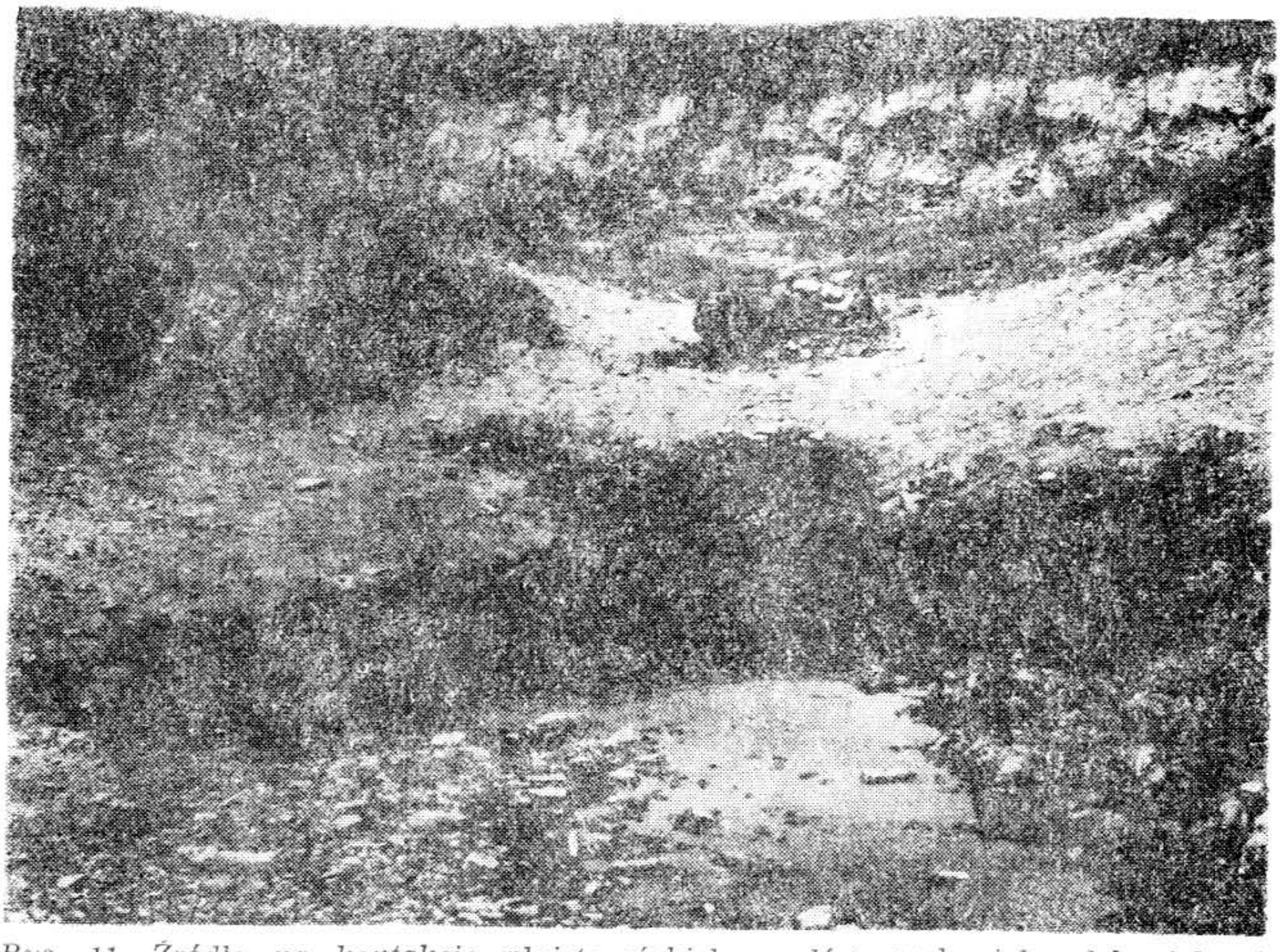
Rys. 8. Jezioro Chul-nur na początku lata (w czerwcu)
Fot. I. Wróbel



Rys. 9. Jezioro Chul-nur jesienią
Fot. I. Wróbel



Rys. 10. Proluwialne osady plejstoceńskie. W spągu niewielkie źródełko
Fot. I. Wróbel



Rys. 11. Źródło na kontakcie plejstoceńskich osadów proluwialno-deluwialnych i dewońskich łupków filitowych. Fot. I. Wróbel

luwialnych, wypełniające stare doliny Geszegne, Szeryjn-goł i Nurentyjn-Dzun-Chunduj.

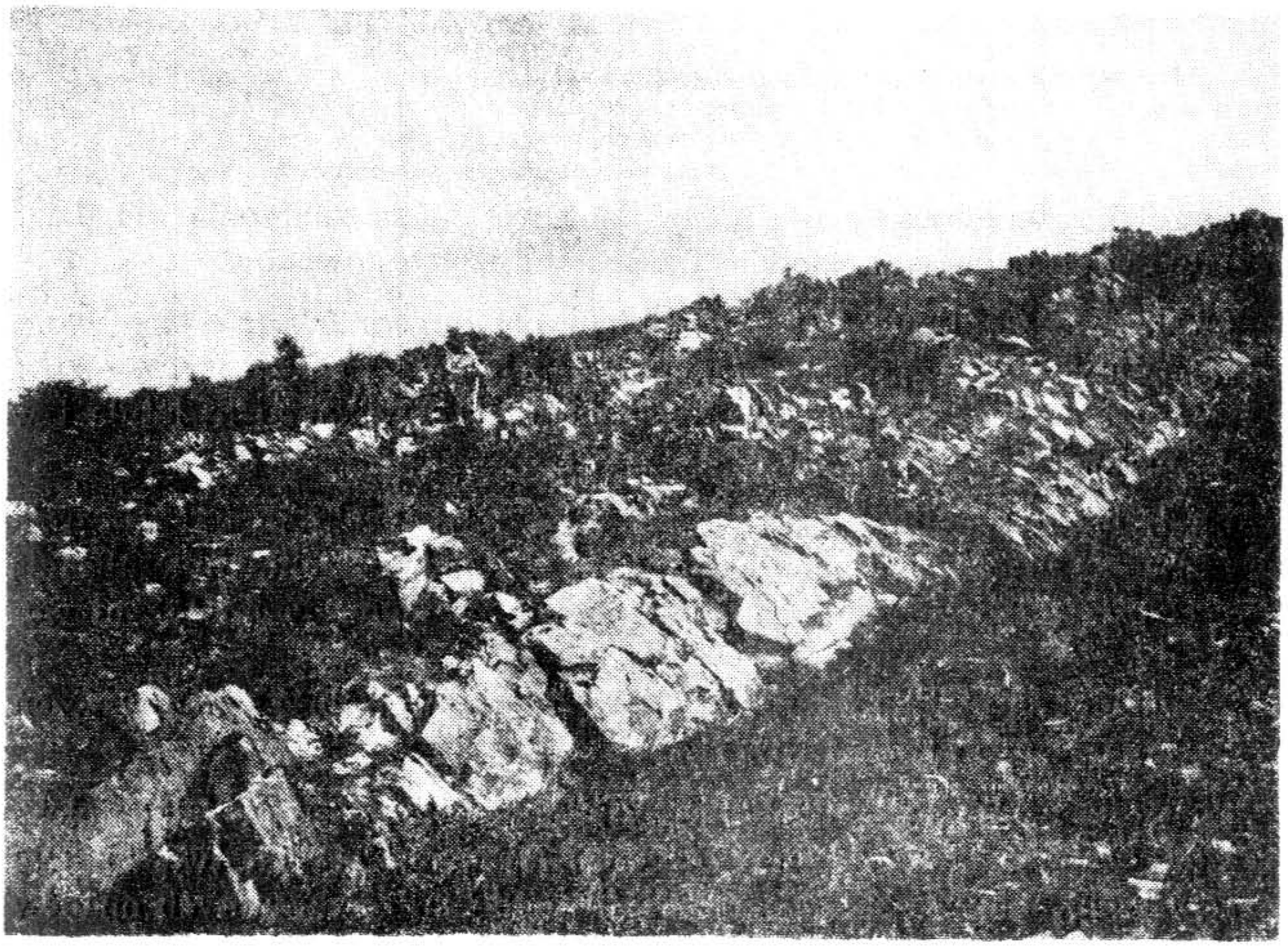
Na podstawie analizy budowy geologicznej badanego rejonu można założyć, że zasobnymi w wody podziemne będą także osady kompleksu neogenowego (Ng) i górnokredowego (K_2).

— Rejonami perspektywicznymi dla występowania wód podziemnych są:

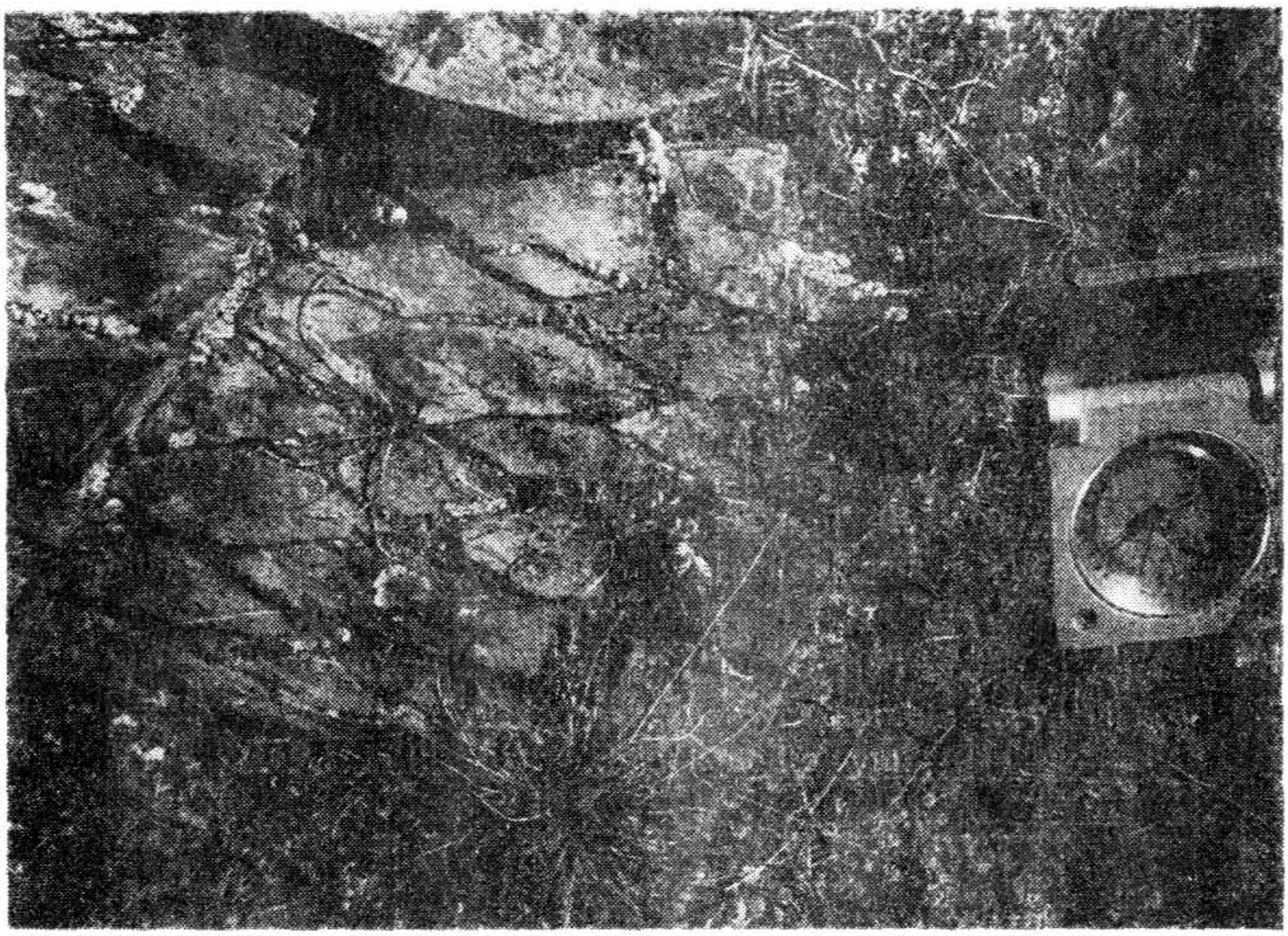
a) kopalne, zagrzebane doliny, wypełnione aluwialnymi i aluwialno-proluwialnymi osadami kenozoiku i górnej kredy,

b) intensywnie spękane osady triasu środkowego i górnego (T_{2-3}), osady dewonu dolnego i środkowego (D_{1-2}) a w szczególności strefy deformacji nieciągłych (uskokowo-rozłamowe).

— Pod względem składu chemicznego wody podziemne wydzielonych kompleksów zaliczyć należy do wodorowęglanowo i siarczanowego typów. Charakteryzują się one niskim stopniem mineralizacji (0,300—0,960 g/l) i zupełnym brakiem jonów Fe^{+++} i Fe^{++}. Wody podziemne z zawartością suchej pozostałości powyżej 1 g/l były stwierdzone tylko w dwóch punktach (23 i 25).



Rys. 12. Wychodnie łupków dewońskich (D_{1-2}). Obszary występowania wód podziemnych szczelinowych. Fot. I. Wróbel



Rys. 13. Charakterystyczny system spękań (kliważ) łupków dewońskich (D_{1-2}) ułatwiających infiltrację wód opadowych oraz wymianę powietrza atmosferycznego i gruntowego. Fot. I. Wróbel

— Wody powierzchniowe nie mogą mieć większego znaczenia dla działalności gospodarczej człowieka z następujących powodów:

a) Jezioro Chul-nur jest zbiornikiem powierzchniowym i we wrześniu wysycha zupełnie. Ponowne zapełnienie tego zbiornika rozpoczyna się po wiosennych roztopach to jest w końcu kwietnia i w maju.

b) jezioro w dolinie Szeryjn-goł utrzymuje wodę przez cały rok. Wody tego jeziora charakteryzują się podwyższoną mineralizacją (2,873 g/l) i wodorowęglanowo-potasowo-magnezowym typem wody.

Jeziora są płytkie a ich wody zawierają pewną ilość zanieczyszczeń organicznych (NH_4 i NO_2').

— Zasilanie wód podziemnych, za wyjątkiem kompleksu nr 4 (kompleks wód kredowych przykryty 15-metrowej grubości warstwą osadów spoistych), odbywa się w drodze infiltracji bardzo skromnych opadów atmosferycznych (ok. 200 mm rocznie) i w znacznej części w drodze kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu atmosferycznym.

Rys. 14. Porfiry kwarcowe (liparyty) z charakterystycznymi spękaniami mrozowymi. Jest to strefa pozbawiona wód podziemnych. Fot. I. Wróbel

LITERATURA

[1] Iwanow W. W., Niewrajew G. W., *Klasyfikacja podziemnych mineralnych wód*. Izdatielstwo „Niedra", Moskwa 1964.

[2] Kalimulin S. M. i inni, *Otczet o geołogo-sjemocznych rabotach masztaba 1 : 200 000 wypołnienych otrjadom nr 5*, ekspedycji nr 15 w 1966-68, Moskwa 1968 r.

[3] Marinow A. P., Popow W. N., *Gidrogieołogia Mongolskoj Narodnoj Respubliki*. Gostoptierkizdat, Moskwa 1963.

[4] Podstolski R., Uberno J, Wróbel I., *Otczet geiołogo-sjomocznych rabot w masztabie 1 : 50 000, 7-oj Partii, Międzynarodowej Ekspedycji Geołogicznej w Mongolii*, Ułan-Bator 1969 r. (Maszynopis — archiwum M.E.G.).

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Zbigniew Lewicki

ADAPTACJA METOD RACHUNKU WYROWNAWCZEGO DO OCENY SPRAWNOŚCI HYDRAULICZNEJ CZYNNYCH SIECI WODOCIĄGOWYCH

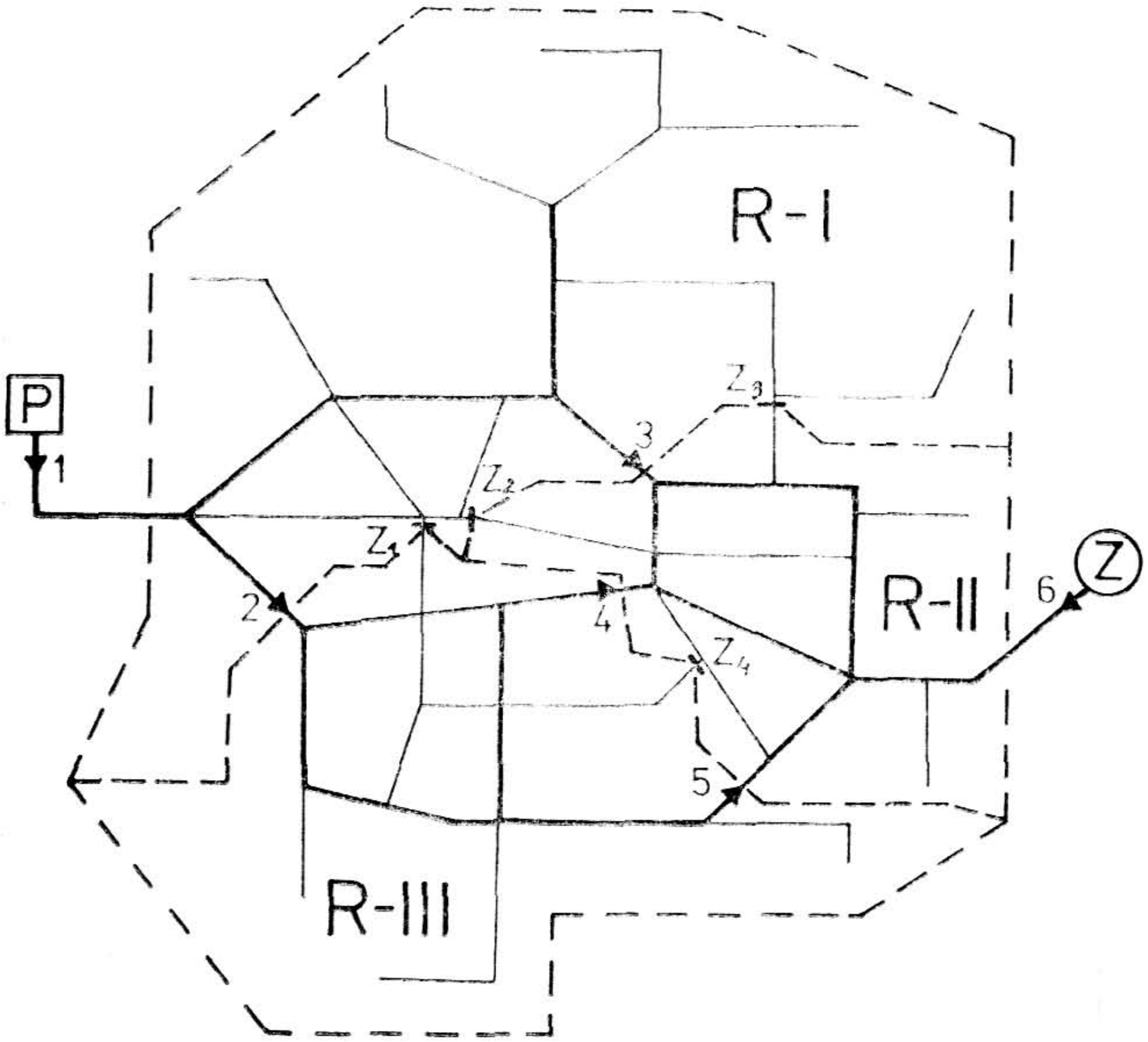
1. Wstęp

Podstawę programowania wszelkich zabiegów regulacyjnych i konserwacyjnych na czynnych sieciach wodociągowych oraz projektowania rozbudowy tych sieci powinna stanowić analiza wyników kompleksowych badań hydraulicznych, wykonywanych bezpośrednio w terenie. Pomiary na wybranych elementach sieci powinny być programowane i przeprowadzane w sposób umożliwiający transponowanie uzyskanych wyników na pozostałe elementy sieci o innych parametrach, a tym samym umożliwiający identyfikację stanu sieci pod względem hydraulicznym. Matematycznie ścisłe rozwiązanie tego zagadnienia można osiągnąć poprzez adaptację wybranych metod rachunku wyrównawczego.

2. Zakres i dokładność badań hydraulicznych czynnych sieci wodociągowych

Kompleksowe badania terenowe czynnych sieci wodociągowych obejmują pomiary natężenia przepływu i wysokości ciśnienia wody w wybranych węzłach i odcinkach sieci oraz pomiary oporności hydraulicznej rurociągów uznanych za reprezentatywne dla danej sieci. Pomiarami obejmuje się wydzielone rejony miasta zawierające obszary o podobnym charakterze zagospodarowania przestrzennego. W tym celu całą sieć wodociągową dzieli się na odrębne części, odpowiadające wydzielonym rejonom miasta. Podziału sieci dokonuje się poprzez odpowiednie rozmieszczenie punktów pomiaru natężenia przepływu wody lub przez zamknięcie zasuw w odpowiednich punktach sieci. Odpowiednie rozmieszczenie punktów pomiaru natężenia przepływu umożliwia określenie ogólnego zużycia wody w wydzielonym rejonie miasta. Sposób podziału miasta na

Dr inż. Zbigniew Lewicki — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze



Przewody rozprowadzające

4 Punkty pomiaru natężenia przepływu

Przewody rozdzielcze

Z_3 Zamknięte zasuwy na przewodach rozdzielczych

Granice rejonów zużycia wody

P Pompownia

Z Zbiornik sieciowy

Rys. 1. Schemat podziału sieci na rejony zużycia

rejony zużycia zilustrowano na rysunku 1. Szczegółowe zasady rozmieszczania punktów pomiaru natężenia przepływu oraz wyboru zasuw odcinających wydzielone rejony miasta zawarte są w pracach [1], [3], [6], [7].

Jednocześnie z pomiarami natężenia przepływu prowadzi się pomiary wysokości ciśnienia wody w odpowiednich węzłach sieci, natomiast niezależnie od tych pomiarów prowadzone są pomiary oporności hydraulicznej wybranych rurociągów. Metodyka pomiarów wysokości ciśnienia wody jest znacznie prostsza niż w przypadku pomiarów natężenia przepływu czy też oporności hydraulicznej, zatem liczba punktów pomiaru wysokości ciśnienia powinna być możliwie największa. Pomiarami oporności hydraulicznej należy w miarę możliwości obejmować cały zakres średnic rurociągów w badanym rejonie miasta z uwzględnieniem różnorodności materiału rur, czasu trwania ich eksploatacji itp. Szczegółowe zasady rozmieszczania punktów pomiaru wysokości ciśnienia wody oraz kryteria wyboru rurociągów do pomiaru oporności hydraulicznej przedstawione są w pracach [1], [3], [6], [7].

Metodyka badań i pomiarów wykonywanych na czynnych sieciach wodociągowych oraz przyrządy i aparatura stosowane do tego celu omówione są w pracach [1], [7], [8]. Dokładność wyników pomiarów uzyskiwanych przy stosowaniu aparatury produkowanej w kraju oszacowana została w pracy [3]. Należy zauważyć, że dokładność ta jest uwarunkowana nie tylko dokładnością przyrządów pomiarowych ale również warunkami w jakich odbywają się pomiary takimi jak dostępność i oświetlenie przyrządów, warunki atmosferyczne itd. Z tego względu konieczne jest dokładne sprawdzanie wszystkich przyrządów zarówno przed pomiarami jak i po ich zakończeniu.

Wielkość maksymalnych błędów pomiarowych jest wg pracy [3] następująca:

- przy pomiarach ciśnienia manometrami wskazująco-rejestrującymi lub tarczowymi — 0,4÷1,5 m
- przy pomiarach natężenia przepływu za pomocą wodomierza — 1,3÷2,3%
- przy określaniu natężenia przepływu na podstawie pomiarów średnicy i prędkości — 2 ÷9%
- przy wyznaczaniu współczynnika oporności właściwej na podstawie wskazań wodomierza — 2,8÷7%
- przy określaniu współczynnika oporności właściwej na podstawie pomiarów średnicy i prędkości przepływu — 4,3÷22,6%

Należy zauważyć, że przytoczone wartości maksymalnych błędów pomiarowych i obliczeniowych ustalono przy założeniu jednoczesnego wy-

stępowania błędów granicznych wszystkich zmiennych i jednakowego układu ich znaków. Maksymalne błędy statystyczne są znacznie mniejsze od przytoczonych np. w przypadku współczynnika oporności właściwej jego wartość wynosi 10,5%.

3. Podstawy teorii wyrównywania układów obserwacyjnych

Wyniki obserwacji (pomiarów) mogą być obarczone trzema rodzajami błędów:

— błędy grube (omyłki),
— błędy systematyczne (stałe),
— błędy przpadkowe.

Eliminacja błędów grubych i systematycznych pozwala otrzymać zespół wyników obserwacji zawierających błędy o małych wartościach bezwzględnych, przy czym błędy dodatnie i ujemne występują bez wyraźnej przewagi jednych nad drugimi. W przypadku niemożliwości całkowitego wyeliminowania błędów systematycznych zakłada się, że pozostałości tych błędów mają charakter błędów przypadkowych.

Dokładność pojedynczego pomiaru charakteryzują:

— błąd przeciętny

$$d = \frac{\Sigma |\varepsilon|}{n} \tag{1}$$

— błąd średni tzw. kwadratyczny

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma /\varepsilon^2/}{n}} \tag{2}$$

gdzie: n — liczba pomiarów (odpowiednio duża),
ε — błąd pomiaru

$$\varepsilon = X - x \tag{3}$$

X — wartość prawdziwa wielkości mierzonej,
x — wynik pomiaru.

Zależność między błędem średnim a przeciętnym jest następująca:

$$s = 1{,}25\, d \tag{4}$$

W rachunku wyrównawczym wykorzystuje się prawie wyłącznie błędy średnie, gdyż posługując się nimi można na podstawie prawa Gaussa wyznaczyć błąd średni funkcji F (X, Y, Z), znając błędy średnie zmiennych niezależnych:

$$s_F = \sqrt{\left/\frac{\partial F}{\partial X}\right/ \cdot s_X \Big/^2 + \left/\frac{\partial F}{\partial Y} \cdot s_Y\right/^2 + \left/\frac{\partial F}{\partial Z} \cdot s_Z\right/^2} \tag{5}$$

W praktyce pomiarowej przyjmuje się, że trzykrotny błąd średni jest błędem nieprzekraczalnym i nadaje się mu nazwę błędu granicznego (maksymalnego)

$$\varepsilon_g = 3 \cdot s \tag{6}$$

Prawdopodobieństwo nieprzekroczenia bezwzględnej wartości 3-krotnego błędu średniego, przy założeniu normalnego rozkładu błędów wynosi 0,9973 [2].

Wyrównanie układu obserwacyjnego (pomiarowego) polega na algebraicznym dodawaniu do wyników obserwacji $x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$ nieznacznych poprawek $w_1, w_2, w_3, \ldots w_n$ tak dobranych, aby każdy związek funkcyjny zachodzący między wartościami prawdziwymi wielkości mierzonych $X_1, X_2, X_3, \ldots X_n$

$$F(X_1, X_2, X_3, \ldots X_n) = 0 \tag{7}$$

po podstawieniu wyrównanych wyników obserwacji został ściśle spełniony

$$F(x_1 + w_1, x_2 + w_2, x_3 + w_3, \ldots x_n + w_n) = 0 \tag{8}$$

Poprawki wyników obserwacji muszą być tak dobrane, aby zgodnie z zasadą Legendre'a suma kwadratów ilorazów poprawek i odpowiadających im błędów średnich była najmniejsza:

$$\sum_{i=1}^{n} \left/ \frac{w_i}{s_i} \right/^2 = \text{minimum} \tag{9}$$

W każdym wyrównywanym układzie obserwacyjnym istnieje liczba u obserwacji niezbędnych do jednoznacznego wyznaczenia wszystkich parametrów opisujących dany układ oraz liczba n obserwacji wykonanych w danym układzie. Wyrównanie wyników obserwacji jest możliwe jedynie wówczas, gdy spełniona jest nierówność:

$$n > u \tag{10}$$

Liczbę niezależnych związków funkcyjnych zachodzących między obserwowanymi wielkościami wyznacza się z zależności:

$$r = n - u \tag{11}$$

Liczba ta określa jednocześnie liczbę tzw. wielkości nadliczbowych w danym układzie obserwacyjnym.

Wyrównanie układów obserwacyjnych można prowadzić dwoma metodami [2]:

— metodą zawarunkowaną,
— metodą pośredniczącą.

Obydwie metody dają identyczne wyniki a o ich wyborze decyduje łatwość matematycznego formułowania rozważanego zagadnienia oraz wkład

pracy rachunkowej przy rozwiązywaniu postawionego zadania jedną z tych metod.

Wyrównanie metodą zawarunkowaną prowadzone jest w trzech fazach:

1. ustala się liczbę r równań warunkowych w danym układzie oraz wyszukuje się je,
2. zestawia się te równania wpisując na miejsce prawdziwych, nieznanych wartości X_1, X_2, $X_3 \ldots X_n$ wartości obserwacji poprawionych $x_1 + w_1$, $x_2 + w_2$, $x_3 + w_3 \ldots x_n + w_n$,
3. do otrzymanego układu r równań z n niewiadomymi poprawkami w_1, w_2, $w_3 \ldots w_n$ stosuje się odpowiednie postępowanie rachunkowe mające zapewnić spełnienie warunku (9).

W metodzie pośredniczącej zestawianie równań warunkowych jest zbędne. Do zagadnienia wprowadza się zespół u wzajemnie niezależnych zmiennych, jednoznacznie charakteryzujących dany układ. W funkcji tych zmiennych wyraża się poprawki obserwacyjne tworząc tzw. równania poprawek i sprowadza w ten sposób zadanie do wyznaczenia minimum funkcji wzajemnie niezależnych zmiennych (tzw. zmiennych pośredniczących).

4. Adaptacja metody pośredniczącej wyrównywania układów obserwacyjnych do oceny sprawności hydraulicznej czynnych sieci wodociągowych

Wyniki badań czynnej sieci wodociągowej i oszacowane wielkości błędów pomiarowych umożliwiają bezpośrednią ocenę sprawności hydraulicznej odcinków objętych pomiarami. W przypadku oceny sprawności całej sieci należy oszacować wszystkie niezbędne wielkości charakteryzujące stan sieci, w tym również dotyczące odcinków nie objętych pomiarami i oszacować wartości błędów jakimi mogą być te wielkości obarczone.

Wszystkie wielkości opisujące stan sieci wodociągowej powinny spełniać w odniesieniu do sieci o układach zamkniętych znane prawa Kirchoffa:

$$\Sigma q_i = 0 \tag{12}$$

$$\Sigma \Delta h_j = 0 \tag{13}$$

a w odniesieniu do sieci o układach otwartych również pierwsze prawo Kirchoffa (12) i dodatkowo warunek

$$\Delta h_{ij} = R_i - R_j \tag{14}$$

gdzie: R — rzędne wysokości ciśnienia wody w węzłach i, j.

Jeżeli powyższe warunki nie są spełnione, poszukuje się takich wartości wielkości zmierzonych i oszacowanych, które by je spełniały.

Układy obserwacyjne czynnych sieci wodociągowych wymagają opisu cech ich elementów składowych. Przyjęto, że układy takie opisane będą następującymi wielkościami:

— rzędne wysokości ciśnienia wody we wszystkich węzłach,
— długości zastępcze i oporności właściwe wszystkich odcinków,
— natężenia przepływu we wszystkich odcinkach.

W opisanych w ten sposób układach sieci wodociągowych spełniony jest warunek (10) [3], można zatem poddawać je procesowi wyrównawczemu.

Punktem wyjścia w metodzie pośredniczącej jest wybór zmiennych niezależnych opisujących jednoznacznie dany układ obserwacyjny sieci wodociągowej. Jako zmienne niezależne przyjęto:

— rzędną ciśnienia wody w głównym punkcie zasilania układu,
— długości zastępcze i oporności właściwe wszystkich odcinków,
— natężenia przepływu w poszczególnych odcinkach.

Pozostałe wielkości opisujące dany układ są obserwacjami nadliczbowymi. W układach o złożonej topologii występują dodatkowe obserwacje nadliczbowe. Przyjmuje się, że w każdym obwodzie układu zamkniętego obserwacją taką jest jedna z wielkości opisujących odcinek domykający. W przypadku występowania węzłów zerowych tj. takich węzłów, w których nie ma ani dopływu ani odpływu wody, przyjmuje się, że obserwacją nadliczbową jest natężenie przepływu na jednym z odcinków przyłączonych do tego węzła.

W metodzie pośredniczącej dla każdej obserwowanej wielkości tworzy się równanie poprawki

$$w_i = F_i[X] - x_i \tag{15}$$

gdzie: $F_i[X]$ — wyrównana wartość wielkości obserwowanej będąca funkcją parametrów opisujących układ obserwacyjny.

Wstępnie przyjmuje się przybliżone wartości tych parametrów a w procesie wyrównywania są one tak poprawiane aby spełniony był warunek [9]. Rozwiązanie tego zadania można uzyskać dwoma sposobami:

— stosując metody programowania nieliniowego określa się globalne minimum dla funkcji celu:

$$E = \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i^2}{s_i^2} \tag{16}$$

— poprzez linearyzację funkcji $F_i[X]$ (rozwinięcie w szereg Taylora z odrzuceniem wyrazów wyższego rzędu niż pierwszy) co prowadzi do układu równań liniowych.

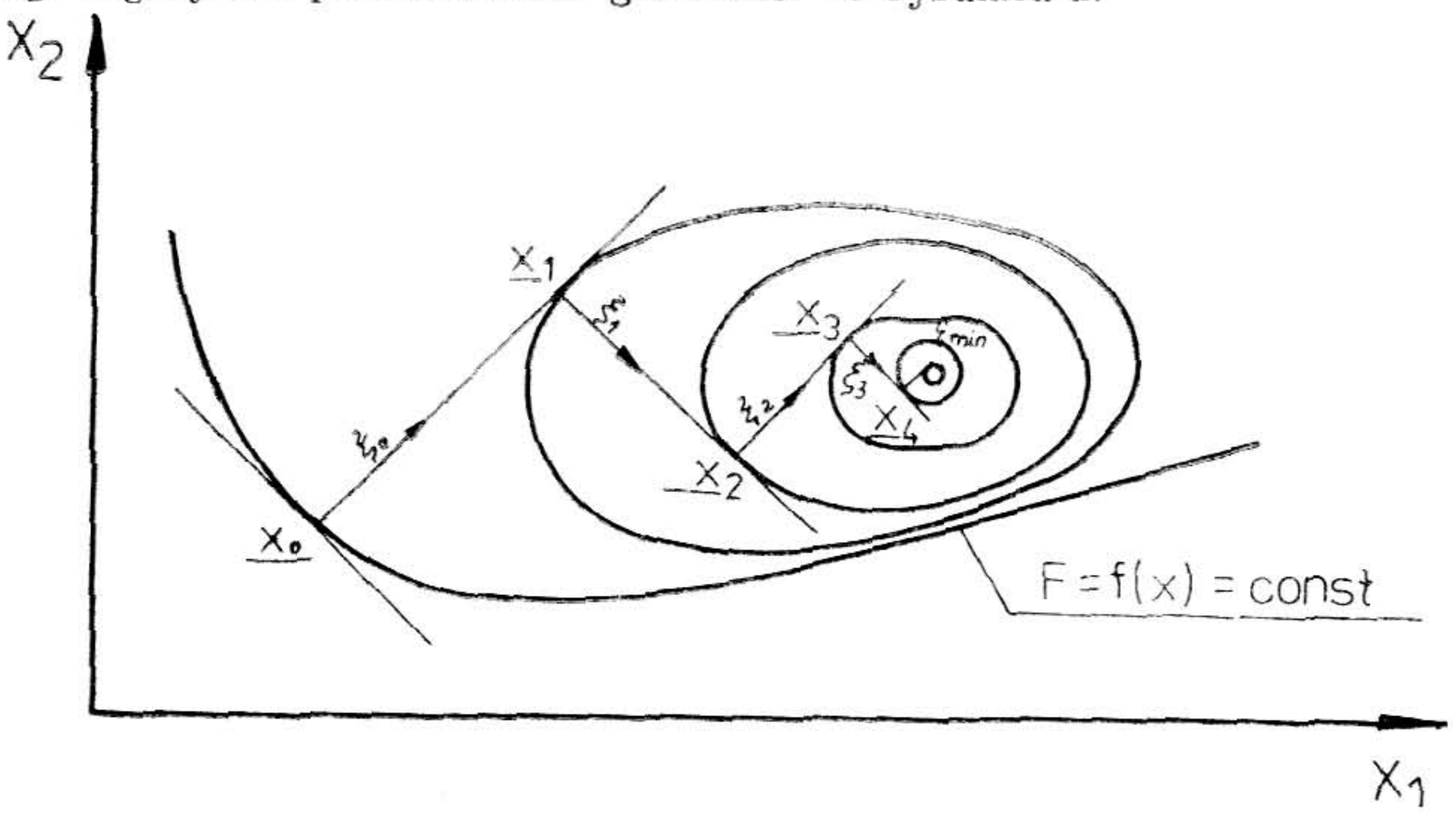
5. Numeryczna realizacja adaptowanej metody przy zastosowaniu EMC

W celu praktycznego rozwiązania przedstawionego zagadnienia wykorzystano metody programowania nieliniowego [4], [5]. Przy poszukiwaniu globalnego minimum funkcji celu określonej wzorem (16) zastosowano metodę minimalizacji funkcji na określonym kierunku. Wykorzystano w tym celu metodę najszybszego spadku, zaliczaną do metod gradientowych, która daje dobre efekty w przypadku dużej liczby zmiennych [9]. W metodzie tej funkcja celu minimalizowana jest w kierunku przeciwnym do jej gradientu.

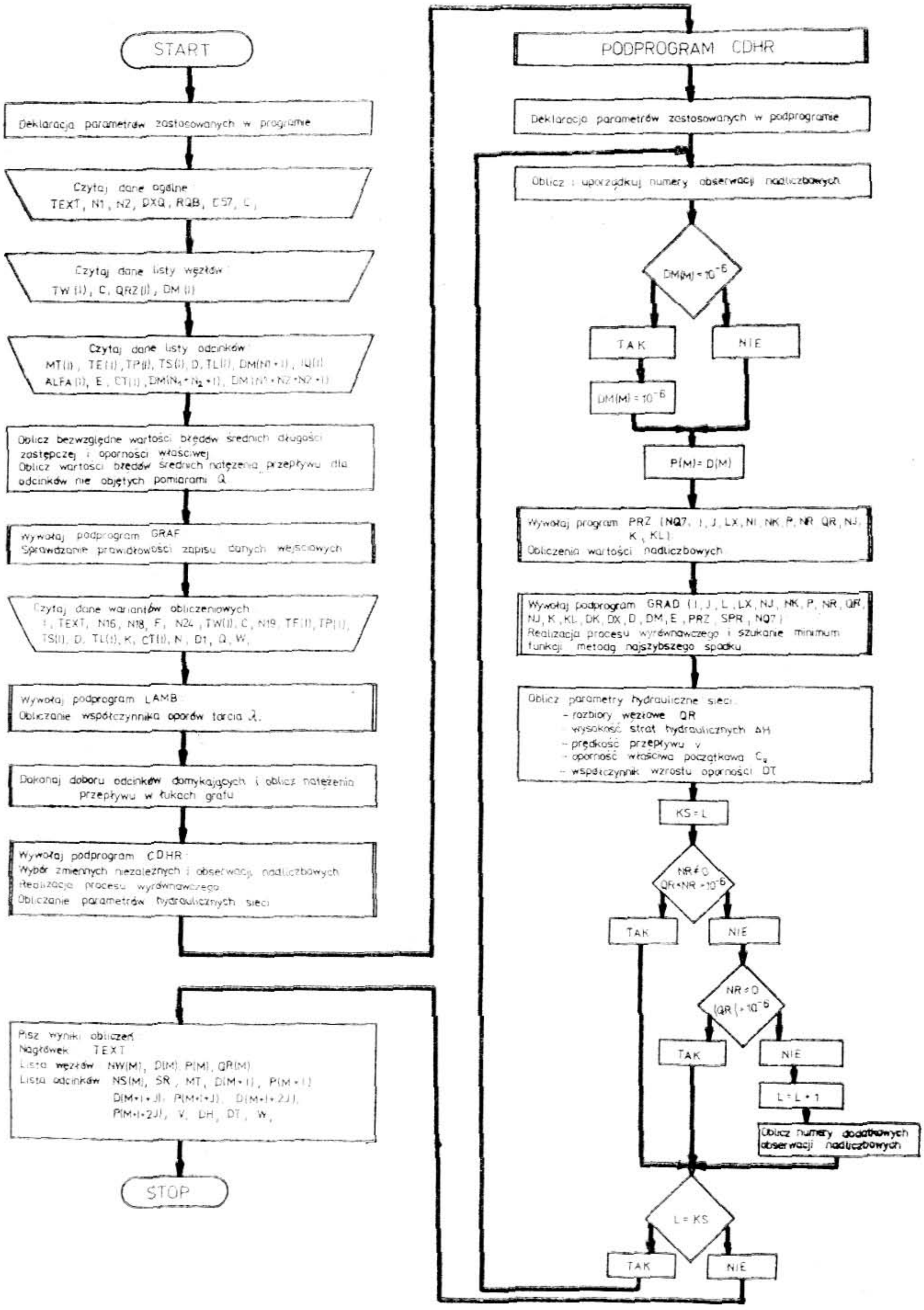
Algorytm procesu wyznaczania minimum funkcji metodą najszybszego spadku przedstawia się następująco:

1. obliczenie w punkcie startowym x_o wartości funkcji celu $E_o = f(x_o)$ oraz jej gradientu $g = g(x_o)$,
2. wyznaczenie kierunku poszukiwań minimum
$$\xi_i = -g$$
3. określenie wzdłuż kierunku ξ_i wartości λ_i minimalizującej $f(x_{i-1} + \lambda_i \cdot \xi_i)$ oraz współrzędnej nowego punktu $x_i = x_{i-1} + \lambda_i \cdot \xi_i$,
4. obliczenie w punkcie x_i wartości gradientu
$$g = g(x_i)$$
5. zbadanie czy występuje minimum funkcji celu $E(x_i)$, jeśli nie, to zachodzi konieczność powtórzenia czynności począwszy od punktu 2.

Sposób wyznaczania minimum funkcji dwóch zmiennych według podanego algorytmu przedstawiono graficznie na rysunku 2.



Rys. 2. Sposób wyznaczania minimum funkcji dwóch zmiennych metodą najszybszego spadku



Rys. 3. Uogólniony schemat blokowy programu HYDR

Prowadzenie skomplikowanego procesu wyrównawczego według adaptowanej metody pośredniczącej jest przy dużej liczbie zmiennych opisujących układ obserwacyjny możliwe jedynie przy zastosowaniu EMC. W tym celu opracowany został program obliczeniowy HYDR. Program ten opracowano w języku Fortran 1900 i przystosowano do obliczeń na EMC Odra 1304 i innych maszynach cyfrowych, wyposażonych w kompilatory języka Fortran. W opracowanej wersji program HYDR umożliwia analizę sieci wodociągowych posiadających 150 węzłów, 170 odcinków oraz 61 zamkniętych obwodów. Długość programu przy podanych ograniczeniach wynosi ok. 28 K. Uogólniony schemat blokowy programu HYDR przedstawiony jest na rys. 3.

6. Podsumowanie i wnioski

Liczba obserwacji dokonanych w układach czynnych sieci wodociągowych jest z reguły znacznie mniejsza od liczby obserwacji niezbędnej do opracowania wyników pomiarów z zastosowaniem rachunku wyrównawczego. W takim przypadku tworzy się fikcyjne układy obserwacyjne, opisane zarówno wielkościami pomierzonymi jak i oszacowanymi w sposób przybliżony na podstawie wyników pomiarów. Poddanie takich fikcyjnych układów obserwacyjnych procesowi wyrównawczemu wymaga określenia wartości błędów średnich zarówno wielkości obserwowanych jak i oszacowanych w sposób przybliżony. Dokładne ustalenie wartości tych błędów jest możliwe jedynie przy pomiarach długości i oporności właściwej odcinków. W pozostałych przypadkach wartości błędów średnich określa się korzystając z zależności (6) po uprzednim oszacowaniu błędów granicznych.

Przedstawiona adaptacja metody pośredniczącej, prowadząca do jednoznacznego określenia stanu hydraulicznego czynnych sieci wodociągowych uwzględnia fakt, że błędami obarczone są zarówno wartości oszacowane w sposób przybliżony jak i wartości zmierzone. W związku z tym przyjmuje się, że wszystkie parametry opisujące stan sieci są wielkościami zmiennymi i podlegają wyrównaniu. Wiąże się z tym bardzo duża liczba niezbędnych obliczeń i iteracji, niepomiernie większa niż w przypadku obliczeń hydraulicznych wykonywanych w fazie projektowania sieci wodociągowej. Nadzieje na skrócenie czasu trwania obliczeń można wiązać z zastosowaniem algorytmu liniowego do realizacji zaadaptowanej metody pośredniczącej.

Zastosowanie zasad rachunku wyrównawczego do oceny sprawności hydraulicznej czynnych sieci wodociągowych umożliwia właściwe wykorzystanie oraz prawidłową interpretację wyników pomiarów terenowych

i pozwala oszacować stan całej sieci na podstawie pomiarów wykonanych na jej wybranych elementach. Uniwersalność zaprezentowanej metody wynika stąd, że może ona zostać łatwo adaptowana do obliczeń czynnych sieci cieplnych i gazowych.

LITERATURA

[1] Bielecki K., Galik S., Lewicki Z., Mielcarzewicz E., Pełka H., *Badania i ocena przydatności do dalszej eksploatacji miejskich sieci wodociągowych*. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej Nr 37. Wrocław 1975.

[2] Hausbrandt S., *Rachunek wyrównawczy i obliczenia geodezyjne*. Tom I, II, PPWK. Warszawa 1970/71.

[3] Lewicki Z., *Metoda oceny sprawności hydraulicznej czynnej sieci wodociągowej na podstawie badań terenowych*. Praca doktorska. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1980.

[4] Mazur A., *Badanie efektywności uogólnionego procesu Seidela w przypadku podziału zbioru niewiadomych na wektory wyznaczane*. Praca doktorska. Zielona Góra 1975.

[5] Mazur A., Gil J., *Wyrównanie dużych układów obserwacyjnych przy zastosowaniu metody gradientu*. Zeszyty Naukowe WSInż. w Zielonej Górze. Nr 27/1974.

[6] Mielcarzewicz E., Lewicki Z., *Identyfikacja stanu technicznego czynnych sieci rozprowadzających wodę na podstawie terenowych badań hydraulicznych*. I Zjazd Wodociągowców Polskich „Polwod-78". Materiały Konferencyjne. Łódź 1978.

[7] Mielcarzewicz E., Lewicki Z., Pełka H., *Opracowanie metod badania i oceny przydatności sieci wodociągowej w miastach przewidzianych do kompleksowego porządkowania*. Raport Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1975.

[8] Pełka H., *Wzrost oporności hydraulicznej przewodów wodociągowych*. Praca doktorska. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1977.

[9] Zangwill W. I., *Programowanie nieliniowe*. W.N.T. Warszawa 1974.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ◆ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Maria Stanisławska,
Janusz Stanisławski

MACIERZ LOGICZNA I JEJ ZASTOSOWANIE W PROJEKTOWANIU SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ I USUWANIA ŚCIEKÓW

Streszczenie

Przedstawiono sposób szeregowania informacji za pomocą macierzy logicznych. Metoda może znaleść zastosowanie w dydaktyce przy nauczaniu przyszłych projektantów systemów.
Rozwązono dwa problemy z zakresu projektowania zewnętrznych sieci wodociągowych i kanalizacyjnych.

Współczesny projektant zajmujący się rozwiązywaniem zadań związanych z projektowaniem różnorodnych systemów (w tym zaopatrzenia w wodę i usuwania ścieków) staje przed problemami wyboru informacji mających wpływ na kształt projektowanego systemu. Informacje te należą często do bardzo odległych dziedzin (np. do zaprojektowania sieci wodociągowej konieczna jest znajomość zarówno materiału z jakiego zostaną wykonane poszczególne jej odcinki, jak i planu zagospodarowania przestrzeniego miasta). Duże ilości tych informacji oraz zależności logiczne i funkcyjne występujące pomiędzy nimi powodują, że wielkiego znaczenia dla poprawności projektowania nabiera kolejność w jakiej informacje te zostaną poddane obróbce przez projektanta. Posługiwanie się pewnymi metodami wyboru i szeregowania informacji może być pomocne również w czasie początkowego nauczania przyszłych projektantów systemów. Niewątpliwą korzyścią wynoszoną ze stosowania tego rodzaju metod jest wyraźne formułowanie problemu projektowego. W każdym wypadku jest nim ostatnia z uszeregowanych kolejno informacji.

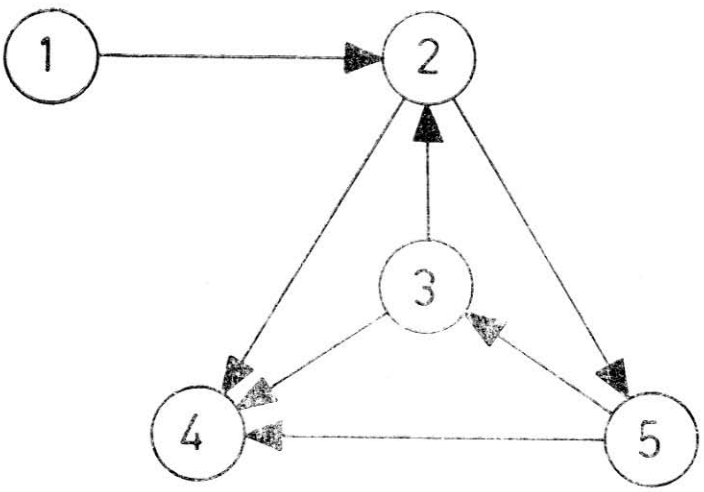
W celu szybkiego ustalania kolejności informacji można posługiwać się macierzami logicznymi budowanymi w oparciu o grafy przekazu informacji. Grafy te należą do klasy grafów zorientowanych, w których ilość i numery węzłów odpowiadają ilości i numerom informacji ze wstępnej listy danych. Łuki grafów określają zależności funkcyjne lub logicz-

Mgr inż. Maria Stanisławska, mgr inż. Janusz Stanisławski — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

ne występujące pomiędzy poszczególnymi informacjami. Zwrot łuków świadczy o kierunku przepływu informacji, tzn. jeśli do sformułowania informacji nr 5 potrzebna jest znajomość informacji nr 3, to obraz graficzny tej zależności będzie jak na rys. 1.

Rys. 1. Ilustracja przekazu informacji

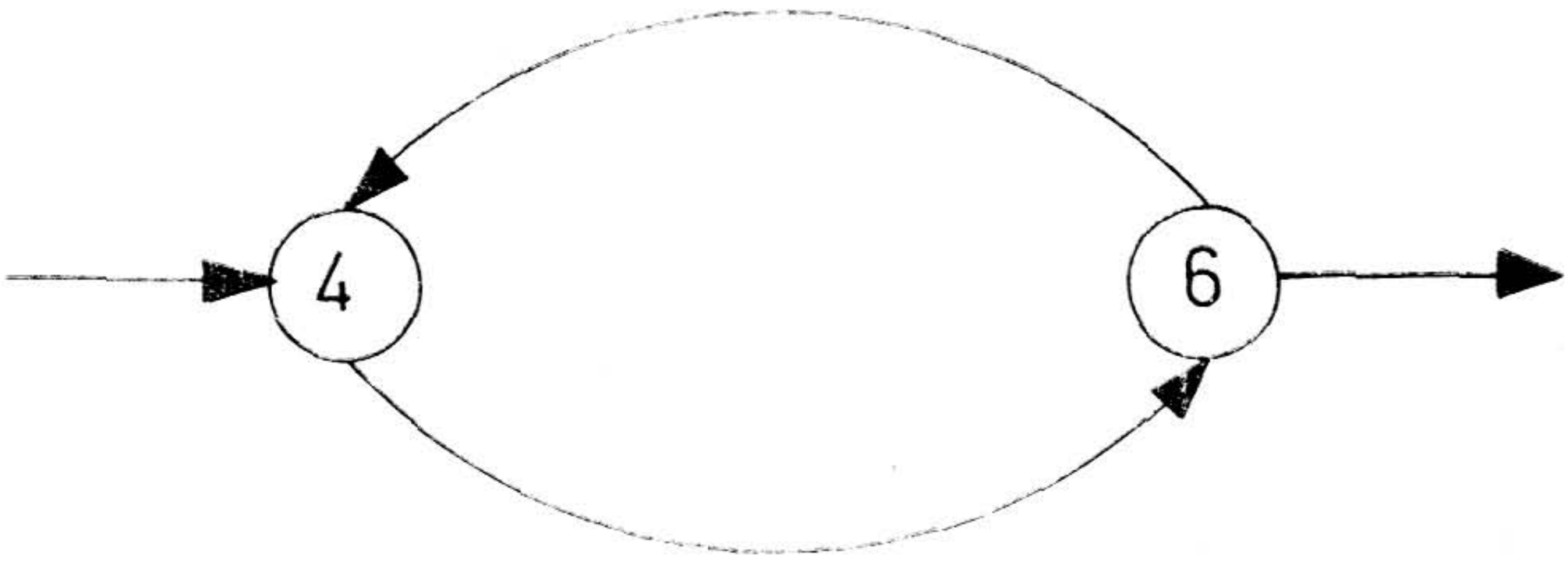
W ten sposób, dysponując listą informacji potrzebnych do rozwiązania zadania projektowego oraz znając zależności między nimi, buduje się graf przekazu informacji. Przykładowy graf przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Przykładowy graf przekazu informacji

W celu zainicjowania procesu szeregowania informacji niezbędnym jest wystąpienie co najmniej jednej informacji określonej niezależnie od pozostałych. Na grafie jest to ten węzeł, który stanowi początek łuku i równocześnie nie jest końcem żadnego z łuków. Węzeł taki można nazwać węzłem swobodnym (np. węzeł nr 1 na rys. 2). Podczas konstruowania grafów przekazu informacji należy unikać cykli pomiędzy dwoma węzłami, tj. sytuacji, w których określenie jednej informacji zależne jest od znajomości drugiej, a tą z kolei można określić na podstawie tej pierwszej (rys. 3).

Na podstawie tak skonstruowanego grafu buduje się macierz logiczną o wyrazach będących zerami lub jednykami [4]. Jest to macierz kwa-



Rys. 3 Sprzężnie zwrotne między informacjami

dratowa stopnia równego liczbie węzłów. Numery jej kolumn i wierszy odpowiadają numerom węzłów w grafie. Zależność między dwoma informacjami oznacza się stawiając jedynkę na przecięciu odpowiedniej kolumny i wiersza, przy czym numer kolumny odpowiada numerowi informacji określanej, a numer wiersza odpowiada numerowi informacji określającej. Zależność pokazaną na rys. 1 zapisać można w macierzy logicznej przez postawienie jedynki na przecięciu piątej kolumny i trzeciego wiersza. Tak sformułowany sposób konstrukcji macierzy narzuca jej pewne cechy charakterystyczne:

— ilość wyrazów będących jedynkami równa się ilości łuków w grafie,
— główna przekątna macierzy zbudowana jest z wyrazów będących zerami,
— kolumny, których numery odpowiadają węzłom swobodnym zbudowane są z samych zer.

Aby ułożyć sekwencję informacji według macierzy, zwanej dalej macierzą A, wykreśla się z niej daną kolumnę i wiersz, których numer odpowiada numerowi węzła swobodnego [4]. Informację o tym numerze umieszcza się na początku rozpatrywanej sekwencji, gdyż, jak to wcześniej stwierdzono, dla jej zrozumienia nie potrzeba znajomości innych informacji. Uzyskujemy w ten sposób nową macierz A_1, z której ponownie wykreślamy kolumny o wyrazach będących zerami oraz te wiersze, których numery odpowiadają wykreślonym kolumnom. Zabieg ten przeprowadza się tak długo, aż w macierzy pozostaną kolumny składające się z samych zer. Listę informacji szereguje się według kolejności wykreślonych kolumn.

Kontrola poprawności ustalonej kolejności przekazu informacji odbywa się za pomocą macierzy B. Kolumny i wiersze tej macierzy uszeregowane są według kolejności przekazu informacji. Jeśli ustalona ko-

lejność jest poprawna, to macierz B stanie się macierzą trójkątną, tzn. niezerowe jej wyrazy wystąpią powyżej przekątnej macierzy [3].

Ustalanie kolejności przekazu informacji podaną metodą jest łatwe dla grafów o niewielkiej liczbie łuków i większej niż jeden ilości węzłów swobodnych. Może być utrudnione lub czasami niewykonalne dla grafów cyklicznych o dużej liczbie łuków i niewystarczającej liczbie węzłów swobodnych. W praktyce inżynierskiej często spotkać się można z zagadnieniami, których rozwiązanie uzależnione jest od dużej ilości informacji wzajemnie ze sobą powiązanych oraz niewielkiej (najmniej jednej) ilości informacji niezależnych od innych. Celowym więc wydaje się ustalenie minimalnej ilości informacji niezależnych od innych (węzłów swobodnych), dla których układ przekazu informacji (graf) da się uporządkować, przy założeniu pewnej ilości powiązań między informacjami (liczba łuków).

Pomiędzy liczbą węzłów w grafie (W), a maksymalną ilością łuków w grafie $L = L_{max}$ zachodzi związek znany w kombinatoryce jako kombinacja bez powtórzeń na zbiorze dwuelementowym:

$$L_{max} = \binom{W}{2} = \frac{W!}{2!(W-2)!} = \frac{W(W-1)}{2}$$

Graf przekazu informacji utworzony z W węzłów i L_{max} łuków jest grafem cyklicznym. Może on zawierać dokładnie jeden węzeł swobodny. Utworzona na jego podstawie macierz logiczna przybiera postać:

$$A = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \mathbf{0} & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{0} & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad \text{lub } A' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

Układ zilustrowany za pomocą macierzy A jest układem informacji uporządkowanych pod wzglzdem kolejności ich przekazu. Układ, który prezentuje macierz A′ da się natychmiast uporządkować przez prosty zabieg transponowania macierzy A′.

Grafy zawierające minimalną liczbę łuków zwane są drzewami. Zależność między liczbą węzłów W i liczbą łuków L w drzewie jest następująca:

$$L_{min} = W - 1$$

Grafy takie mogą zawierać węzły swobodne (W_{sw}) w ilości od 1 do W — 1. Można wykazać, że każdy układ przekazu informacji ilustrowa-

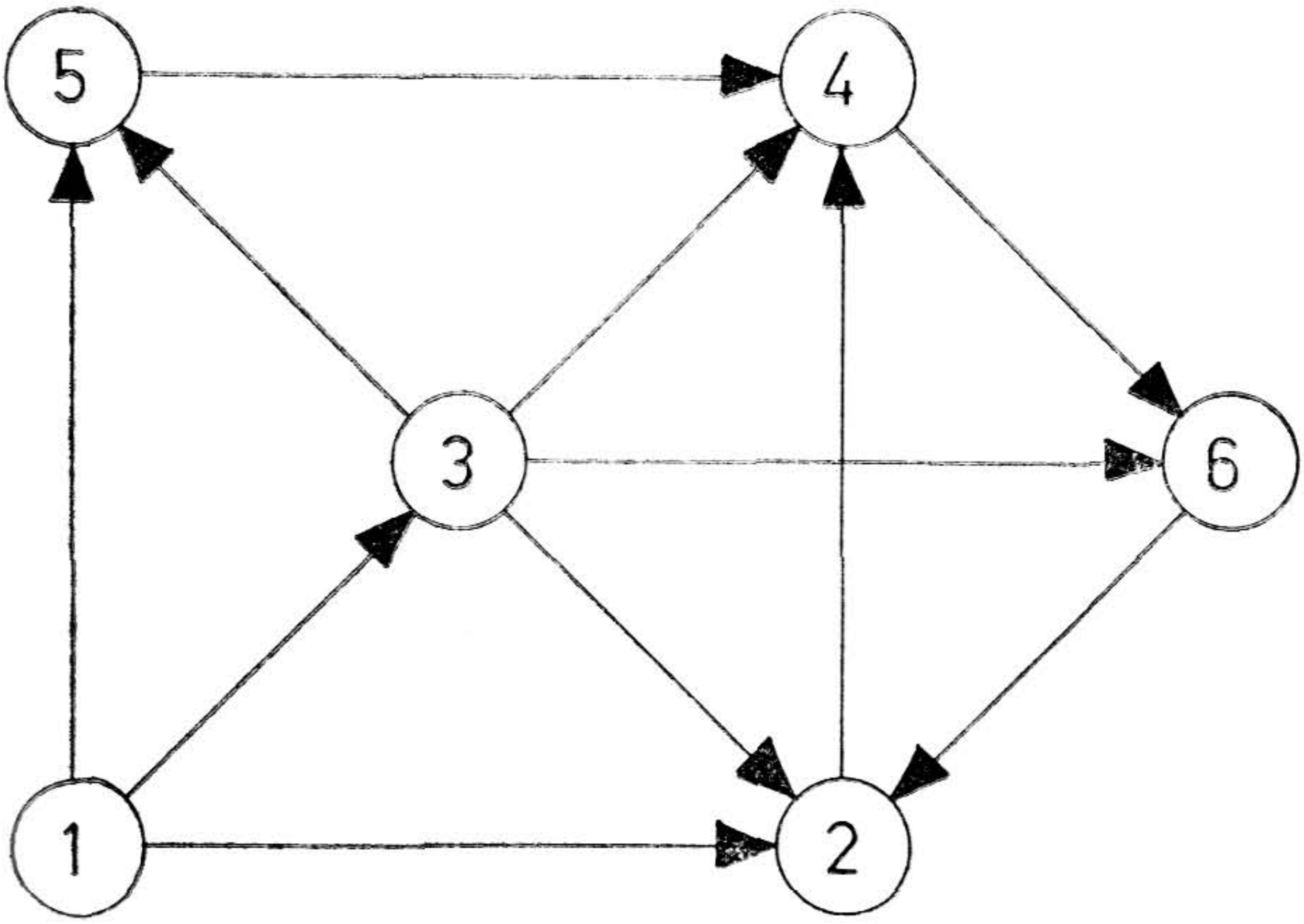
ny drzewem jest łatwy do uporządkowania. Np. dla $W_{sw} = 1$ macierz logiczna przybierze postać:

$$A = \left|\begin{array}{l} 0\ 1\ 0\ 0 \ldots 0 \\ 0\ 0\ 1\ 0 \ldots 0 \\ 0\ 0\ 0\ 1 \ldots 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 0 \end{array}\right| \quad \text{lub } A' = \left|\begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 0 \\ 1\ 0\ 0\ 0 \ldots 0 \\ 0\ 1\ 0\ 0 \ldots 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 0 \end{array}\right|$$

a dla $W_{sw} = W - 1$ macierz logiczna będzie postaci:

$$A = \left|\begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0\ 0\ 0\ 0 \ldots 0 \end{array}\right|$$

Dla wszelkiego rodzaju innych układów zawierających ilości przekazu informacji w liczbie $L\langle L_{min}, L_{max}\rangle$ powstaną grafy będące kombinacjami cykli i grafów otwartych. Ogólnie stwierdzić można, że warunkiem koniecznym do uporządkowania każdego układu jest wystąpienie w grafie informacji co najmniej jednego węzła swobodnego oraz dokładnie



Rys. 4. Graf niejednoznacznie określający przepływ informacji — brak węzła kończącego przepływ informacji

jednego węzła, który jest końcem jednego lub kilku łuków, ale nie jest początkiem żadnego z nich.

Każdy graf, który nie odpowiada temu warunkowi nie jest grafem jednoznacznie określającym przekaz informacji (patrz rys. 4). Graf ten zawiera jeden węzeł swobodny (węzeł nr 1), ale nie zawiera węzła, na którym kończy się przepływ informacji. Skonstruowana na jego podstawie macierz logiczna jest następującej postaci:

$$A = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Porządkując kolejność informacji metodą przedstawioną na wstępie można jednoznacznie ustalić sekwencję informacji 1, 3, 5.

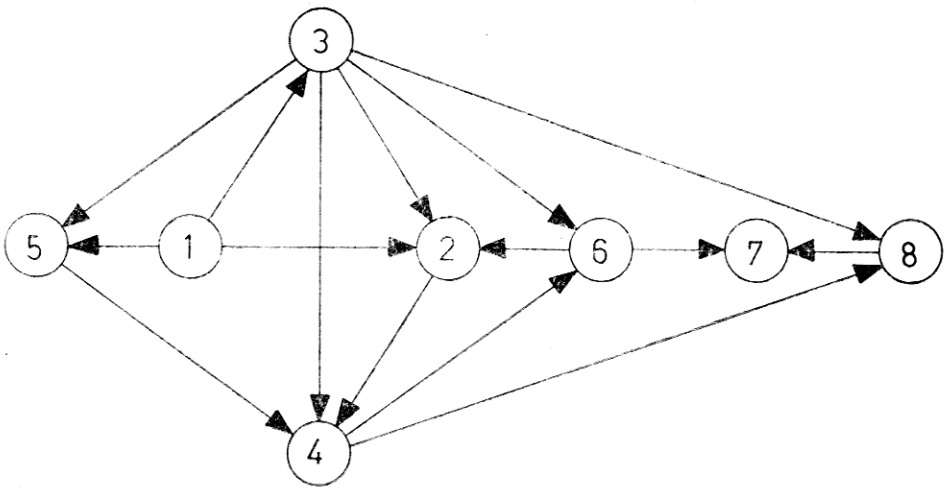
Przedstawiony wyżej warunek zapewniający porządkowanie informacji jest warunkiem koniecznym ale nie wystarczającym Nie można np. rozwiązać układu ilustrowanego grafem na rys. 5 mimo, że zawiera on zarówno węzeł swobodny jak i węzeł będący jedynie końcem łuków.

Na podstawie macierzy logicznej A można ustalić, jak poprzednio, jedynie kolejność informacji 1, 3, 5.

$$A = \begin{array}{c|cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

Z powyższych rozważań wynika, że niemożliwym jest podanie algorytmu na budowę grafu przekazu informacji umożliwiającego w sposób jednoznaczny ułożenie sekwencji informacji. Trudność spowodowana jest nie dającą przewidzieć się ilością sprzężeń między informacjami, które „zapętlają" przekaz informacji. W przeważającej jednak większości zagadnień dotyczących projektowania systemów można doprowadzić do uniknięcia tego problemu przez takie formułowanie informacji wstępnych, aby zależności pomiędzy nimi były jednoznacznie określone.

Poniżej przedstawione zostaną dwa przykłady dotyczące projektowa-



Rys. 5. Graf niejednoznacznie określający przypływ informacji, mimo występowania węzła kończącego przepływ informacji

nia systemów zaopatrzenia w wodę i usuwania ścieków, w których kolejność informacji została ustalona prezentowaną metodą.

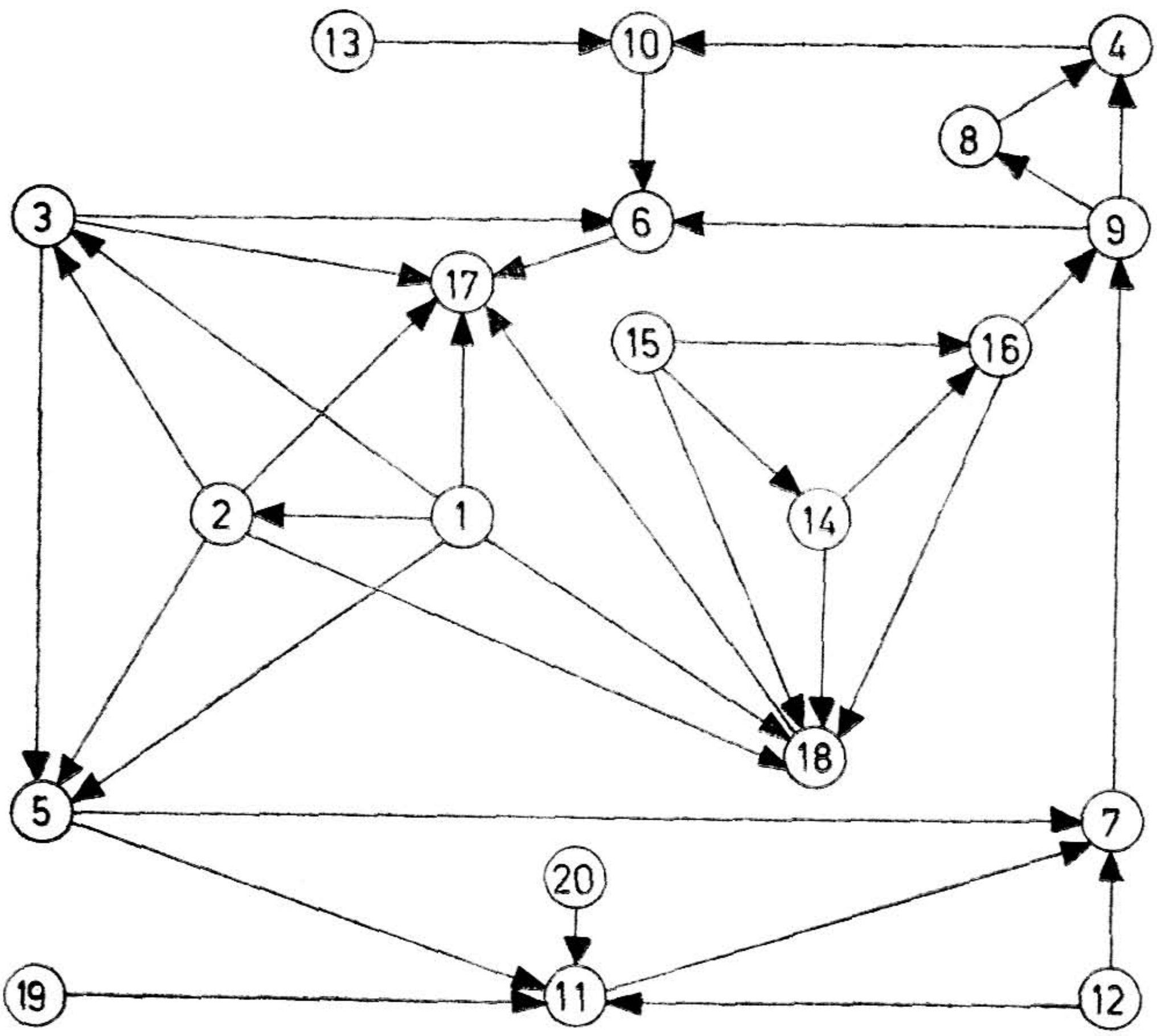
Przykład 1

Ustalić sekwencję informacji potrzebnych do zaprojektowania miejskiej sieci wodociągowej.

Lista informacji [2]

1. Plan sytuacyjno-wysokościowy wraz z zagospodarowaniem przestrzennym miasta.
2. Topologia projektowanej sieci wodociągowej (rozmieszczenie magistral, pompowni, zbiorników itp.) oraz rozmieszczenie węzłów obliczeniowych.
3. Długości poszczególnych odcinków sieci.
4. Średnice poszczególnych odcinków sieci.
5. Podział miasta na powierzchnie cząstkowe.
6. Wysokość strat ciśnienia na poszczególnych odcinkach sieci.
7. Wielkości odcinkowych i węzłowych rozbiorów wody.
8. Prędkości przepływu wody w odcinkach sieci.
9. Miarodajne przepływy wody w odcinkach sieci.
10. Współczynniki oporu hydraulicznego poszczególnych odcinków sieci o jednakowej średnicy przewodu.

11. Jednostkowe zużycie wody przyporządkowane poszczególnym powierzchniom cząstkowym [dm³/sha].
12. Gęstość zaludnienia w mieście.
13. Chropowatość wewnętrznych ścianek odcinków sieci.
14. Warunki pracy pomp.
15. Rozkład godzinowy zapotrzebowania wody w mieście.
16. Objętości zbiorników sieciowych.
17. Rzędne ciśnień piezometrycznych w węzłach sieci.
18. Rzędne zwierciadeł wody w zbiornikach pompowni i w zbiornikach sieciowych, rzędne geodezyjne węzłów obliczeniowych oraz rzędne wymaganego ciśnienia gospodarczego w mieście.



Rys. 6. Graf przekazu informacji do projektowania miejskiej sieci wodociągowej

19. Jednostkowe zużycie wody przez jednego mieszkańca [dm³/mkd].
20. Jednostkowe wskaźniki zużycia wody na inne niż mieszkalnictwo cele (przemysł, komunikacja itd.).

Na rys. 6 przedstawiono graf przekazu informacji skonstruowany na podstawie listy informacji.

Na bazie tego grafu zbudowana została macierz logiczna A o następującej postaci:

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Na jej podstawie, przez zastosowanie prezentowanej metody, można ustalić kolejność informacji koniecznych przy projektowaniu sieci wodociągowej. Sekwencja ta jest następująca: 1, 2, 3, 5, 12, 13, 15, 14, 16, 18, 19, 20, 11, 7, 9, 8, 4, 10, 6, 17.

W celu sprawdzenia poprawności ustalonej kolejności przekazu informacji zbudowano macierz sprawdzającą B:

$$B = \begin{array}{c|cccccccccccccccccc} & 1 & 2 & 3 & 5 & 12 & 13 & 15 & 14 & 16 & 18 & 19 & 20 & 11 & 7 & 9 & 8 & 4 & 10 & 6 & 17 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Jak widać powyżej, w macierzy tej niezerowe wyrazy znajdują się ponad przekątną, więc ustalona kolejność jest poprawna.

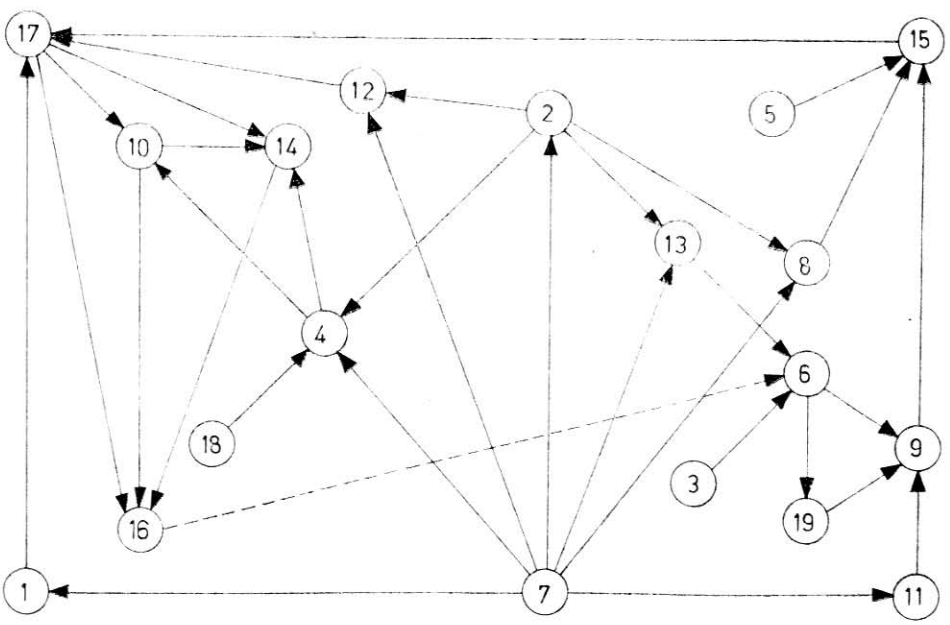
Przykład 2

Ustalić sekwencję informacji potrzebnych do projektowania sieci kanalizacji deszczowej.

Lista informacji [1]

1. Wielkość współczynników spływu powierzchniowego.
2. Plan sieci kanalizacyjnej z zaznaczonym rozmieszczeniem węzłów obliczeniowych i kierunkami przepływów ścieków.

3. Prędkość przepływu ścieków w kanale — założona.
4. Spadki dna kanałów.
5. Średnia wysokość opadu deszczowego na danym terenie.
6. Czas przepływu ścieków przez poszczególne odcinki sieci.
7. Plan sytuacyjno-wysokościowy miasta wraz z zagospodarowaniem przestrzennym.
8. Częstotliwość występowania opadu deszczowego.
9. Czas trwania deszczu miarodajnego.
10. Kształt i wymiar odcinków sieci.
11. Czas koncentracji terenowej.
12. Wielkości powierzchni przynależnych odcinkom sieci.
13. Długości poszczególnych odcinków sieci.
14. Napełnienie ścieków w poszczególnych odcinkach sieci.
15. Natężenie deszczu miarodajnego.
16. Prędkość przepływu ścieków w kanale — rzeczywista.



Rys. 7. Graf przekazu informacji do projektowania sieci kanalizacji deszczowej

17. Przepływ obliczeniowy ścieków deszczowych.
18. Zagłębienie odcinków sieci (H_{min}, H_{max}).
19. Czas retencji kanałowej.

Na rys. 7 przedstawiono graf przekazu informacji skonstruowany na podstawie listy informacji.

Na bazie tego grafu zbudowana została macierz logiczna A o następującej postaci:

$$A = \begin{array}{c|ccccccccccccccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

W oparciu o powyższą macierz wyznaczono sekwencję informacji: 3, 5, 7, 1, 2, 8, 11, 12, 13, 6, 18, 4, 19, 9, 15, 17, 10, 14, 16. Poprawność

ustalonej kolejności przekazu informacji sprawdzono w poniżej prezentowanej macierzy B:

$$B = \begin{array}{c|cccccccccccccccccc} & 3 & 5 & 7 & 1 & 2 & 8 & 11 & 12 & 13 & 6 & 18 & 4 & 19 & 9 & 15 & 17 & 10 & 14 & 16 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

W wypadku gdy prędkość rzeczywista przepływu ścieków w kanale różni się od założonej o więcej niż 0,1 m/s należy powtórzyć przekaz informacji, rozpoczynając od węzła nr 6. Informacja nr 6, reprezentowana na grafie tym węzłem, będzie zależna od informacji nr 13 i nr 16 (łuk zaznaczony linią przerywaną), a informacja nr 3 okaże się niepotrzebną. Wówczas informacje o numerach 6, 9, 15, 17 będą reprezentowały odpowiednio rzeczywisty czas przepływu ścieków przez poszczególne odcinki sieci, rzeczywisty czas trwania deszczu miarodajnego, jego rzeczywiste natężenie oraz rzeczywiste natężenie przepływu ścieków przez kanał. Należy zwrócić uwagę, że powyższy zabieg nie spowoduje zmiany sekwencji informacji.

LITERATURA

[1] Błaszczyk W., Roman M., Stamatello H., *Kanalizacja*. Warszawa 1974. Arkady. t.I.

[2] Mielcarzewicz E.W. *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*. Warszawa 1977. Arkady.

[3] Ralston A. *Wstęp do analizy numerycznej*. Warszawa 1971. PWN.

[4] Styś J. Szymański Wł. *Zastosowanie metod matematycznych w dydaktyce i projektowaniu instolacji wewnętrznych*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 3/1978.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Grzegorz Chudzio,
Michał Głomba,
Stanisław Suder

OCZYSZCZANIE GAZÓW ODLOTOWYCH Z DWUTLENKU SIARKI W KOLUMNIE RURKOWEJ WYPEŁNIONEJ

Wstęp

Do czyszczenia gazów odlotowych z dwutlenku siarki powszechnie stosowane są metody absorpcyjne przy czym proces absorpcji realizowany jest najczęściej w kolumnach wypełnionych.

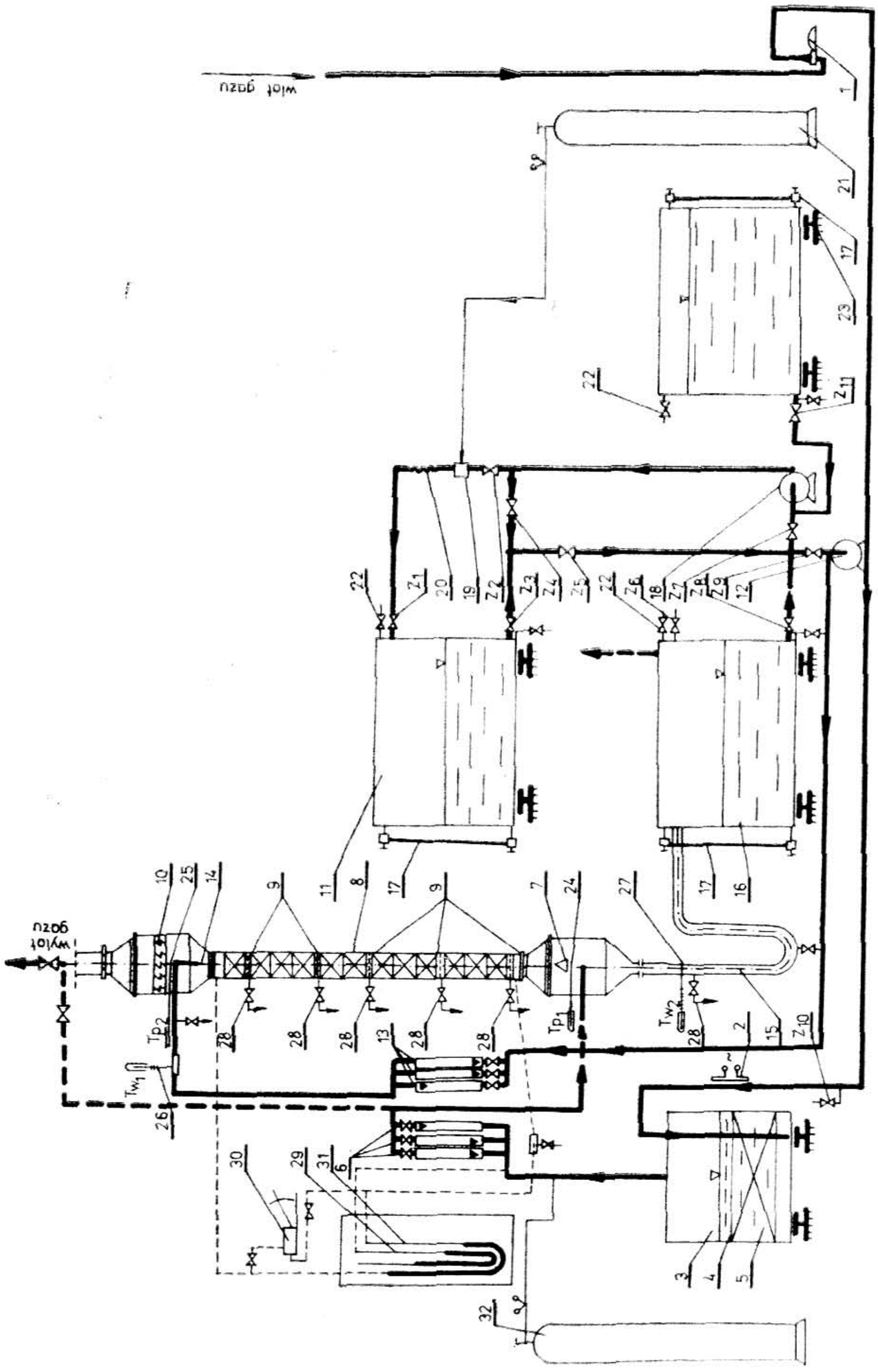
Kolumny wypełnione charakteryzują się dużą przepustowością faz, małymi oporami przepływu, dużą skutecznością oczyszczania oraz niskimi kosztami budowy.

Wadą ich jest między innymi niekontrolowany rozdział cieczy w warstwie wypełnienia co czasami powoduje spadek sprawności urządzenia. Od szeregu lat prowadzone są badania nad modernizacją tych kolumn. Wynikiem tych prac było opracowanie nowego typu kolumny wypełnionej zwanej kolumną rurkową wypełnioną (7) będącą połączeniem klasycznej kolumny rurkowej i kolumny wypełnionej. Dotychczasowe badania kolumn rurkowych wypełnionych (5, 6) wykazały ich dużą przydatność do oczyszczania gazów odlotowych. W pracy tej autorzy pragną przedstawić wyniki hydrauliki i kinetyki absorpcji dwutlenku siarki w kolumnie wypełnionej pierścieniami Białeckiego o wymiarach 25×25×0,5 mm, 35×35×0,5 mm i 50×50×0,8 mm wykonanymi ze stali kwasoodpornej 1H189T. Wysokość kolumny wynosiła $H = 1$ m. Badania hydrauliki przeprowadzono na układzie: powietrze—woda, natomiast absorpcję SO_2 badano w roztworze wodnym NaOH. Sposób przeprowadzenia badań i obliczeń przedstawiono we wcześniejszej pracy (6).

Aparatura doświadczalna

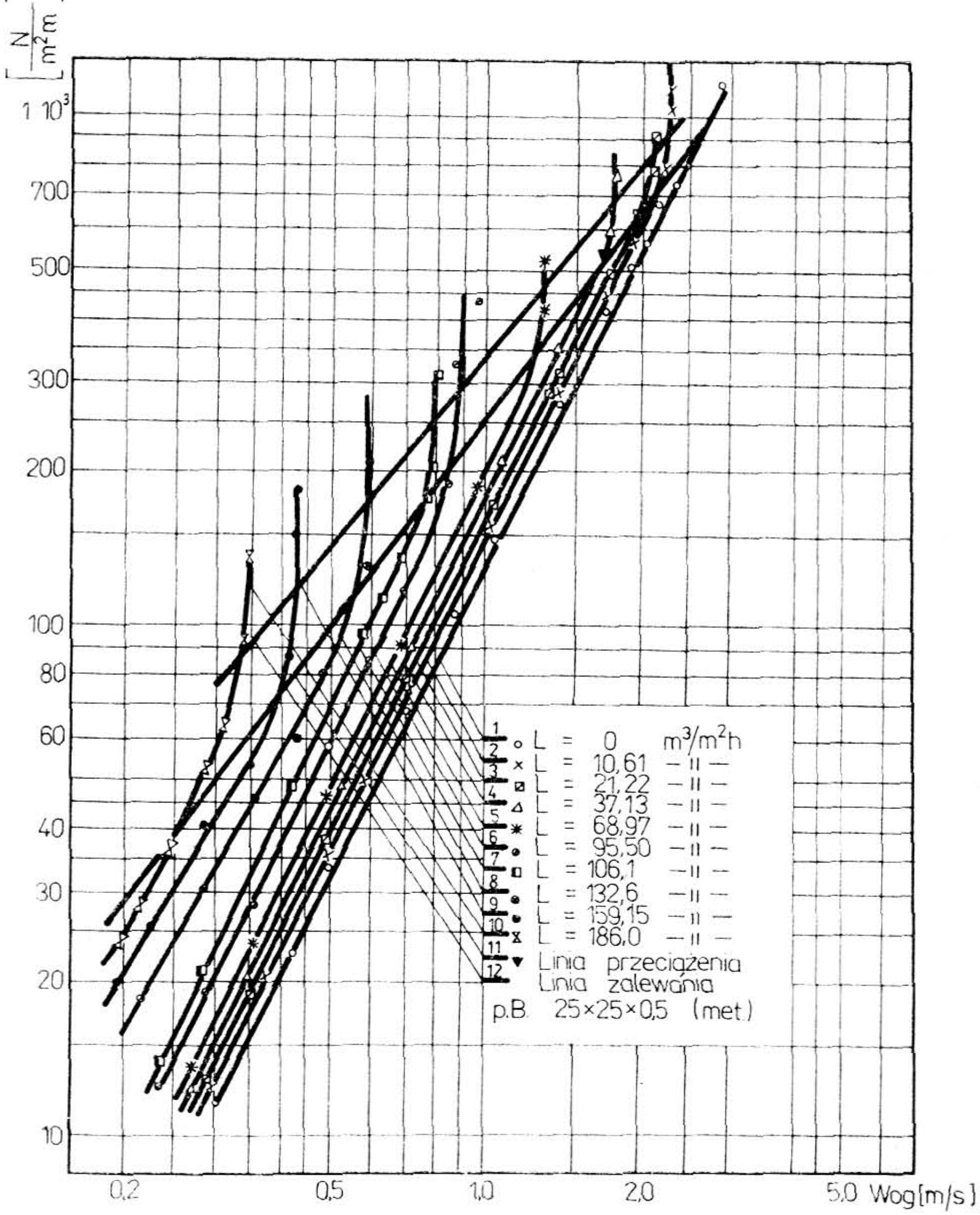
Schemat aparatury do badań hydrauliki i kinetyki absorpcji SO_2 przedstawiono na rys. 1. Powietrze atmosferyczne tłoczono sprężarką

Mgr inż. Grzegorz Chudzio — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze
Dr inż. Michał Głomba, dr inż. Stanisław Suder — Politechnika Wrocławska



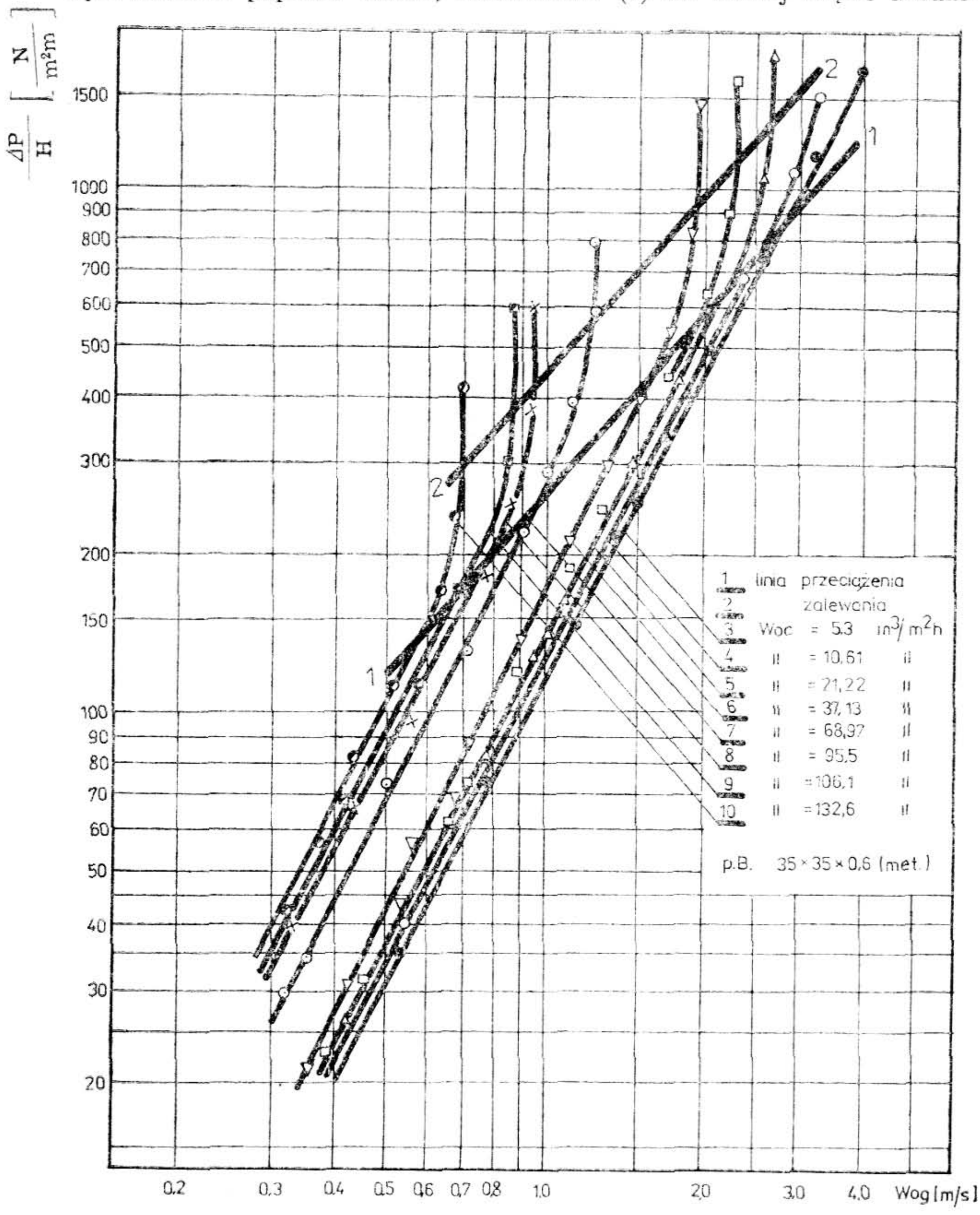
Rys. 1. Schemat aparatury doświadczalnej do badania hydrauliki i wymiany masy w kolumnach rurkowych z wypełnieniem układanym

(1) do nawilżacza (3). W zależności od temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego okresowo dogrzewano je grzejnikiem (2). W nawilżaczu wypełnionym pierścieniami Raschiga o średnicy 15 mm i wo-



Rys. 2. Pierścienie Białeckiego 25×25×0,5 (met). Zależność oporów przepływu od prędkości fazy gazowej przy przepływie jedno i dwufazowym
$H = 1\ m,\ T = 293\ K,\ P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$

dą następowała stabilizacja wilgotności i temperatury. Następnie szczepiono powietrze dwutlenkiem siarki z butli (32). Tak przygotowany gaz wprowadzano poprzez baterię rotametrów (6) do dolnej części kolum-



Rys. 3. Pierścienie Białeckiego 35×35×0,6 (met). Zależność oporów przepływu od prędkości gazu przy przepływie jedno i dwufazowym
$H = 1\ m,\ T = 293\ K,\ P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$

ny, skąd poprzez stożek wypływowy (7) trafiał do badanej rurki (8), gdzie kontaktował się ze spływającą cieczą, a następnie uchodził do atmosfery poprzez odkraplacz (10). Roztwór zraszający podawano na szczyt kolumny ze zbiornika (11) pompą (12) poprzez baterię rotametrów (13) i wylewkę (14). Stąd ciecz spływała poprzez syfon (15) do zbiornika 16) tworząc obieg zamknięty.

Wyniki badań hydrauliki

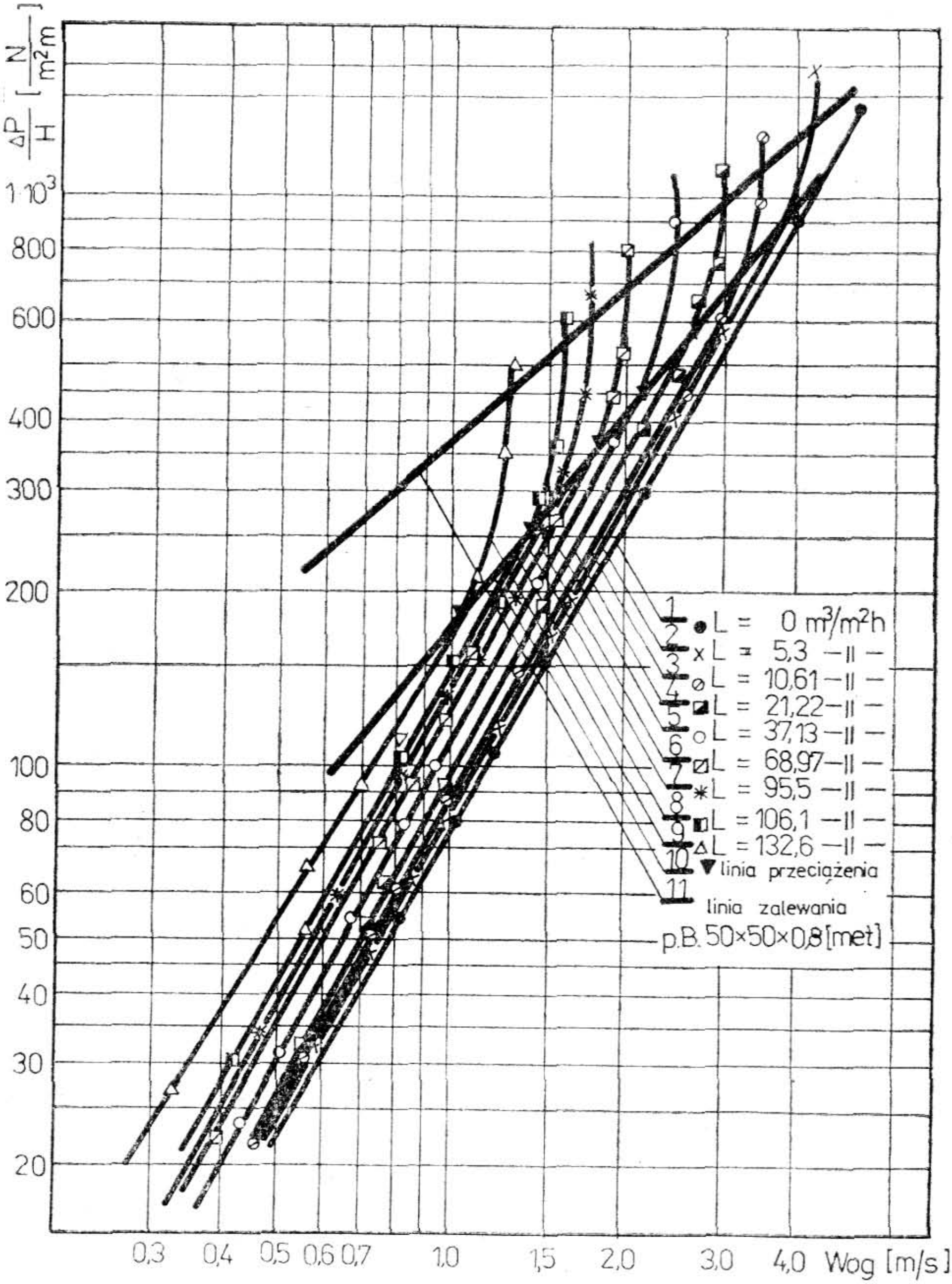
Na rys. 2 pokazano wpływ gęstości zraszania na opory przepływu dla pierścieni Białeckiego 25×25×0,5 (met). Charakterystyczny jest układ krzywych, leżących równolegle w dolnym przedziale prędkości, następnie odchylających się od linii prostej (dla L = 0) w miarę wzrostu prędkości gazu. Przy dalszym wzroście prędkości gazu krzywe, opisujące spadki ciśnień przy stałych gęstościach zraszania, przyjmują przebieg coraz bardziej stromy (obszar przeciążenia), przechodząc w pionowy w obszarze zalewania. Wpływ prędkości gazu na stopień zatrzymania cieczy na tym wypełnieniu w obszarze zatrzymania jest niewielki. Tak więc wzrost oporów przepływu złoża zraszanego w stosunku do oporów przepływu złoża suchego w obszarze zatrzymania jest spowodowany prawie wyłącznie zmniejszeniem wolnej przestrzeni przepływu gazu, nie występuje natomiast hamujące oddziaływanie fazy gazowej, charakterystyczne dla kolumn z wypełnieniem (1). Ryc. 3 przedstawia zależność $\frac{\Delta P}{H} = f\ (w_{og})$ przy L = const dla pierścieni Białeckiego 35×35×0,6 (met), natomiast rys. 4 — tę samą zależność dla pierścieni Białeckiego 50×50×0,8 (met). Dla tych wypełnień stwierdzono większe oddziaływanie fazy gazowej na wielkość oporów, o czym świadczą bardziej odchylone od linii L = 0 krzywe spadków ciśnień przy stałych gęstościach zraszania.

W grupie przebadanych wypełnień najwyższe opory stwierdzono dla pierścieni o średnicy 25 mm, niższe dla pierścieni o średnicy 35 mm i najniższe dla pierścieni o średnicy 50 mm.

Porównanie oporów przepływu dla kolumn rurkowych wypełnionych i kolumn wypełnionych

Porównanie dokonano dla pierścieni Białeckiego o rozmiarze 25×25×0,5 (met) i 35×35×0,6 (met). Wyniki pomiarów hydrauliki kolumn z wypełnieniem zaczerpnięto z pracy Ziołkowskiego i Maćkowiaka (2). Wielkość oporów przepływu dla poszczególnych wypełnień, wybranych gęstości zraszania i prędkości gazu zestawiono w tab. 1.

Jak wynika z tabeli 1 kolumny rurkowe z układanymi pierścieniami Białeckiego wykazują niższe opory przepływu niż klasyczne kolumny wypełnione tym samym wypełnieniem. Różnice zwiększają się, na ko-



Rys. 4. Pierścienie Białeckiego 50×50×0,8 (met). Zależność przepływu od prędkości gazu przy przepływie jedno i dwufazowym
$H = 1\ m$, $T = 293\ K$, $P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$

rzyść kolumn rurkowych, wraz ze wzrostem gęstości zraszania. Np. dla pierścieni Białeckiego 25×25×0,5 (met) przy L = 0 opory w kolumnie z wypełnieniem były większe o ok. 33%, przy L = 10,6 m^3/m^2h wzrost wynosił 80%, natomiast przy L = 37 m^3/m^2h — wynosił 175%. Jedno-

Tabela 1

PORÓWNANIE WIELKOŚCI I OPORÓW PRZEPŁYWU DLA KOLUMN RURKOWYCH Z WYPEŁNIENIEM UKŁADANYM I KOLUMN Z WYPEŁNIENIEM T = 293 K, P = 1,013 • 10^5 N/m^2

Lp.	Rodzaj pierścieni	Prędkość fazy gazowej w_{og} m/s	Gęstość zraszania $L/m^3/m^2/h$	Opory przepływu w kol. rurkowej N_l/m^2m	Opory przepływu w kol. z wypeł. N_l/m^2m
1	P. Białeckiego 25×25×0,5 (met)	0,5	0	33	48
			10,6	37	65
			37	40	110
		1,0	0	135	180
			10,6	150	270
			37	180	490
2	P. Białeckiego	0,5	0	30	29
			37	35	35
			37	44	49
		1,0	0	75	120
			10,6	90	140
			37	175	200

cześnie można zauważyć zmniejszenie się różnicy spadków ciśnień wraz ze wzrostem rozmiaru wypełnienia. Przy gęstości zraszania L = 37 m^3/m^2h i w_{og} = 1 m/s dla pierścieni Białeckiego 25×25×0,5 (met) wzrost oporów w kolumnie z wypełnieniem wynosi 172%, a dla pierścieni o rozmiarze 35×35×0,6 (met) — 14%. Fakt ten można tłumaczyć wpływem większej nieregularności kształtów kanałów w złożu składającym się z elementów wypełnień o mniejszej średnicy, co powoduje występowanie większych współczynników oporów przepływu. Dla większych elementów wypełnień wpływ ten jest mniej widoczny.

Matematyczna interpretacja wyników

Przy projektowaniu kolumn absorpcyjnych możliwość obliczania oporów przepływu ma istotne znaczenie. Dotychczas opracowane rów-

nania mają charakter empiryczny i odnoszą się tylko do wąskiego zakresu przypadków (3).

Na wielkość oporów przepływu przez wypełnienie zraszane ma wpływ stopień zatrzymania cieczy na wypełnieniu, powodujący zmianę objętości wolnej aparatu oraz wzajemne oddziaływanie przepływających faz. Zatrzymanie cieczy oraz wzajemne oddziaływanie faz uzależnione są z kolei od rodzaju i geometrii wypełnienia (zwilżalność, kształt, wielkość) oraz od własności fizyko-chemicznych i hydrodynamicznych przepływających mediów. Opory przepływu na wypełnieniu suchym określono następującym równaniem:

$$\frac{\Delta P_o}{H} = c \cdot w_{og}{}^{n} \tag{1}$$

gdzie:

dla pierścieni o średnicy 25 mm
$c = 137{,}2;\ n = 1{,}99$
dla pierścieni o średnicy 35 mm
$c = 116{,}3;\ n = 1{,}95$
dla pierścieni o średnicy 50 mm
$c = 76{,}2;\ n = 1{,}79$

Korelację określono dla prędkości gazu $w_{og} = 0{,}4$—4 m/s z maksymalnym błędem względnym $\delta = \pm 5{,}5\%$.

Opory przepływu na wypełnieniu zraszanym określa zależność:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_o} = 1 + S_1 \cdot Re_g + S_2 \cdot Re_c \tag{2}$$

gdzie:

dla pierścieni o średnicy 25 mm
$S_1 = 1{,}16 \cdot 10^{-5};\ S_2 = 1{,}23 \cdot 10^{-3}$
$Re_c = 76$—759; $Re_g = 370$—2200
dla pierścieni o średnicy 35 mm
$S_1 = 1{,}6 \cdot 10^{-5};\ S_2 = 1{,}93 \cdot 10^{-3}$
$Re_c = 52$—687; $Re_g = 634$—3168
dla pierścieni o średnicy 50 mm
$S_1 = 2{,}69 \cdot 10^{-5};\ S_2 = 5{,}27 \cdot 10^{-4}$
$Re_c = 76$—1526; $Re_g = 703$—4800

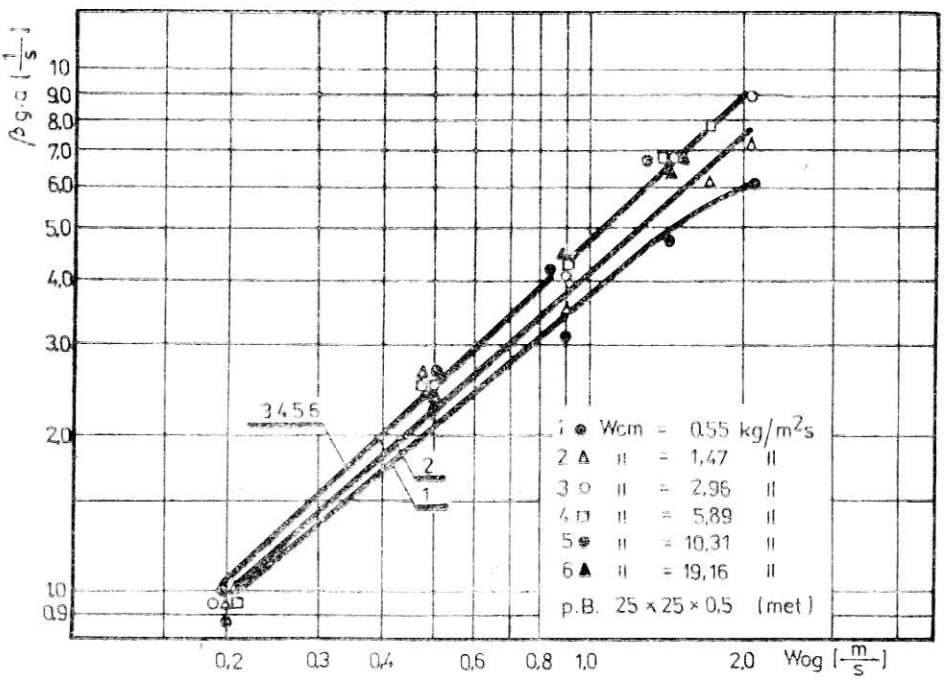
Maksymalny błąd względny nie przekracza $\delta = \pm 12\%$.

$$Re_g = \frac{4 w_{gm}}{a \cdot \eta_g} \tag{3}$$

$$Re_c = \frac{4 \cdot \Gamma}{\eta_c} \tag{4}$$

Wyniki badań kinetyki absorpcji dwutlenku siarki.

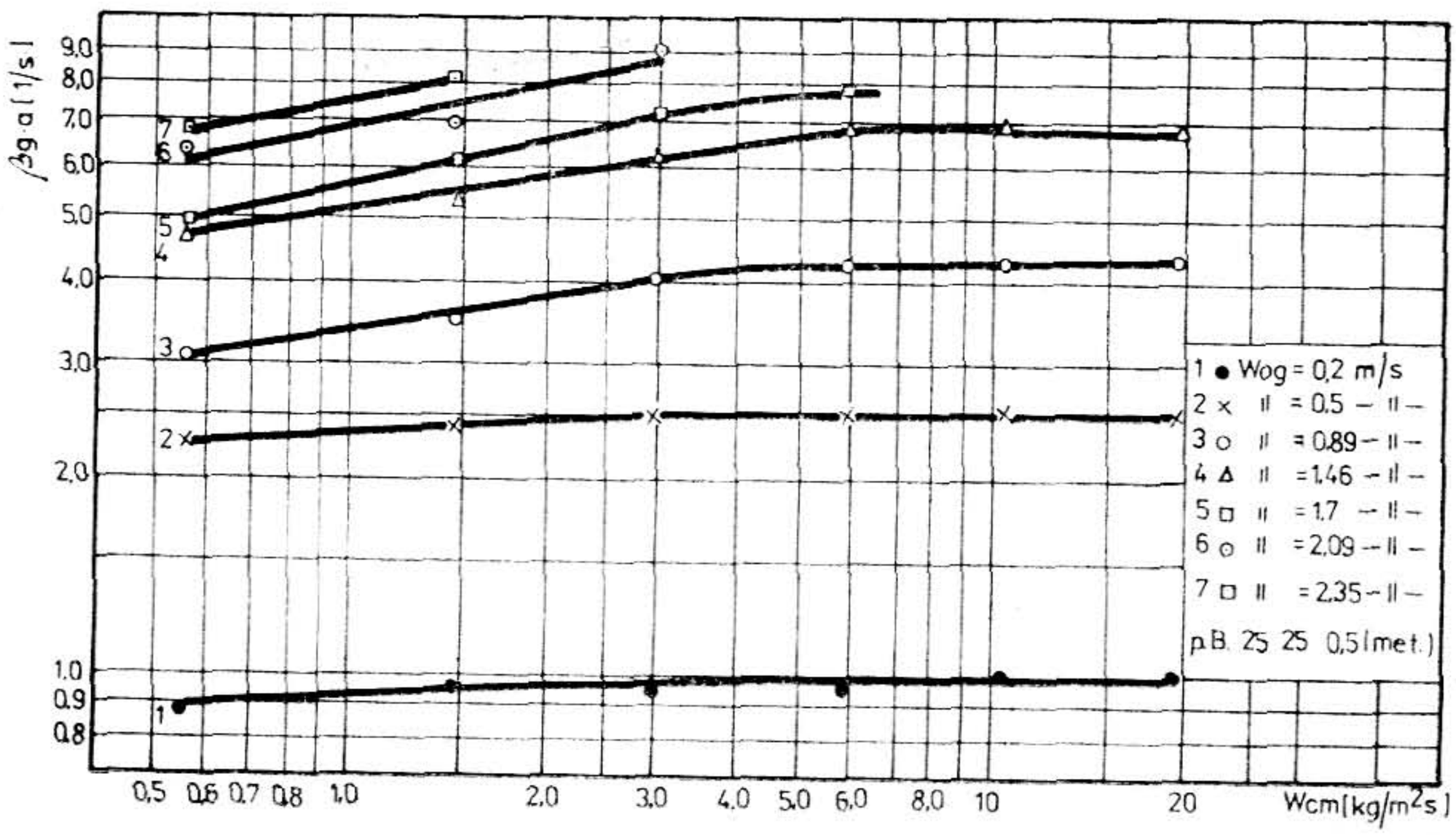
Na rys. 5 przedstawiono zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości fazy gazowej przy stałych obciążeniach cieczą dla pierścieni Białeckiego 25×25×0,5 (met). Wartości ($\beta_g \cdot a$) zwiększają się wraz ze wzrostem prędkości gazu. Jest to wynikiem wzrastającej burzliwości przepływu fazy gazowej, co poprawia warunki mieszania w pobliżu powierzchni styku faz, przyspiesza odnawianie powierzchni granicznej, a tym samym zwiększa skuteczność wnikania masy. Badania przeprowadzono dla sześciu wybranych gęstości zraszania w zakresie od 0,55 kg/m²s (krzywa 1) do 19,16 kg/m²s (krzywa 6). Na omawianym



Rys. 5. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 25×25×0,5 (met)
H = 1 m, T = 293 K, P = 1,013 · 10⁵ N/m²

wykresie widoczny jest pewien wpływ fazy ciekłej na kinetykę wnikania masy w fazie gazowej. Wpływ ten zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości gazu. Przy prędkości gazu $w_{og} = 0,2$ m/s wzrost wartości ($\beta_g \cdot a$) dla $w_{cm} = 19,16$ kg/m²s, w stosunku do ($\beta_g \cdot a$) dla $w_{cm} = 0,55$

kg/m²s, wynosi około 14%. Natomiast przy prędkości $w_{og} = 1{,}5$ m/s wzrost ten wynosi około 36%. Tłumaczyć to można nierównomiernym pokryciem cieczą wypełnienia przy małych wartościach w_{cm} i małych prędkościach gazu. Przy większych prędkościach gazu i większych obciążeniach cieczą uwidacznia się wpływ hamującego oddziaływania strumienia gazu, co powoduje powstawanie dodatkowej powierzchni międzyfazowej, rozwijanej na kroplach i zniekształceniach spływającego filmu cieczy. Na skutek tego obserwuje się wzrost wartości objętościowego współczynnika wnikania masy. Na rys. 6 przedstawiono zależność ($\beta_g \cdot a$) od obciążenia cieczą przy stałych prędkościach gazu dla pierście-



Rys. 6. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od obciążenia cieczą dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 25×25×0,5 (met)
$H = 1$ m, $T = 293$ K, $P = 1{,}013 \cdot 10^5$ N/m²

ni Białeckiego 25×25×0,5 (met). Przy predkościach gazu leżących w obszarze zatrzymania obserwujemy stopniowy wzrost wartości ($\beta_g \cdot a$) wras ze wzrostem obciążenia cieczą. Po przekroczeniu $w_{cm} = 3{,}0$ kg/m²s 10,8 m³/m²h, objętościowy współczynnik wnikania masy w fazie gazowej przyjmuje stałą wartość. Obciążenie cieczą $w_{cm} = 3{,}0$ kg/m²s możemy więc przyjąć za wartość graniczną, przy której wypełnienie jest już całkowicie zwilżone. Przy większych prędkościach gazu obserwujemy stałe zwiększenie się ($\beta_g \cdot a$) wraz ze wzrostem w_{cm}. Jest to wynikiem powstawania dodatkowej powierzchni kontaktu na kroplach i zniekształceniach spływającego po wypełnieniu filmu cieczy. Krople i znie-

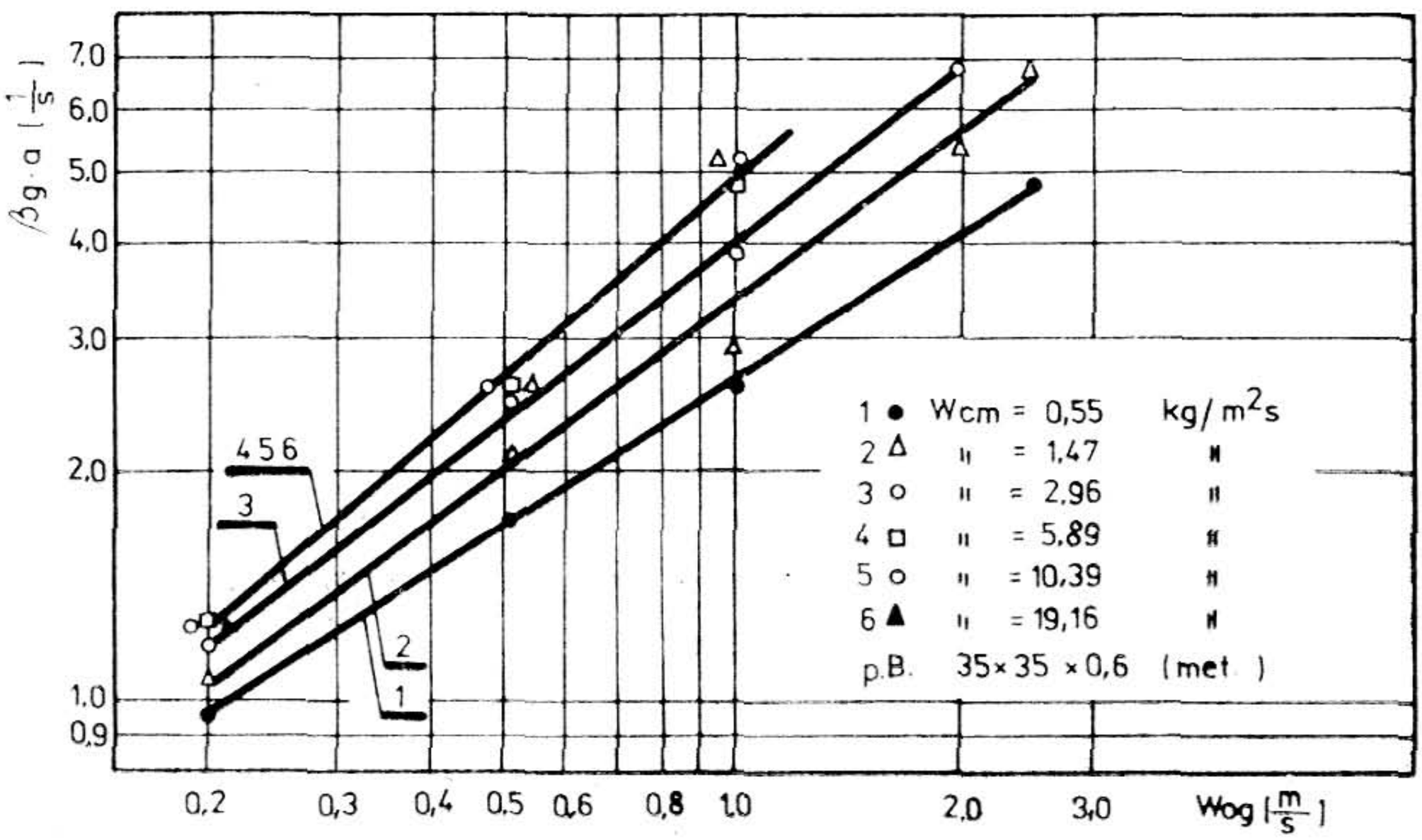
kształcenia powstają wskutek hamującego oddziaływania gazu na spływającą fazę ciekłą. Wyniki doświadczeń opisano równaniem:

$$Sh_g = C \cdot Re_g^{\,n} \cdot Sc_c^{\,0,33} \tag{5}$$

a po wprowadzeniu współczynników empirycznych:

$$Sh_g = 0{,}0294 \cdot Re_g^{\,0,0966} \cdot Sc_g^{\,0,33} \tag{6}$$

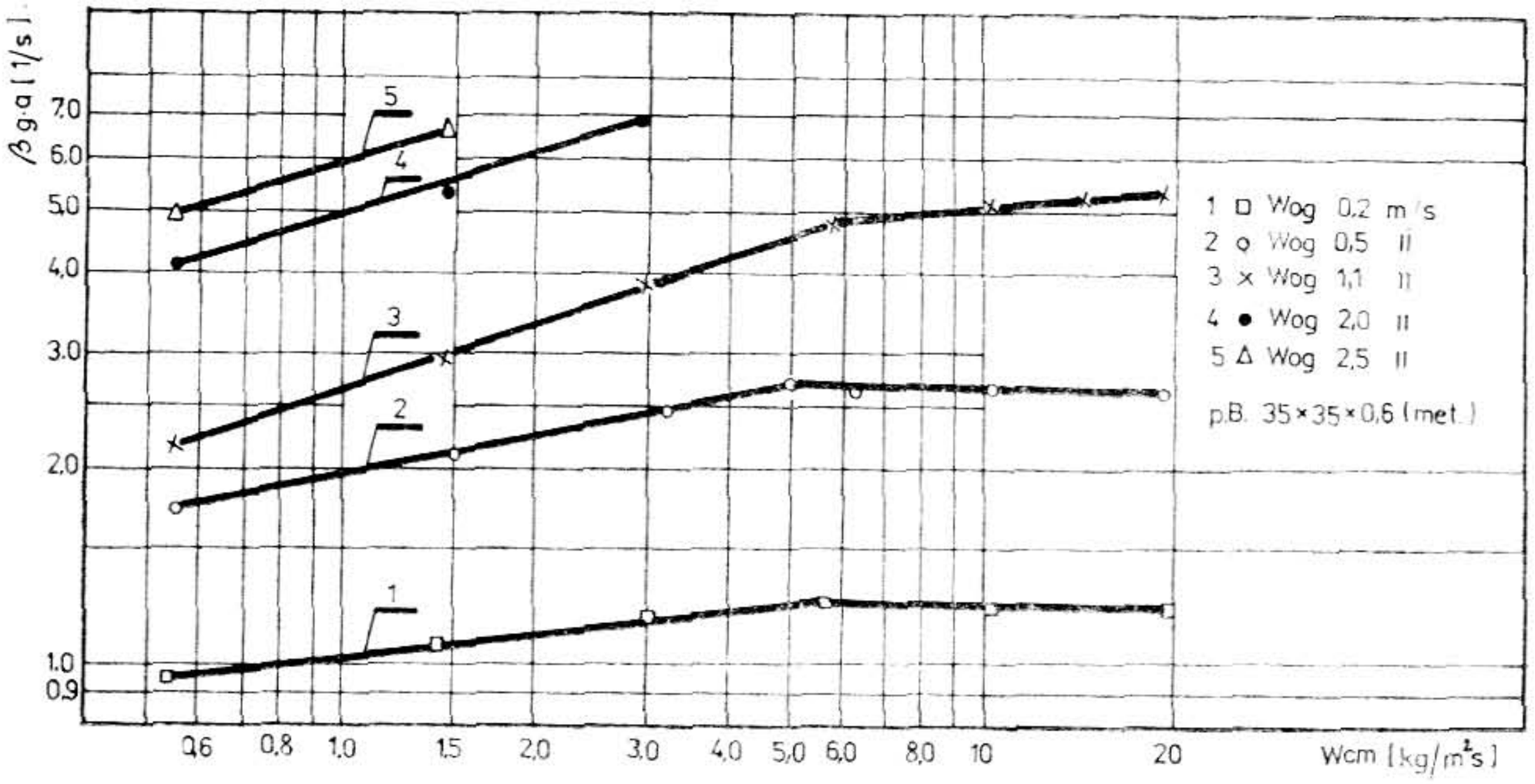
Równanie obliczono dla wartości ($\beta_g \cdot a$) odpowiadających całkowitemu wykorzystaniu powierzchni wypełnienia ($\varphi = 1$).



Rys. 7. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 35×35×0,6 (met)
$H = 1\ m$, $T = 293\ K$, $P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$

Rysunek 7 przedstawia zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości fazy gazowej przy stałych gęstościach zraszania dla pierścieni Białeckiego 35×35×0,6 (met). Podobnie jak dla poprzednio omawianych pierścieni obserwujemy wzrost wartości ($\beta_g \cdot a$) wraz ze wzrostem prędkości gazu i prędkości cieczy. Wpływ prędkości cieczy jest dla omawianych pierścieni znaczny i uwidacznia się już przy małych prędkościach fazy gazowej. Przy prędkości $w_{og} = 0{,}2$ m/s i $w_{cm} = 2{,}96$ kg/m²s wzrost wartości ($\beta_g \cdot a$), w porównaniu z ($\beta_g \cdot a$) przy $w_{cm} = 0{,}55$ kg/m²s wynosi ok. 24%, zaś przy $w_{og} = 2$ m/s wzrost ten wynosi 66%. Na rys. 8 pokazano zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od masowego natężenia przepływu cieczy przy

stałych prędkościach przepływu gazu dla pierścieni Białeckiego 35×35×35×0,6 (met). Dla małych prędkości gazu obserwujemy wzrost ($\beta_g \cdot a$) wraz ze wzrostem w_{cm}. Przegięcie krzywych następuje przy $w_{cm} = 5{,}2$ kg/m²s (18,72 m³/m²), powyżej tej wartości ($\beta_g \cdot a$) utrzymuje stałą wartość, co wskazuje, że przy $w_{cm} = 5{,}2$ kg/m²s powierzchnia wypełnienia



Rys. 8. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od obciążenia cieczą dla kolumny rurkowej wypełnionej pierścieniami Białeckiego 35×35×0,6 (met)
$H = 1$ m, $T = 293$ K, $P = 1{,}013 \cdot 10^5$ N/m²

jest całkowicie pokryta spływającą cieczą. Dla większych prędkości gazu obserwujemy stały wzrost ($\beta_g \cdot a$) wraz ze wzrostem w_{cm}, wynika to z powstawania dodatkowej powierzchni międzyfazowej. Wyniki doświadczeń dla współczynników ($\beta_g \cdot a$) odpowiadających całkowitemu pokryciu cieczą wypełnienia opisano następującym równaniem:

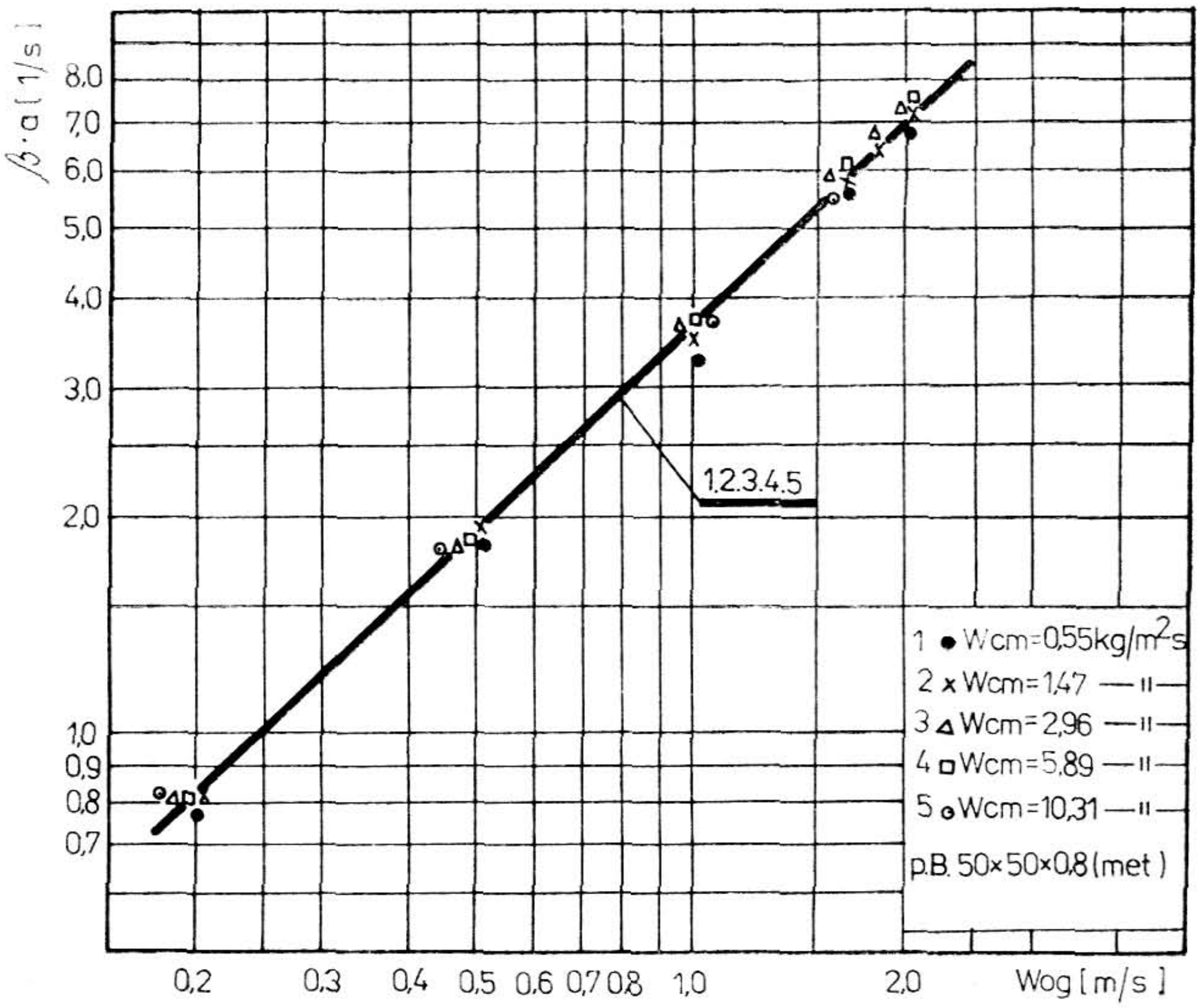
$$Sh_g = 0{,}0427 \cdot Re_g^{0{,}837} \cdot Sc^{0{,}33} \tag{10}$$

Na rys. 9 przedstawiono zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości gazu przy stałych gęstościach zraszania, natomiast na rys. 10 — zależność ($\beta_g \cdot a$) od masowego natężenia przepływu cieczy przy stałych prędkościach gazu dla pierścieni Białeckiego 50×50×50×0,8 (met).

Zależność powyższą opisuje następujące równanie:

$$Sh_g = 0{,}0392 \cdot Re_g^{A} \cdot Sc_g^{B};\ \delta = \pm 4\% \tag{11}$$

gdzie: $A = 0{,}943$; $B = 0{,}33$.

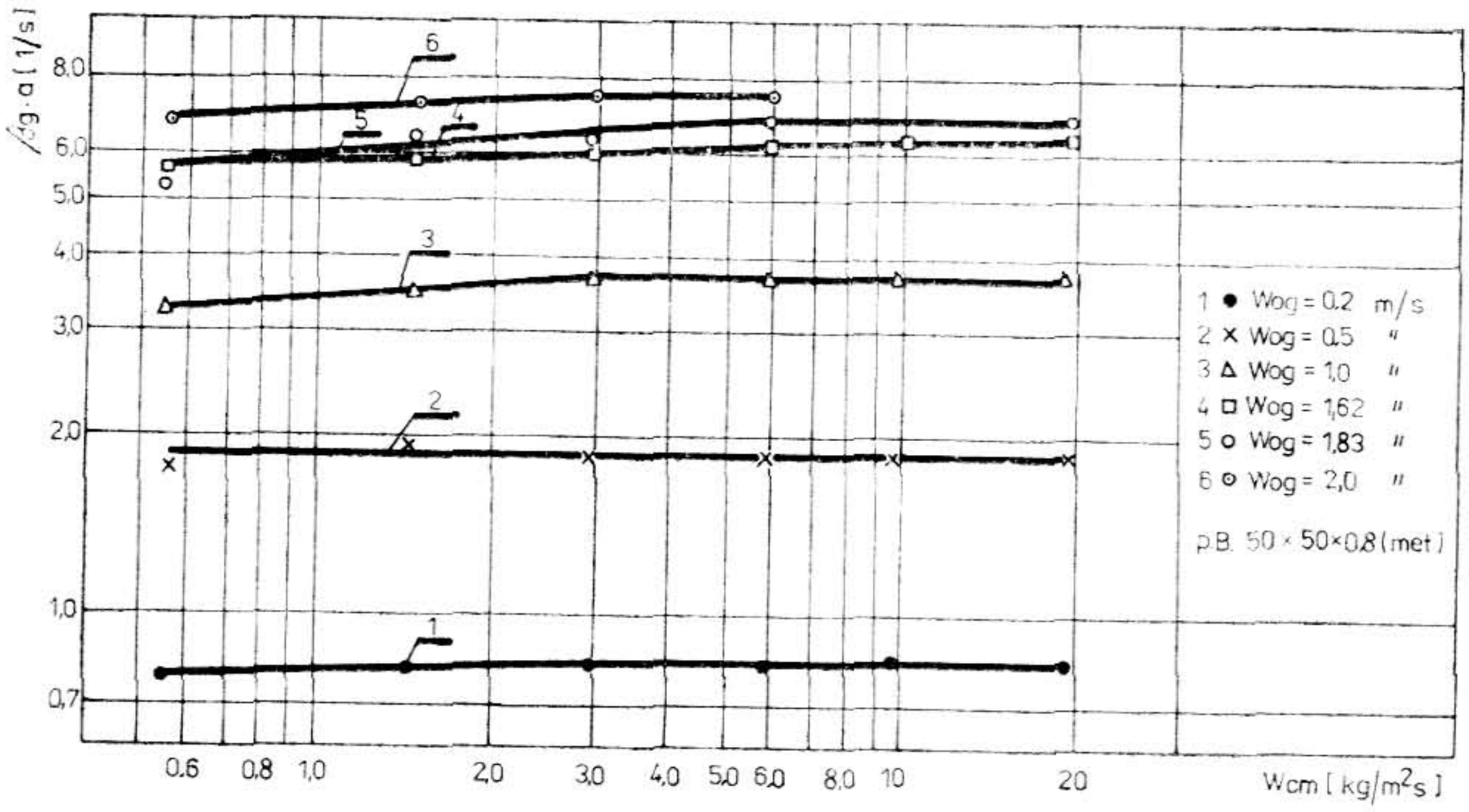


Rys. 9. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 50×50×0,8 (met)
H = 1 m, T = 293 K, P = 1,013 · 10⁵ N/m²

Porównanie kolumn rurkowych z wypełnieniem i kolumn wypełnionych

W tabeli 2 przedstawiono porównanie wyników własnych badań, przeprowadzonych dla kolumny rurkowej z wypełnieniem, z wynikami badań kolumny wypełnionej (4) przeprowadzonych na układzie NH_3—powietrze—woda. Porównania dokonano dla pierścieni Białeckiego o wymiarach: 25×25×0,5 (met) i 35×35×0,6 (met), przy stałych prędkościach fazy ciekłej $L = 10\ m^3/m^2h$ i gazowej $w_{og} = 1{,}0$ m/s. Przy czym prędkość przepływu fazy gazowej w kolumnie rurkowej odnoszono do średnicy wewnętrznej badanej rury. Wartości współczynników $(\beta_g \cdot a)$ dla układu: NH_3—powietrze—woda przeliczono na układ: SO_2—powietrze—NaOH zgodnie z równaniem:

$$(\beta_g \cdot a)_{SO2} = (\beta_g \cdot a)_{NH3} \cdot \left(\frac{Sc_{SO2}}{Sc_{NH3}}\right)^{0,33} \qquad (12)$$



Rys. 10. Zależność objętościowego współczynnika wnikania w fazie gazowej od prędkości masowej cieczy dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 50×50×0,8 (met)
$H = 1\ m$, $T = 293\ K$, $P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$

Tabela 2

PORÓWNANIE KOLUMN RURKOWYCH Z WYPEŁNIENIEM I KOLUMN WYPEŁNIONYCH. PRZEPŁYW PRZECIWPRĄDOWY.
Układ SO_2 — powietrze — NaOH.
$T = 293\ K$, $P = 1{,}013 \cdot 10^5\ N/m^2$, $L = 10\ m^3/m^2h$, $w_{og} = 1\ m/s$

Lp.	Parametr	Pierścienie Białeckiego 25×25×0,5 (met)		Pierścienie Białeckiego 35×35×0,5 (met)	
		kolumna rurkowa	kolumna wypełniona	kolumna rurkowa	kolumna wypełniona
1	$\frac{\Delta P}{H}$ /N/m²m/	145	260	84	138
2	$/\beta_g \cdot a/$ /1/s	3,62	2,619	2,4	2,8
3	h_g/m/	0,276	0,38	0,417	0,36
4	$\frac{\Delta P}{N_g}$ /N/m²m/	40	99	35	48
5	$v = \frac{1}{\beta_g \cdot a \left(\frac{m^3}{m^3/s}\right)}$	0,276	0,38	0,417	0,36

Objętości właściwe uzyskane dla kolumn rurkowych, należy zwiększyć o pewien procent ze względu na przestrzenie międzyrurkowe, które w zależności od wymaganego natężenia przepływu czynnika chłodzącego, zajmować będą 30—45% objętości czynnej kolumny.

Lepsze parametry uzyskiwane dla kolumn rurkowych są wynikiem: korzystniejszej hydrodynamiki przepływu faz, zaniku zjawiska kanalikowania, równomiernego zasilania cieczą i gazem przekroju poprzecznego kolumny, dobrego przemieszania faz oraz ograniczenia do minimum przestrzeni „martwych" w wypełnieniu.

Wnioski

Podsumowując wyniki badań oraz biorąc pod uwagę wcześniejsze prace dotyczące kolumn rurkowych (5, 6) należy stwierdzić, że:

- zastosowanie kolumny rurkowej wypełnionej do oczyszczania gazów odlotowych z SO_2 jest celowe ze względu na duże skuteczności absorpcji i małe opory przepływu gazu;
- w kolumnie rurkowej wypełnionej uzyskuje się większe współczynniki wnikania masy przy mniejszych oporach przepływu niż w klasycznej kolumnie wypełnionej;
- spośród przebadanych wypełnień najmniejszą energochłonnością, określoną stosunkiem $\frac{\Delta P}{N_g}$, charakteryzują się pierścienie Białeckiego o średnicy 50 mm.

STOSOWANE OZNACZENIA

a	— efektywna powierzchnia międzyfazowa	m^3/m^3
A	— współczynnik empiryczny	
B	— współczynnik empiryczny	
D_g	— kinematyczny współczynnik dyfuzji w fazie gazowej	m^2/s
d_h	— średnica hydrauliczna warstwy wypełnienia	m
H	— wysokość warstwy wypełnienia	m
h_g	— wysokość jednostkowa wnikania masy w fazie gazowej	m
ΔP	— opór przepływu	N/m^2
T	— temperatura	K
$(\beta_g \cdot a)$	— objętościowy współczynnik wnikania masy w fazie gazowej	1/s
Γ	— gęstość zraszania odniesiona do obwodu zwliżonego	kg/ms
δ	— maksymalny błąd względny	%
ε	— porowatość wypełnienia	—
η	— lepkość dynamiczna	Ns/m^2
ν	— lepkość kinematyczna	m^2/s
v	— objętość właściwa kolumny	m^3
N_g	— liczba jednostek wnikania masy w fazie gazowej	—

Liczby bezwymiarowe

Re — liczba Reynoldsa
Sh — liczba Sherwooda
Sc — liczba Schmidta

Indeksy

g — faza gazowa
c — faza ciekła

LITERATURA

[1] Ziółkowski Z., *Destylacja i rektyfikacja*, WNT, Warszawa, (1966).

[2] Ziółkowski Z., Maćkowiak J., *Zesz. Nauk. Polit. Wr.* Nr 21 (1973).

[3] Reichelt W., *Chem. Ing. Techn.*, 43/1971/22, 1196.

[4] Maćkowiak J., *Praca doktorska, Polit. Wrocł.*, Wrocław (1975).

[5] Billet R., Maćkowiak J., Suder S., *Chemie — Technik Nr 6* (1979), 259—265.

[6] Gostomczyk M. A., Suder S., Piasek K., *Ochr. Pow. Nr 4* (1977) 103—106.

[7] Gostomczyk M. A., Suder S., Maćkowiak J., *Zgł. Patentowe Nr P-200 267*, 13.08.77.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 69
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Grzegorz Chudzio,
Michał Głomba,
Stanisław Suder

USUWANIE SO_2 Z GAZÓW ODLOTOWYCH W KOLUMNIE RURKOWEJ WYPEŁNIONEJ PIERŚCIENIAMI I-15M

Dotychczasowe badania kinetyki absorpcji SO_2 w kolumnach rurkowych wypełnionych dotyczyły typowych elementów wypełnienia, takich jak pierścienie Białeckiego o różnych rozmiarach [1, 2, 3] i pierścienie Palla [4].

Wyniki tych badań pozwoliły określić wpływ kształtu i rozmiarów wypełnień na hydraulikę przepływu faz oraz kinetykę wymiany masy w fazie ciekłej i gazowej. Stwierdzono, że te elementy wypełnienia do kolumn rurkowych, które charakteryzują się dużą efektywnością przenikania masy oraz niskimi oporami przepływu, powinny posiadać znacznie rozwiniętą powierzchnię wewnętrzną i płaszczyzny prowadzące wewnątrz pierścienia ustawione równolegle do kierunku przepływu faz.

Spostrzeżenia te pozwoliły opracować pierścieniowy element wypełnienia, który w trakcie badań okazał się bardzo przydatny do stosowania w kolumnach rurkowych [5]. Oznaczono go symbolem I-15M. Jego konstrukcja pozwala na stosowanie produkcji na bazie metody wtryskowej z tworzyw sztucznych w wielogniazdowej formie.

Charakterystyka wypełnienia jest następująca:

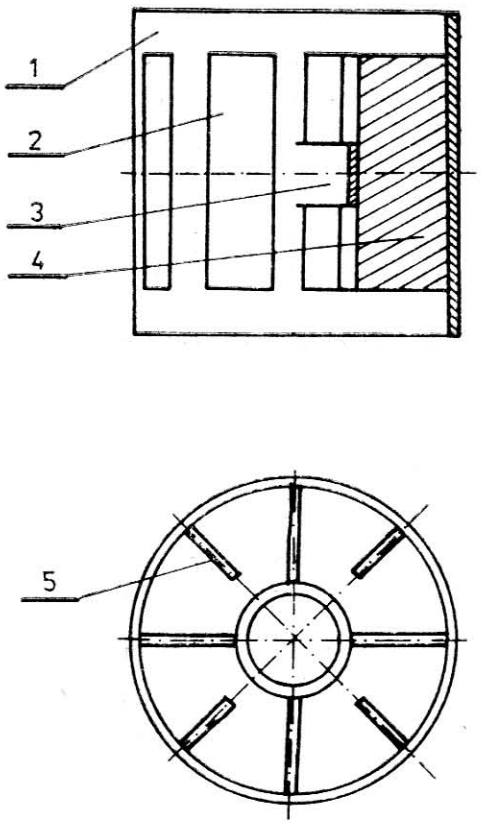
— średnica nominalna $d = 50$ mm
— średnica zewnętrzna $d_z = 50$ mm
— średnica wewnętrzna $d_w = 46$ mm
— średnica zastępcza $d_h = 1{,}9 \cdot 10^{-2}$ m
— wysokość pierścienia $h = 42$ mm
— porowatość wypełnienia $\varepsilon = 0{,}86$
— powierzchnia geometryczna $a = 181$ m²/m³

Średnicę zastępczą określono ze wzoru:

$$d_h = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a}$$

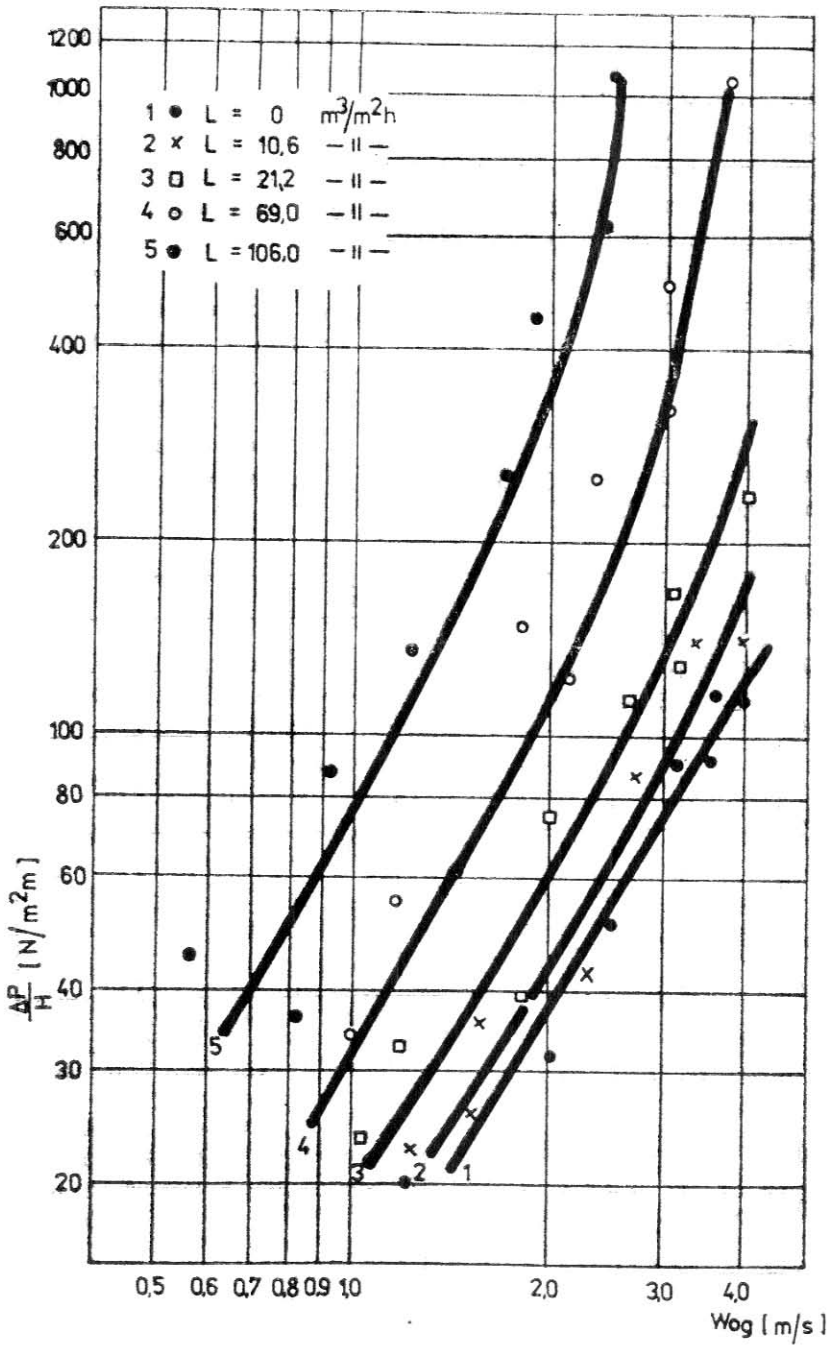
Mgr inż. Grzegorz Chudzio — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze
Dr inż. Michał Głomba, dr inż. Stanisław Suder — Politechnika Wrocławska

Budowę elementu wypełnienia I-15M przedstawiono na rys. 1. Składa się on z zewnętrznego pierścienia 1 posiadającego prostokątne otwory 2. Współśrodkowo z pierścieniem zewnętrznym umieszczony jest wewnętrzny pierścień 3, którego średnica jest pięciokrotnie mniejsza od średnicy pierścienia zewnętrznego. Wewnętrzny pierścień połączony jest z zewnętrznym prostokątnymi łącznikami 4, między którymi umieszczone są prostokątne prowadnice 5 o powierzchni równej powierzchni otworów w pierścieniu zewnętrznym.



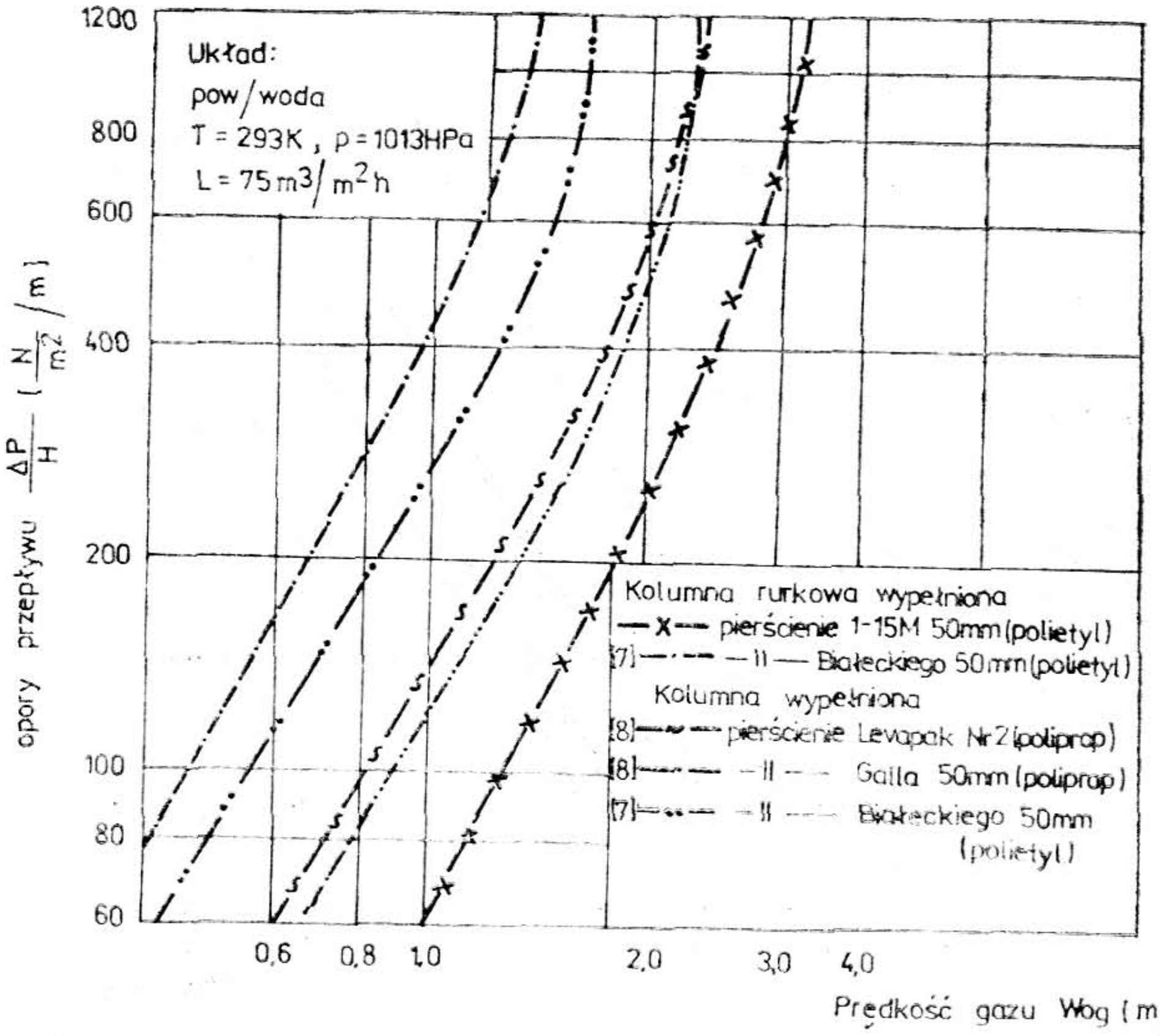
Rys. 1. Budowa elementu wypełnienia I-15 M

Badania hydrauliki i kinetyki wymiany masy dla pierścieni I-15M przeprowadzono w kolumnie o wysokości H = 1,07 m i średnicy wewnętrznej 50 mm dla prezciwprądowego kierunku przepływu faz. Kolumnę wmontowano w stanowisko badawcze przedstawione i omówione w pracach wcześniejszych [1, 3, 4]. Metodę badań i sposób prowadzenia pomiarów omówiono w pracy [6].



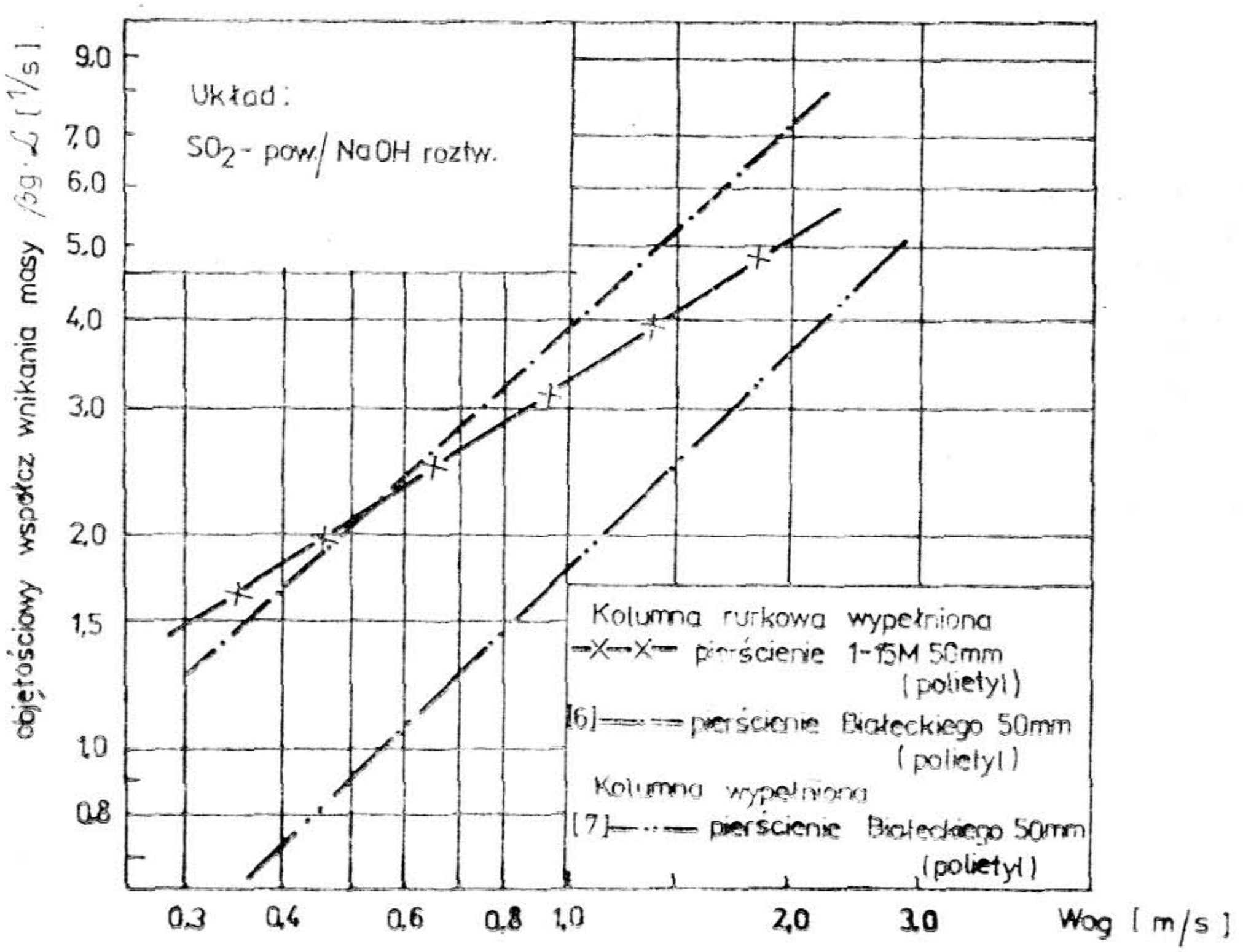
Rys. 2. Zależność oporów przepływu od obciążenia fazą ciekłą i gazową w kolumnie rurkowej wypełnionej pierścieniami I-15 M
$H = 1$ m, $T = 293$ K, $P = 1{,}013 \cdot 10^5$ Pa

Wyniki badań hydrauliki przedstawia wykres na rys. 2. Na rys. 3 przedstawiono wykresy porównawcze charakterystyk hydraulicznych dla kolumn rurkowych wypełnionych pierścieniami I-15M i pierścieniami Białeckiego o średnicy 50 mm, oraz dla kolumn wypełnionych w postaci pierścieni Białeckiego, Palla, Levapole o średnicy 50 mm wykonanych z tworzyw sztucznych. Wyniki badań hydrauliki dla pierścieni porównawczych zaczerpnięto z prac opublikowanych wcześniej [7, 8]. Wybrane do sporządzenia rysunku charakterystyki dotyczą obciążenia fazą ciekłą wynoszącego $L = 75\ m^3/m^2 \cdot h$. W grupie porównywanych wypełnień najniższe opory przepływu wykazały badane elementy I-15M Wyższe opory stwierdzono dla pierścieni Levapole, Palla i Białeckiego układanych w kolumnie wypełnionej, a najwyższe dla pierścieni Białeckiego układanych w kolumnach rurkowych. Fakt ten potwierdza słuszność koncepcji stosowania w kolumnach rurkowych elementów posiadających wewnętrzne płaszczyzny prowadzące usytuowane równolegle do kierunku przepływu faz.



Rys. 3. Porównanie zależności oporów przepływu od prędkości gazu dla kolumny rurkowej wypełnionej i kolumny wypełnionej

Wyniki badań kinetyki absorpcji SO_2 w roztworze NaOH przedstawia rys. 4. Dla porównania elementów I-15M z innymi na rysunku zamieszczono również zależność intensywności wnikania masy dla pierścieni Białeckeigo o średnicy 50 mm, wykonanych z polietylenu, układanych w kolumnie rurkowej wypełnionej i kolumnie wypełnionej. Porównania dokonano na podstawie danych literaturowych [6, 7]. Dane dotyczące kolumny wypełnionej przeliczono z układu NH_3—powietrze—H_2O uwzględniając wpływ własności fizykochemicznych na intensywność wnikania masy.



Rys. 4. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu w kolumnie rurkowej wypełnionej i kolumnie wypełnionej

Wyniki badań wykazują, że intensywność wnikania masy dla pierścieni I-15M i pierścieni Białeckiego są zbliżone. Pewne różnice na korzyść pierścieni Białeckiego pojawiają się wraz ze wzrostem prędkości fazy gazowej. Krzywa na rys. 4, dotycząca pierścieni Białeckiego układanych w kolumnie wypełnionej znacznie odbiega na niekorzyść od krzywych pozostałych.

Wnioski

Przeprowadzone badania hydrauliki oraz kinetyki absorpcji SO_2 w kolumnie rurkowej wypełnionej pierścieniami I-15M wykazały, że poddane badaniom elementy charakteryzują się bardzo niskimi oporami przepływu, dużą przepustowością fazy ciekłej i gazowej oraz porównywalną z pierścieniami Białeckiego intensywnością absorpcji SO_2.

Zastosowana budowa i kształt elementów umożliwiają łatwe ich formowanie metodą wtryskową na skalę przemysłową. Pozwala to wnioskować, że z powodzeniem mogą one znaleźć zastosowanie w procesach oczyszczania gazów odlotowych.

LITERATURA

[1] Maćkowiak J., Suder S., *Inż. Chem.*, 1977, 3, 651—664.

[2] Billet R., Maćkowiak J., Suder S., *Materiały konferencyjne* CHISA, 1978.

[3] Gostomczyk M., Suder S., Piasek K., *Ochrona Powietrza*, 1977, 4, 103—106.

[4] Billet R., Maćkowiak J., Suder S., *Germ. Chem. Eng.*, 1978, 1, 226—234.

[5] Gostomczyk M., Suder S., Głomba M., Mosór M., *Wzór użytkowy Nr 29468*, 1978.

[6] Suder S., *Praca doktorska*, 1977, Politechnika Wrocławska.

[7] Maćkowiak J., *Praca doktorska*, 1975, Politechnika Wrocławska.

[8] Levapole, *Informacje reklamowe firmy „Raschig"*, 1979.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ◆ ZESZYTY NAUKOWE NR 68
Nr 2 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1982

Iwona Bresińska,
Marek Gąsiorek,
Zdzisław Dudzik

USUWANIE DWUTLENKU SIARKI Z MIESZANIN GAZOWYCH DROGĄ REDUKCJI TLENKIEM WĘGLA

Abstract

The $SO_2 + CO$ reaction was proposed to remove sulfur dioxide from industrial outlet gases. This reaction allows to remove two toxic components (SO_2 and CO) from the outlet gases. It was found that zeolite NaX is very efficient catalysts of $SO_2 + CO$ reaction. The main products of the reaction conducted at 440—500°C are: elemental sulfur and CO_2. The formation of COS was also observed. The mechanism of the $SO_2 + CO$ reaction proceeding over NaX catalyst was formulated.

Środowisko naturalne człowieka zatruwane jest wieloma toksycznymi związkami emitowanymi do atmosfery najczęściej w postaci gazów odlotowych. Należą do nich związki siarki (dwutlenek siarki, siarkowodór, dwusiarczek węgla, merkaptany), tlenek węgla, tlenki azotu, węglowodory. Wśród tych związków zdecydowanie pierwsze miejsce, pod względem ilości emitowanych corocznie do atmosfery, zajmuje dwutlenek siarki. Przemysł energetyczny i hutniczy w Polsce emitował w 1973 roku ponad 3 mln ton SO_2, a przemysł chemiczny ponad 300 tys. ton tego związku [1]. W związku z włączaniem do eksploatacji złóż węgla i ropy naftowej o znacznych zawartościach siarki wzrastają ilości emitowanego SO_2. Z tego powodu wiele ośrodków na świecie prowadzi obecnie poszukiwania i badania nad nowymi efektywnymi metodami usuwania SO_2 z gazów odlotowych. Rozwiązanie problemu oczyszczania gazów odlotowych z SO_2 nastręcza wiele trudności.

Głównymi powodami tego są:

— niskie stężenia SO_2 w gazach odlotowych (energetyka średnio 11 g/m³, produkcja kwasu siarkowego 19 g/m³),

Dr Iwona Bresińska, prof. dr hab. Zdzisław Dudzik — Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
Dr Marek Gąsiorek — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

— ogromne ilości i szybkości emitowanych gazów (rzędu setek tys. m^3/godzinę),

— różny skład gazów kominowych.

Opracowane dotychczas sposoby usuwania SO_2 można podzielić na 4 grupy: 1 — redukcja, 2 — skraplanie, 3 — rozpuszczanie, 4 — utlenianie [2]. Dla skroplenia SO_2 gazy należy schłodzić do —10°C w celu usunięcia wody. Metoda ta jest bardzo kosztowna, szczególnie gdy gazy odlotowe zawierają wodę, CO_2, SO_2, O_2, N_2. Skroplony SO_2 nie jest czysty, zawiera zawsze domieszkę CO_2.

Najczęściej stosowanymi obecnie metodami są sposoby polegające na pochłanianiu SO_2 w wodnych roztworach różnych związków nieorganicznych (np. KOH) oraz w związkach organicznych (glikol, aminy, aceton, kamfora). Regeneracja absorbentów jest trudna i w czasie tego procesu mogą powstawać niepożądane produkty uboczne. Wszystkie te metody wymagają stosowania drogiej i skomplikowanej aparatury. Z tego powodu poszukuje się nowych metod, prostszych i bardziej efektywnych. Jedną z takich metod rokujących duże nadzieje jest katalityczna redukcja SO_2 różnymi czynnikami, między innymi wodorem, siarkowodorem, metanem oraz tlenkiem węgla. Szczególnie ten ostatni z wymienionych wyżej reduktorów jest wskazany, ponieważ zastosowanie do redukcji SO_2 tlenku węgla pozwala na jednoczesne usuwanie dwóch szkodliwych składników gazów odlotowych i uzyskanie znacznych ilości siarki elementarnej, której wartość może pokryć koszty procesu oczyszczania gazów. Stosowanie tej metody znacznie upraszcza aparaturę.

Procesy oparte na redukcji SO_2 składają się z dwóch etapów:

1) usuwanie O_2, aby obniżyć zużycie reduktora,
2) kataliczna redukcja SO_2 tlenkiem węgla.

Katalizatorami redukcji SO_2 tlenkiem węgla są tlenki: glinu, tytanu, niklu, żelaza oraz porcelana, cement, azbest, ziemie okrzemkowe, siarczki: niklu, wapnia, żelaza, siarczany: baru, wapnia, a także kontakty wielo-składnikowe zawierające metale przejściowe i tlenek glinu (2). Wiele z tych substancji stosowanych jest w metodach opartych na adsorbcji SO_2 z gazów, charakteryzują się bowiem dużymi pojemnościami sorpcyjnymi (SiO_2, Al_2O_3). Niezwykle efektywnymi sorbentami SO_2 okazały się zeolity (3 — 5), które przewyższają pojemnościami adsorpcyjnymi takie znane adsorbenty jak węgiel aktywny, żel krzemionkowy, tlenek glinu. Wśród zeolitów, najwyższymi pojemnościami sorpcyjnymi oraz dostępnością komór wyróżniają się zeolity typu fojazytu, które pochłaniają do 30% wagowych SO_2. Dodatkową zaletą fojazytów jest zadowalająca stabilność mechaniczna i termiczna. Wymienione wyżej zalety foja-

zytów skłoniły nas do podjęcia badań nad możliwością ich zastosowania w reakcjach redukcji SO_2. Niżej przedstawiono wyniki badań redukcji SO_2 tlenkiem węgla na sodowej formie zeolitu typu X.

Warunki eksperymentalne

Pomiary aktywności zeolitu Na-X, produkowanego przez firmę Linde (USA), w zakresie temperatur 200—500°C, prowadzono w systemie dynamicznym, przy czasie kontaktu $8{,}7\times10^{-4}$h i obciążeniu 0,17 h^{-1} SO_2 dla Na-X z lepiszczem i 0,2 h^{-1} dla Na-X bez lepiszcza. Dla porównania, w identycznych warunkach oznaczono aktywność zeolitu Na-X nie zawierającego lepiszcza, produkowanego w Mątwach (Polska). Mieszanina wyjściowa substratów zawierała 3% obj. SO_2, CO (stosunek obj. CO: SO_2 = 2 : 1 i 3 : 1) oraz N_2.

Przed reakcją katalizatory aktywowano przez 4 h w temperaturze 500°C w przepływie azotu oczyszczonego z domieszek tlenu.

Mieszaninę gazów analizowano chromatograficznie w temperaturze 80°C na 2 m kolumnie wypełnionej Porapakiem Q.

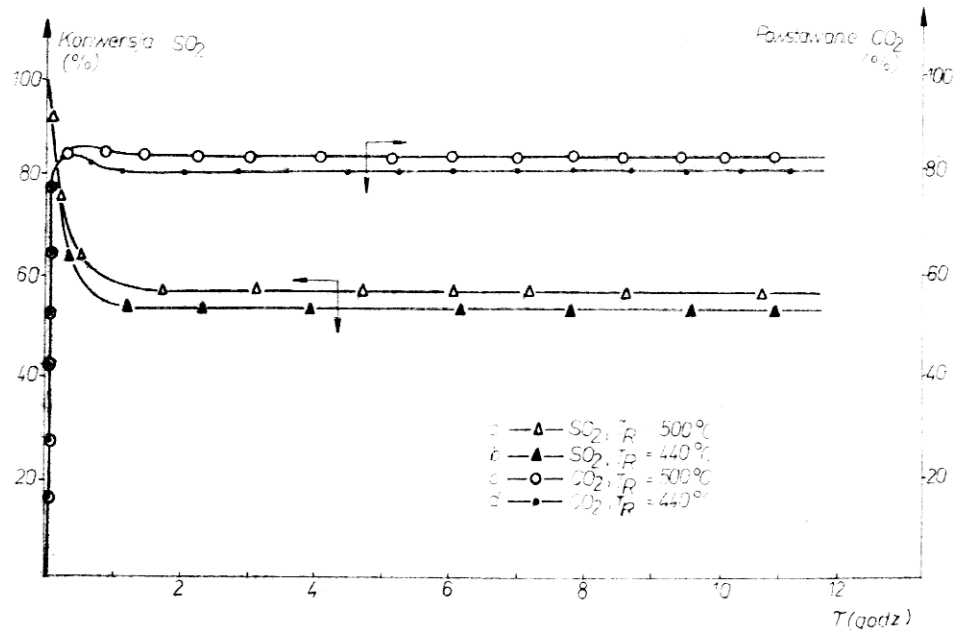
Omówienie i dyskusja wyników

Głównymi produktami redukcji SO_2 tlenkiem węgla są siarka elementarna i dwutlenek węgla. Wyniki testów aktywności Na-X przedstawiono w formie zależności przereagowania SO_2 i powstawania SO_2 (w %) od czasu reakcji.

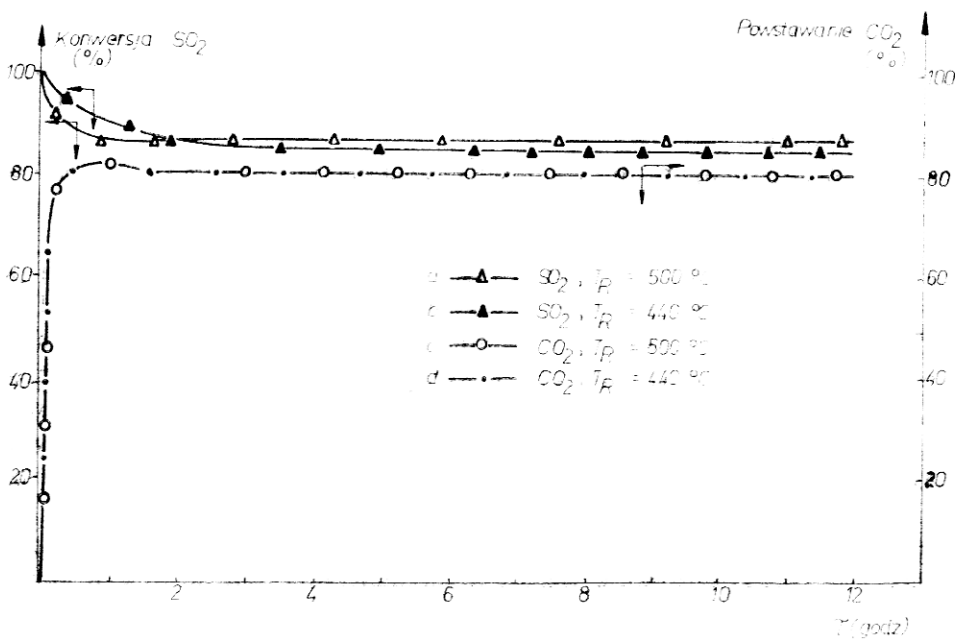
W zakresie temperatur 200—400°C reakcja nie przebiega z mierzalną szybkością, dlatego badania prowadzono w temperaturach 440 i 500°C.

W temperaturach 440 i 500°C stan stacjonarny reakcji ustala się po upływie 1 godziny prowadzenia procesu na wysokości 54% (440°C) i 57% (500°C) przereagowania SO_2 przy stechiometrycznej ilości CO w gazowych substratach reakcji (Rys. 1 krzywe a i b). Zawartość CO_2 w produktach reakcji przedstawiają krzywe c i d na rys. 1. Jak wynika z wykresu, zawartość CO_2 w produktach przewyższa o około 25% ilość wynikającą stechiometrycznie z konwersji SO_2, sugerując zachodzenie ubocznych procesów, w wyniku których powstają dodatkowe ilości CO_2.

Wprowadzenie dodatkowych ilości CO do gazowych substratów (CO : SO_2 = 3 : 1) powoduje wzrost przereagowania SO_2 do 87% w stanie stacjonarnym reakcji (krzywe a i b na rys. 2) przy zachowaniu takiego samego poziomu CO_2 jak przy stosunku CO : SO_2 = 2 : 1 (krzywe c i d). W celu określenia wpływu lepiszcza na przebieg redukcji SO_2 tlenkiem

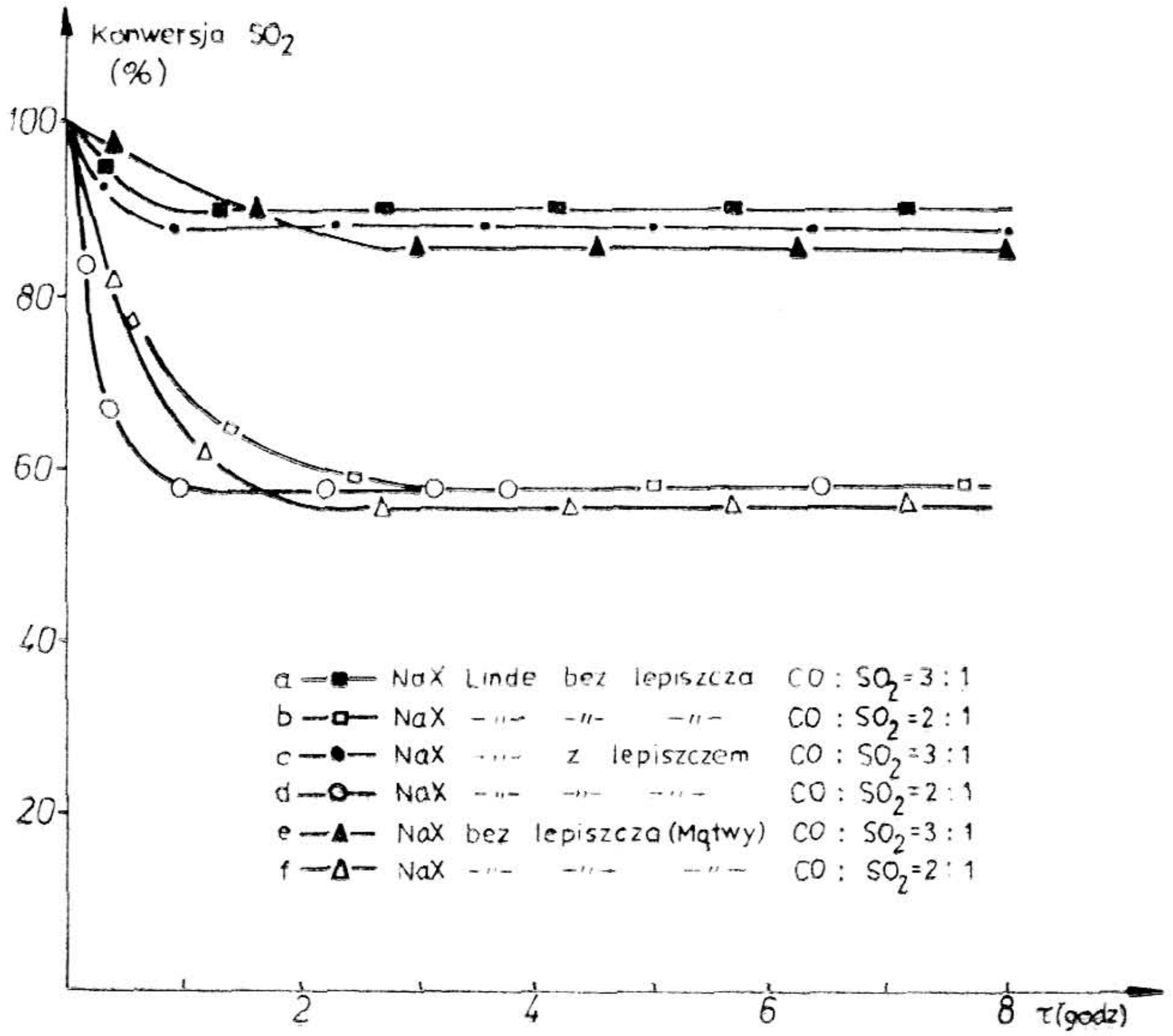


Rys. 1. Przebieg reakcji SO_2 z CO na zeolicie Na-X z lepiszczem przy stos. obj. CO : SO_2 = 2 : 1 w temperaturach 440 i 500°C



Rys. 2. Przebieg reakcji SO_2 z CO na zeolicie Na-X z lepiszczem przy stos. obj. CO : SO_2 = 3 : 1 w temperaturach 440 i 500°C

węgla przeprowadzono w identycznych warunkach eksperymenty z zeolitami Na-X z lepiszczem i bez lepiszcza firmy Linde oraz Na X bez lepiszcza produkowanym w Mątwach.



Rys. 3. Porównanie przebiegu reakcji SO_2 z CO na sodowych formach zeolitu typu X w temperaturze 500°C przy stos. obj. CO : SO_2 = 2 : 1 i 3 : 1

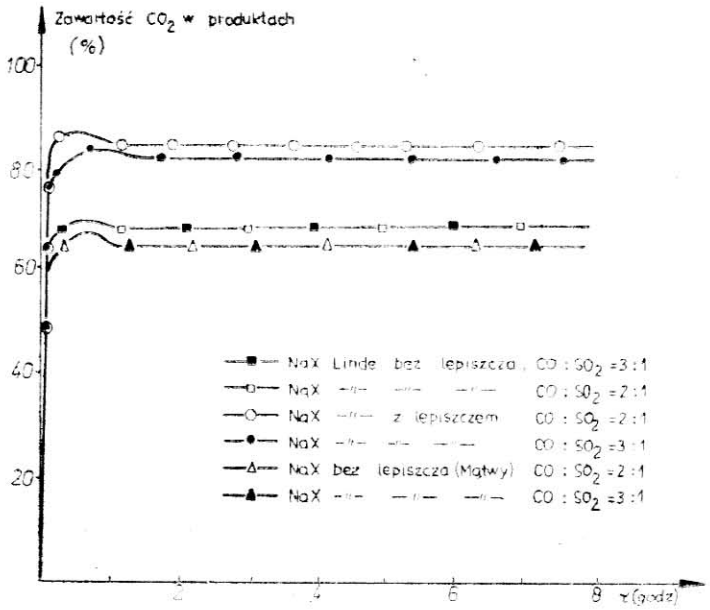
Na rys. 3 porównano przebieg redukcji SO_2 tlenkiem węgla w temperaturze 440 i 500°C z udziałem zeolitów typu Na-X. Przereagowanie SO_2 na tych katalizatorach jest jednakowe w identycznych warunkach. Z kolei porównując zawartość CO_2 w produktach reakcji (rys. 4) widać wyraźnie różnice w wysokościach stanów starjonarnych powstawania CO_2 na zeolicie Na-X z lepiszczem (krzywe c i d) oraz bez lepiszcza (krzywe a, b, e, f, na rys. 4).

Obserwowane fakty eksperymentalne dowodzą, że obok reakcji głównej

$$2\ CO + SO_2 = 2\ CO_2 + 1/n\ S_n \qquad (1)$$

gdzie S_n — równowagowa cząsteczka siarki

zachodzą dodatkowe procesy, które są katalizowane przez lepiszcze i prowadzą do pojawienia się wyższych, w porównaniu z konwersją SO_2, ilości CO_2 w produktach reakcji.



Rys. 4. Porównanie zawartości CO_2 w produktach reakcji redukcji SO_2 z CO w temperaturze 500°C przy stos. obj. $CO : SO_2 = 2 : 1$ i $3 : 1$ na sodowych formach zeolitu typu X

Podobne zjawisko obserwował Khalafalla [6] w czasie redukcji SO_2 tlenkiem węgla na katalizatorze Fe/Al_2O_3.

Obok głównych produktów w mieszaninie poreakcyjnej gazów pojawiają się niewielkie ilości COS. Tlenosiarczek węgla obserwowano w produktach redukcji SO_2 przez CO na zeolitach bez lepiszcza jedynie w czasie prowadzenia procesu przy nadmiarze CO (stos. obj. $CO : SO_2 = 3 : 1$), natomiast w przypadku stosowania Na-X z lepiszczem COS pojawiał się w mieszaninie poreakcyjnej gazów nawet przy stechiometrycznej ilości CO w substratach. COS powstaje w wyniku działania CO na siarkę elementarną już w temperaturze około 200°C.

$$CO + 1/n\ S_n = COS \qquad (2)$$

Ilości COS zależą od temperatury reakcji. W oddzielnych eksperymentach z udziałem siarki elementarnej (ogrzewanej w różnych temperaturach) oraz mieszaniną CO i N_2 najwyższe stężenie COS obserwowano w temperaturze 400°C. Powyżej tej temperatury zawartość COS obniża się.

Jak wynika z danych literaturowych [6—9] powstawanie COS jest korzystne dla przebiegu redukcji SO_2, ponieważ reakcja

$$2\ COS + SO_2 = 3/n\ S_n + 2\ CO_2 \qquad (3)$$

wymaga niższych, w porównaniu z reakcją (1), energii aktywacji i przebiega czterokrotnie szybciej.

Reakcja (2) katalizowana jest przez lepiszcze, ponieważ nawet przy stechiometrycznej ilości CO w substratach reakcji, COS obserwowany jest w jej produktach, a równocześnie na Na-X z lepiszczem powstają większe ilości CO_2.

Stosowane w badaniach katalizatory różnią się między innymi zawartością żelaza (Na-X z lepiszczem 2000 ppm, Na-X bez lepiszcza 500 ppm). Badania innych autorów [6, 7, 10—12] dowiodły wysokiej aktywności katalizatorów zawierających Fe w reakcji prowadzącej do powstawania COS. Tlenosiarczek węgla ma ograniczoną trwałość, ulega rozkładowi pod wpływem ogrzewania. W obecności takich kontaktów jak żel krzemionkowy, tlenek glinu energia aktywacji rozkładu COS

$$2\ COS = CO_2 + CS_2 \qquad (4)$$

wynosi 22,2 kJ/mol [7] i w temperaturach około 400°C zachodzi z 90% wydajnością [6, 7, 9, 13, 14]. W temperaturach powyżej 650°C dominuje rozkład COS w kierunku utworzenia CO i siarki elementarnej.

$$2\ COS = 2\ CO + 2/n\ S_n \qquad (5)$$

Z powyższych rozważań można wyciągnąć wniosek, że dodatkowe ilości CO_2 w porównaniu z konwersją SO_2 są wynikiem rozkładu cząsteczek COS, którego większe ilości powstają w reakcji siarki i CO na zeolicie Na-X z lepiszczem.

Ponieważ w produktach reakcji nie stwierdzono obecności CS_2, można przypuszczać, że zachodzi dalsza reakcja

$$CS_2 + SO_2 = CO_2 + 3/n\ S_n \qquad (6)$$

Głównym (obok CO_2) produktem redukcji SO_2 tlenkiem węgla jest siarka elementarna. W temperaturze 440 i 500°C ciemnoczerwona, prawie czarna siarka szybko dyfunduje ze złoża katalizatora i kondensuje się na wyjściu z reaktora. W zeolicie pozostają tylko niewielkie ilości siarki (około 2 mg/g katalizatora odwodnionego).

Porównanie aktywności zeolitu Na-X z wynikami testów aktywności w podobnych warunkach przeprowadzonych przez Khalafallę [6] z udziałem zeolitów typu A wypada na korzyść tych pierwszych. W temperaturze 450°C na Na-A autorzy [6] obserwowali 27% konwersję SO_2, a na Ca-A 50%. Wyższa aktywność zeolitu Ca-A spowodowana jest większą dostępnością komór niż w Na-A. Powyżej temperatury 450°C w re-

akcji redukcji SO_2 tlenkiem węgla na zeolitach typu A następuje obniżenie przemiany, ponieważ w tak wysokich temperaturach następuje destrukcja sieci krystalicznej katalizatorów.

Przedstawione wyżej wyniki badań nad redukcją SO_2 tlenkiem węgla nie obejmują wszystkich aspektów reakcji. Prowadzone są nadal prace nad określeniem wpływu pary wodnej i tlenu na redukcję SO_2. Dokładne sprecyzowanie optymalnych warunków procesu wymaga przeprowadzenia prób w skali 1/4 lub 1/2 technicznej.

LITERATURA

[1] Chwalibóg H., *Chemik 1973*, 26, 342.

[2] Haas L. A., *US Bureau of Mines*, Inform. Circ. 1973, 8608.

[3] Dudzik Z., Bresińska I., *Przem. Chem.* 1976, 55, 251.

[4] Dudzik Z., Bilska M., *Przem. Chem.* 1974, 53, 727.

[5] Smoła W. I., Kielcew I. W., *Zaszczita atmosfiery ot dwuokisji siery.* Izd. Mietallurgia, Moskwa 1979, str. 129.

[6] Khalafalla S. E., Haas L. A., *J. Catal.*, 1972, 24, 121.

[7] Khalafalla S. E., Haas L. A., *J. Catal.*, 1973, 30, 451.

[8] Quinlan C. W., Okay V. C., Kittrell J. R., *Ind. Kng. Chem.*, Proc. Des. Develop. 1973, 12, 107.

[9] George Z. M., *J. Catal.*, 1974, 32, 261.

[10] Haas L. A., Mc Cormick T. H., Khalafalla S. E., *US Bureau of Mines*, Rep. Invest. 1972, 7647.

[11] Khalafalla S. E., Haas L. A., *J. Catal.*, 1972, 24, 115.

[12] Khalafalla S. E., Haas L. A., *Adv. Chem. Ser.* 1975, 139, 60.

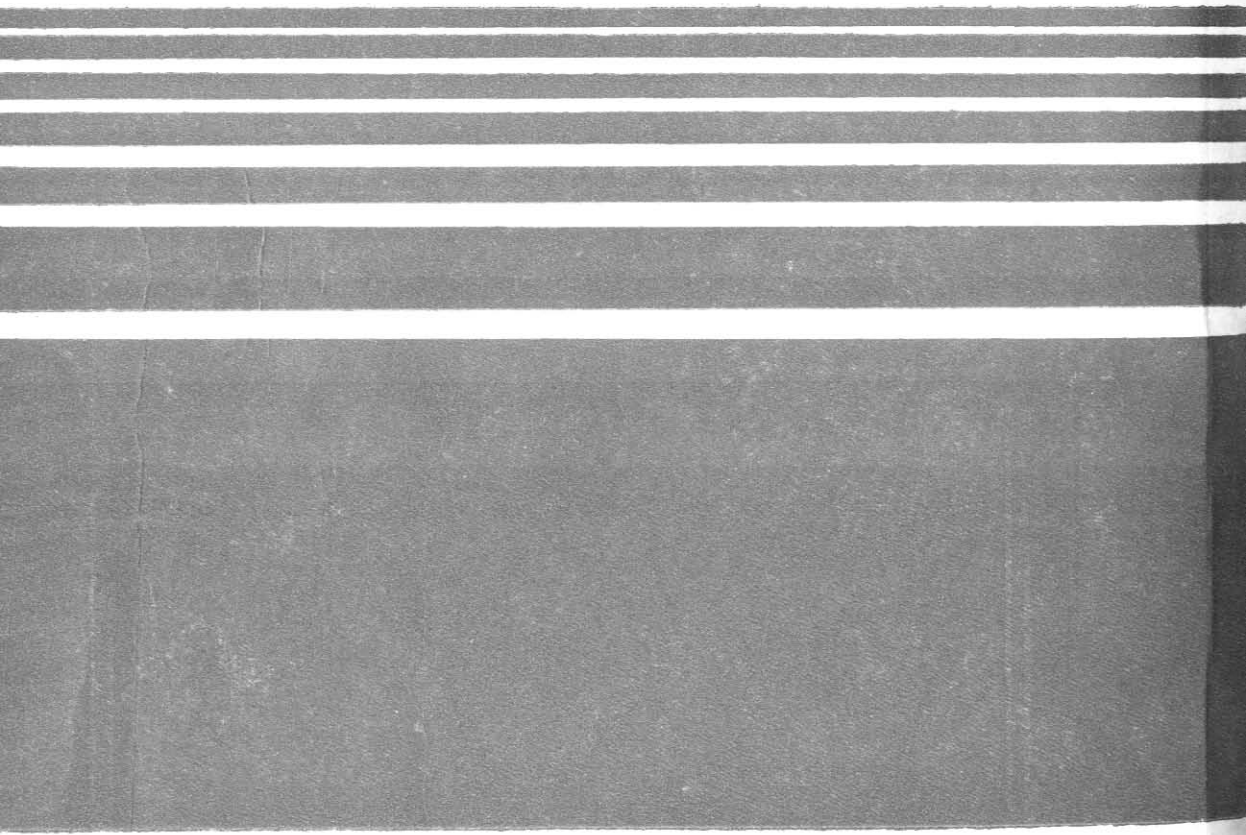
[13] Haas L. A., Mc Cormick T. H., Khalafalla S. E., *US Bureau of Mines*, Rep. Invest. 1971, 7483.

[14] George Z. M., *J. Catal.*, 1974, 32, 218.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W celu ułatwienia i przyspieszenia prac redakcyjnych związanych z przygotowaniem materiałów do druku oraz drukowaniem poszczególnych Zeszytów Naukowych, redakcja prosi Autorów o przestrzeganie poniższych wymogów, zgodnych z PN-70/P-55025:

1. Objętość artykułów głównych nie powinna w zasadzie przekraczać 20 stron maszynopisu.
2. Maszynopis wydawniczy powinien być pisany jednostronnie na papierze formatu A-4, nie na przebitce, czarną taśmą, nie zabrudzonymi i nie uszkodzonymi czcionkami.
   Może zawierać odręczne, czytelne uzupełnienie, kolorem czarnym, znaków specjalnych oraz znaków w językach, których alfabetów nie ma na naszych maszynach do pisania, np.: znaków matematycznych, chemicznych, liter greckich itd.
3. Tekst w maszynopisie wydawniczym należy pisać bez używania jakichkolwiek wyróżnień, a w szczególności spacjowania (pismem rozstrzelonym) i podkreślania.
   Tytuły i podtytuły powinny być napisane małymi literami.
4. Kartka maszynopisu formatu A-4 powinna zawierać 30 wierszy po około 60 znaków łącznie z odsiępami.
   Marginesy powinny zawierać wymiary:
   górny — około 30 mm,
   lewy — około 35 mm
   Tekst maszynopisu powinien być napisany z podwójnymi odstępami między wierszami.
5. Artykuły w których występują wzory matematyczne, tabele i zestawienia należy składać w trzech egzemplarzach, pozostałe w dwóch egzemplarzach. U góry każdej tabeli należy podać tytuł (napis) objaśniający. Wszelkie zestawienia należy nazywać tabelami, a nie tablicami.
6. Rysunki i wykresy należy wykonywać zgodnie z PN czarnym tuszem na przezroczystej kalce lub na białym, gładkim papierze rysunkowym. Wszelkie napisy na rysunkach powinny być wykonane czytelnie pismem technicznym, tuszem. Wielkość rysunków i wykresów, grubość i gęstość poszczególnych linii oraz gęstość napisów powinny uwzględniać 1,4-krotnie zmniejszenie przy wykonywaniu klisz kreskowych. Zaleca się normalizację rysunków w skali 1:1 (szer. 125 mm, a wys. 190 mm łącznie z podpisem).
7. Fotografie przeznaczone do wykonania klisz siatkowych powinny być ostre i wykonane na białym, gładkim i błyszczącym papierze fotograficznym. Fotografie należy przesłać w kopertach, a nie przypinać spinaczami.
8. Wszelkie rysunki, wykresy i fotografie należy nazywać rysunkami (skrót rys.) i nie używać określeń takich jak: figura, szkic, fotografia, rycina itp. Numerować należy bieżąco, liczbami arabskimi.
9. U samego dołu rysunku (a przy fotografiach na odwrocie) należy wpisywać czytelnie ołówkiem numer rysunku, natomiast w tekście maszynopisu zaznaczać na marginesie miejsce, gdzie należy umieścić tabelę lub rysunek.
10. Spisy rysunków zawierające podpisy pod nimi, należy niezależnie od tekstu artykułu sporządzać w dwóch egzemplarzach.
11. Rysunki powinny być nadsyłane w dwóch egzemplarzach (kalka i odbitka np. kserograficzna) nie wklejone do tekstu, lecz załączone oddzielnie w usztywnionej kopercie.
12. Do każdego głównego artykułu należy dodać w dwóch egz. krótkie omówienie pracy, streszczenie w języku polskim i obcym.
13. Wzory matematyczne powinny być napisane czytelnie, we wzorach wielostopniowych przy liniach ułamkowych powinny być zachowane odstępy, umożliwiające ich adiustowanie. Wskaźniki i wykładniki powinny być napisane wyraźnie i czytelnie na maszynie do pisania lub odręcznie. Powinny mieć jednakową wielkość i być prawidłowo obniżone lub podwyższone w stosunku do linii wiersza podstawowego. Do każdego artykułu należy dołączyć wykaz znaków specjalnych z podaniem zapisu fonetycznego.
14. Przypisy powinny być napisane na oddzielnej stronie, numerowane bieżąco wg wzoru:
    a) prace cytowane z czasopism i wydawnictw ciągłych — numer bieżący, inicjał imienia, nazwisko autora, tytuł pracy, tytuł czasopisma, rok wydania, numer;
    b) prace cytowane z książki — nr bieżący, inicjał imienia, nazwisko autora, tytuł, wydawca, miejsce wydania, rok, strona.
15. Po zakończeniu artykułu, należy podać wykaz literatury, wymieniając w kolejności, nazwisko autora i pierwsze litery imion, pełny tytuł dzieła lub artykułu, tytuł czasopisma, miejsce i rok wydania, tom, numer zeszytu, ewentualnie numer strony. Pozycje wykazu literatury powinny być ponumerowane w kolejności alfabetycznej autorów.
16. U dołu pierwszej strony każdego artykułu należy podać tytuł naukowy, imię, nazwisko oraz miejsce pracy autora.
17. Na każdej kartce maszynopisu dopuszcza się 7 poprawek.
18. Redakcji przysługuje prawo przeprowadzenia drobnych zmian redakcyjnych, nie naruszających jednak zasadniczych myśli artykułu, niezbędnych skrótów, korekty stylistycznej oraz dostosowania oznaczeń i układu artykułu do przyjętych norm.
19. W celu szybkiego przekazania honorariów autorskich, redakcja prosi Autorów o podawanie imienia i nazwiska w pełnym brzmieniu, dokładnego adresu zamieszkania, oraz ewent. numeru i tytułu konta bankowego, na oddzielnej kartce.

Cena zł 93,–

EGZEMPLARZ BEZPŁATNY