BIULETYN INFORMACYJNY

AKTUALNE TENDENCJE ROZWOJOWE MECHANIKI CIAŁ ODKSZTAŁCALNYCH (W UJĘCIU STATYSTYCZNYM)

MICHAŁ ŻYCZKOWSKI (KRAKÓW)

1. Uwagi wstępne

Poszczególne gałęzie mechaniki ciał stalych odkształcalnych rozwijają się w sposób nierównomierny — jedne wchodzą obecnie w fazę silnego rozwoju, inne znajdują się w stadium zaniku lub przeżywają chwilowy kryzys. Celem obecnej pracy jest podanie pewnej statystyki, dotyczącej sześciu lat 1961–1966 i próba wyciągnięcia wniosków odnośnie aktualnego rozwoju mechaniki ciał odkształcalnych w skali światowej i w Polsce.

Statystykę publikowanych prac z dziedziny mechaniki ciał odkształcalnych najdogodniej będzie oprzeć na czasopismach referatowych, klasyfikujących i krótko omawiających poszczególne publikacje. W latach 1961–1966 omówiono blisko 50 000 prac z tego zakresu. Najbardziej odpowiednimi są: wydawany w Związku Radzieckim *Refieratiwnyj Żurnal, Miechanika* (w skrócie *RŻ*), oraz wydawane w Stanach Zjednoczonych *Applied Mechanics Reviews* (w skrócie *AMR*).

Tablica 1. Liczba prac z dziedziny mechaniki ciał odkształcalnych, omówionych przez czasopisma referatowe w latach 1961–1966

Rok	*Refieratiwnyj Żurnal* (*RŻ*)	*Applied Mechanics Reviews* (*AMR*)	*Polski Bibliografia Anal. Mechanika* (*PBAM*)
1961	6716	2715	328
1962	7298	2929	386
1963	8130	3128	316
1964	8426	3145	336
1965	8636	3196	325
1966	9362	3265	268
ogółem, 6 lat	48568	18369	1959
średnia roczna M	8095	3062	327
średni bezwzględny przyrost prac na rok	+501	+101	−13
średni procentowy przyrost prac na rok	+6,2%	+3,3%	−4,0%

W tablicy 1 podano porównanie liczbowe obu tych czasopism dołączając jednocześnie dane, dotyczące *Polskiej Bibliografii Analitycznej Mechaniki* (w skrócie *PBAM*), omawiającej prace polskie i publikowane

w Polsce. W przypadku *RŻ* wzięto pod uwagę całość działu «Sprężystość i plastyczność» (który zresztą od r. 1967 nosi nazwę «Mechanika ciał stałych odkształcalnych»); w przypadku *AMR* — całość działu «Mechanika ciał stałych» z pominięciem kinematyki i dynamiki ciał sztywnych, automatyki i sterowania, a z włączeniem metod matematycznych, aerosprężystości oraz mechaniki ciał w podwyższonych i obniżonych temperaturach; w przypadku *PBAM* — całość działu «Sprężystość i plastyczność».

W tablicy 1 podano również sumę prac omówionych w ciągu wspomnianych sześciu lat, średnią roczną M, a także pewne średnie przyrosty roczne liczby prac. Przyrosty te (podobnie jak i w dalszej części pracy) liczono następująco: przez wynikające z tablicy 1 punkty przeprowadzono linie proste metodą najmniejszych odchyleń kwadratowych; współczynnik kierunkowy tych prostych wynosi

$$m = \frac{5x_{66}+3x_{65}+x_{64}-x_{63}-3x_{62}-5x_{61}}{35} \tag{1.1}$$

(gdzie x_i są liczbami prac w poszczególnych latach — odpowiednimi wyrazami ciągu) i przyjęto go za miarę średniego bezwzględnego przyrostu referowanych prac w skali rocznej; wreszcie stosunek tego współczynnika m do odpowiedniej wartości średniej M przyjęto za miarę średniego procentowego przyrostu rocznego. Odnoszenie do wartości średniej M jest tu znacznie bardziej uzasadnione niż np. odnoszenie do wartości wyjściowej z r. 1961, mającej dość przypadkowy charakter.

Jak wynika z tablicy 1, *RŻ* nie tylko omawia niemal trzykrotnie większą liczbę prac od *AMR*, ale wykazuje dwukrotnie silniejszą tendencję rozwojową (średni procentowy przyrost prac na rok wynosi 6,2% w *RŻ* wobec 3,3% w *AMR*). Wydaje się, iż redakcja *AMR* sama «przesiewa» ukazujące się prace, przy czym czyni to z roku na rok ostrzej, niewątpliwie w sposób w pewnym stopniu subiektywny. W związku z tym oprzemy się na danych *RŻ* i skorzystamy ze stosowanej tam klasyfikacji.

Klasyfikacja ta dzieli prace na 6 zasadniczych grup dyscyplin, mianowicie: zagadnienia ogólne mechaniki ciał odkształcalnych; teoria sprężystości; plastyczność, pełzanie, mechanika gruntów; pręty i ustroje prętowe: wytrzymałość konstrukcji; własności mechaniczne materiałów. W ramach tych grup wyodrębniono ogółem 29 dyscyplin o różnym zasięgu — w ramach poszczególnych dyscyplin omawia się od kilkudziesięciu do około tysiąca prac rocznie (średnio około 300 prac). Klasyfikacja *AMR* wyodrębnia 23 interesujące nas dyscypliny, jest więc nieco mniej dokładna. Oczywiście klasyfikacji *RŻ* można by również postawić różne zarzuty — np. nie wyodrębnia ona zagadnień stateczności (wyboczenia), które mają swój dział w *AMR*. Problemów optymalnego kształtowania (i wielu innych, o wyraźnym profilu) nie wyodrębnia żadne z wspomnianych czasopism referatowych. Jednakże próba wprowadzenia własnej klasyfikacji byłaby niezwykle pracochłonna, zapewne niewspółmiernie w stosunku do otrzymanych wyników i wniosków.

Osobnym problemem są pomyłki w klasyfikacji, czasem bardzo zasadnicze. Tak np. praca W. ROTHA «Instabilität des durchströmten Schlauches», Österr. Ing.-Archiv 1964/1–2, dotycząca niekonserwatywnych zagadnień stateczności sprężystej, sklasyfikowana jest w *RŻ* 1965/2, B/288 w dziale ... «Mechanika gruntów» (!). Wydaje się jednak, iż takich pomyłek jest niewiele i nie mogą one poważniej rzutować na wyniki statystyki, ujmującej niemal 50 000 prac.

2. Tendencje rozwojowe w skali światowej

Podamy najpierw dwa zestawienia zbiorcze prac: sklasyfikowanych w grupach dyscyplin i w poszczególnych dyscyplinach. Bardzo nieliczną grupę problemów ogólnych mechaniki ciał odkształcalnych włączymy przy tym do grupy teorii sprężystości (do r. 1961 włącznie *RŻ* nawet nie wyodrębniał tej grupy), tak że ostatecznie wyodrębnimy 5 grup dyscyplin. Zestawienie prac sklasyfikowanych w grupach dyscyplin podaje tablica 2.

Jak widać z tablicy 2, pod względem przyrostu procentowego najsilniej rozwija się grupa dyscyplin «Własności mechaniczne materiałów» o nastawieniu głównie praktycznym i doświadczalnym — dalej «Plastyczność, pełzanie i mechanika gruntów». Pod względem przyrostu bezwzględnego liczby prac w skali rocznej największy rozwój wykazują te same grupy dyscyplin z tym, iż zamieniają się miejscami — największy przyrost bezwzględny wykazuje «Plastyczność». Te obie grupy mają średni przyrost procentowy powyżej średniego dla całej mechaniki ciał odkształcalnych, wynoszącego, według *RŻ*, 6,2%. Natomiast pozostałe trzy grupy dyscyplin rozwijają się słabiej (w kolejności, według przyrostu procentowego: «Wy-

trzymałość konstrukcji», «Teoria sprężystości», wreszcie «Pręty i ustroje prętowe»), jednak wszystkie wykazują przyrost dodatni.

Zestawienie w tablicy 2 ma charakter raczej syntetyczny. Znacznie dokładniejsze rozbicie na poszczególne dyscypliny umożliwi nam wyciągnięcie dalej idących wniosków. Zestawienie takie podaje tablica 3.

Tablica 2. Zestawienie zbiorcze prac, sklasyfikowanych w grupach dyscyplin

grupa dyscyplin \ rok	1961	1962	1963	1964	1965	1966	ogółem 6 lat	średnia M	średni przyrost bezwzgl. m	średni przyrost procent.
Teoria sprężystości i prace ogólne	1822	2109	2358	2323	2173	2521	13306	2218	+104	+4,7%
Plastyczność, pełzanie, mechanika gruntów	1562	1812	1891	2082	1993	2450	11790	1965	+148	+7,5%
Pręty i ustroje prętowe	696	703	703	754	691	874	4421	737	+26	+3,5%
Wytrzymałość konstrukcji	1378	1395	1624	1813	1866	1734	9810	1635	+97	+5,9%
Własności mechaniczne materiałów	1258	1279	1554	1454	1913	1783	9241	1540	+126	+8,2%
Ogółem	6716	7298	8130	8426	8636	9362	48568	8095	+501	+6,2%

W zależności od otrzymanych z obliczeń średnich rocznych przyrostów procentowych można podzielić dyscypliny na trzy grupy. Przez dyscypliny wykazujące tendencje silnie rozwojowe będziemy rozumieli te, dla których średni roczny przyrost procentowy przekracza 6,2%, co zapewnia również dodatni przyrost udziału procentowego danej dyscypliny w globalnej liczbie prac; przez dyscypliny wykazujące tendencje słabo rozwojowe — średni roczny przyrost procentowy w przedziale od zera do 6,2% (udział procentowy danej dyscypliny wykazuje już tendencję malejącą); wreszcie przez dyscypliny o tendencjach zanikowych — ujemny średni roczny przyrost prac. Tak podzielone dyscypliny i uszeregowane według średniego przyrostu procentowego zestawiono w tablicy 4.

Jakkolwiek statystyka obejmuje znaczną liczbę prac i dość długi okres, to jednak wnioski należy wyciągać bardzo ostrożnie, zwłaszcza odnośnie dyscyplin małych, gdzie np. opublikowanie materiałów z jakiejś specjalistycznej konferencji może zakłócić normalny tok rozwojowy. Tak np. dyscyplina «Dyslokacje» wykazywała w latach 1961–1965 wyraźne tendencje zanikowe, a nagły wzrost prac omówionych w r. 1966 (ponad dwukrotnie więcej od r. 1965) spowodował przesunięcie jej aż do grupy dyscyplin o tendencjach silnie rozwojowych. Wnioski odnośnie dyscyplin większych można uznać za znacznie pewniejsze. I tak za najsilniej rozwijające się dyscypliny obszerniejsze, o liczbie prac przekraczającej 200 rocznie, można uważać w kolejności następujące: badania własności mechanicznych plastyków i polimerów (+15,8%); mechanika gruntów (+11,9%); metody doświadczalne (+11,0%); przestrzenne zagadnienia teorii sprężystości (+10,1%); konstrukcje budowlane (+9,7%); własności mechaniczne materiałów (+9,3%); drgania ciał sprężystych (+9,2%), oraz powłoki (+8,4%). Natomiast według średniego bezwzględnego przyrostu liczby prac rocznie najbardziej rozwijającymi się dyscyplinami są w kolejności: mechanika gruntów (+97,6); konstrukcje budowlane (+96,2); drgania ciał sprężystych (+57,4); powłoki (+40,8) oraz badania własności mechanicznych plastyków i polimerów (+36,7).

Jak już wspomnieliśmy poprzednio, *RŻ* nie wyodrębnia dyscypliny «Stateczność, wyboczenie», która jest uwidoczniona w *AMR*. Dla uzyskania porównania przytoczono w tablicy 3 dodatkowo dane odnośnie tej dyscypliny oparte o *AMR*. Uzyskany średni procentowy przyrost roczny (+8,9%) jest już bardzo wysoki, a jeżeli uwzględnimy poprawkę związaną z faktem, iż przyrost ogólny prac w *AMR* jest dwukrotnie niższy

Tablica 3. Zestawienie zbiorcze prac, sklasyfikowanych w poszczególnych dyscyplinach

Dyscyplina \ rok	1961	1962	1963	1964	1965	1966	ogółem 6 lat	średnia M	średni przyrost bezwzgl. m	średni przyrost procent.
1. Problemy ogólne m.c.o.	79	81	63	52	69	60	404	67	−4,1	−6,0%
2. Przestrzenne zag. t. spręż.	183	188	216	268	289	280	1424	237	+24,0	+10,1%
3. Płaskie zag. t. spręż.	223	233	235	260	250	210	1411	235	+0,3	+0,1%
4. Spr. zginanie i skręc.	96	86	87	64	49	36	418	70	−12,4	−17,8%
5. Powłoki	323	456	562	473	479	613	2906	485	+40,8	+8,4%
6. Płyty	259	268	302	288	260	333	1710	285	+9,5	+3,3%
7. Fale sprężyste	220	246	228	238	155	194	1281	214	−11,2	−5,3%
8. Drgania ciał sprężyst.	439	551	665	680	622	795	3752	625	+57,4	+9,2%
9. Teoria plast. (og. i konst.)	409	381	360	456	443	483	2532	422	+18,6	+4,4%
10. Technolog. zag. t. plast.	149	123	292	223	185	187	1159	193	+8,8	+4,6%
11. Dynamiczne zag. t. plast.	114	130	149	135	109	134	771	128	+0,7	+0,5%
12. Dyslokacje	68	59	62	58	53	111	411	69	+5,5	+8,0%
13. Pełzanie i reologia	218	198	161	206	210	247	1240	207	+6,5	+3,1%
14. Wytężenie, pękanie	111	104	112	127	123	168	745	124	+10,2	+8,2%
15. Mechanika gruntów	493	817	755	877	870	1120	4932	822	+97,6	+11,9%
16. Pręty zakrzywione, łuki	76	90	76	82	85	69	478	80	−1,3	−1,6%
17. Ramy	176	165	165	180	161	137	984	164	−5,5	−3,3%
18. Belki, element. w. mat.	345	344	361	370	327	474	2221	370	+17,2	+4,7%
19. Pręty cienkościenne	54	52	53	66	80	137	442	74	+14,6	+20,0%
20. Kratownice	45	52	48	56	38	57	296	49	+0,7	+1,5%
21. Konstr. okrętowe i lotn.	107	147	127	150	119	135	785	131	+2,3	+1,7%
22. Konstrukcje budowlane	763	779	921	1107	1208	1141	5919	987	+96,2	+9,7%
23. Wytrzym. elem. maszyn.	508	469	576	556	539	458	3106	518	−1,7	−0,3%
24. Wytrzym. stat. i udarowa	299	257	318	304	431	347	1956	326	+21,4	+6,6%
25. Zmęczenie materiałów	224	219	237	205	285	275	1445	241	+12,0	+5,0%
26. Wytrzym. w podw. temp.	165	161	215	164	181	162	1048	175	−0,2	−0,1%
27. Własn. mech. materiałów	264	254	380	343	449	380	2070	345	+32,2	+9,3%
28. Wł. mech. plast. i pol.	151	192	184	232	295	336	1390	232	+36,7	+15,8%
29. Metody doświadczalne	155	196	220	206	272	283	1332	222	+24,4	+11,0%
Ogółem	6716	7298	8130	8426	8636	9362	48568	8095	+501	+6,2%
Stateczność, wyboczenie (według AMR)	150	138	216	196	206	231	1137	190	+16,8	+8,9%

Tablica 4. Podział dyscyplin na wykazujące w skali światowej tendencje silnie rozwojowe, słabo rozwojowe i zanikowe

Lp.	Dyscyplina	średni roczny przyrost procentowy liczby prac	symbol udziału prac polskich
	I. Dyscypliny o tendencjach silnie rozwojowych		
1.	Pręty cienkościenne	+20,0%	+++
2.	Własności mechan. plastyków i polimerów	+15,8%	+
3.	Mechanika gruntów	+11,9%	+++
4.	Metody doświadczalne	+11,0%	++
5.	Przestrzenne zagadn. teorii sprężystości	+10,1%	+++
6.	Konstrukcje budowlane	+9,7%	++
7.	Własności mechaniczne materiałów	+9,3%	+
8.	Drgania ciał sprężystych	+9,2%	+++
9.	Powłoki	+8,4%	++
10.	Wytężenie, pękanie	+8,2%	+
11.	Dyslokacje	+8,0%	+
12.	Wytrzymałość statyczna i udarowa	+6,6%	+
	II. Dyscypliny o tendencjach słabo rozwojowych		
13.	Zmęczenie materiałów	+5,0%	+++
14.	Belki	+4,7%	++
15.	Technologiczne zagadnienia teorii plastyczności	+4,6%	+
16.	Teoria plastyczności (zag. ogólne i konstr.)	+4,4%	+++
17.	Płyty	+3,3%	++
18.	Pełzanie i reologia	+3,1%	+++
19.	Konstrukcje okrętowe i lotnicze	+1,7%	+
20.	Kratownice	+1,5%	++
21.	Dynamiczne zagadnienia teorii plastyczności	+0,5%	+++
22.	Płaskie zagadnienia teorii sprężystości	+0,1%	+++
	III. Dyscypliny o tendencjach zanikowych		
23.	Wytrzymałość w podwyższonych temperaturach	−0,1%	+
24.	Wytrzymałość elementów maszyn	−0,3%	++
25.	Pręty zakrzywione, łuki	−1,6%	+++
26.	Ramy	−3,3%	+++
27.	Fale sprężyste	−5,3%	+++
28.	Problemy ogólne mechaniki ciał odkształcalnych	−6,0%	+++
29.	Sprężyste zginanie i skręcanie	−17,8%	+

niż w *RŻ*, to dochodzimy do wniosku, iż zagadnienia stateczności równowagi wskazują na jedną z najsilniejszych tendencji rozwojowych.

Najwyraźniejsze tendencje zanikowe wykazują problemy sprężystego zginania i skręcania (de Saint-Vénanta) — dyscyplina ta bywa istotnie uważana za niemal całkowicie wyczerpaną i niektóre czasopisma (np. *Journal of Applied Mechanics*) ogłaszają, iż nie przyjmują już do druku prac z tego zakresu (jedynie krótkie notatki).

Niektóre dyscypliny wykazują rozwój wyraźnie nieliniowy, jak np. «Płaskie zagadnienia teorii sprężystości» (wyraźne maksimum w r. 1964 i obecnie spadek), lub wspomniane już «Dyslokacje» (minimum w r. 1965 i obecnie gwałtowny wzrost). Jednakże nie wydaje się, by przeprowadzanie np. paraboli drugiego stopnia metodą najmniejszych kwadratów było celowe wobec zbyt dużych rozrzutów przypadkowych. Wnioski wysnute w oparciu o aproksymacje liniami prostymi można uważać za pewniejsze.

3. Udział prac polskich

Dla uchwycenia możliwie aktualnego stanu nauki polskiej w zakresie mechaniki ciał odkształcalnych zestawimy prace polskie, omówione w *RŻ* w latach 1965 i 1966. Przyjęcie dwóch ostatnich lat z jednej strony zapewni aktualność, z drugiej — wyeliminuje pewne przypadkowości, które wystąpiłyby przy wzięciu pod uwagę tylko jednego rocznika.

Udział prac polskich w grupach dyscyplin obrazuje tablica 5. Ogólny ilościowy udział prac polskich w latach 1965–1966, wynoszący 3,89% przy tendencji zwyżkowej (w r. 1966 — 4,00%) należy uznać za bardzo pozytywny; liczba ta nie tylko przekracza znacznie udział ludności Polski w ludności całego świata (około 1%), który tu nie może być miarodajny, lecz również udział ludności Polski w ludności Europy i Ameryki Północnej razem wziętych (około 3%).

Tablica 5. Udział prac polskich w grupach dyscyplin

Grupa dyscyplin \ rok	1965			1966			oba lata razem		
	ogółem	polskie	%	ogółem	polskie	%	ogółem	polskie	%
Teoria sprężystości i prace ogólne	2173	85	3,91%	2521	110	4,36%	4694	195	4,16%
Plastyczność, pełzanie, mechan. gruntów	1993	108	5,41%	2450	99	4,03%	4443	207	4,67%
Pręty i ustroje prętowe	691	33	4,78%	874	41	4,69%	1565	74	4,73%
Wytrzymałość konstrukcji	1866	52	2,79%	1734	75	4,32%	3600	127	3,53%
Własności mechaniczne materiałów	1913	46	2,41%	1783	50	2,80%	3696	96	2,60%
Ogółem	8636	324	3,75%	9362	375	4,00%	17998	699	3,89%

Gorzej przedstawiają się wnioski odnośnie struktury tego udziału, czyli dyscyplin i grup dyscyplin, w których udział ten głównie występuje. I tak największy udział prac polskich (4,73%) występuje w latach 1965–1966 w grupie dyscyplin «Pręty i ustroje prętowe», która ma najsłabszą tendencję rozwojową (+3,5%), natomiast najsłabszy udział prac polskich (2,60%) — w grupie dyscyplin «Własności mechaniczne materiałów», mającej najsilniejsze tendencje rozwojowe (+8,2%).

Tablica 5 unaocznia znany raczej fakt, iż udział prac polskich w danej grupie dyscyplin jest tym słabszy, im bardziej grupa ta jest zbliżona do zastosowań praktycznych. Jednakże należy tu podkreślić, iż już w r. 1966 sytuacja jest znacznie lepsza (udział prac bardziej równomierny) niż w r. 1965, bowiem w dwóch grupach dyscyplin bardziej zbliżonych do zastosowań («Wytrzymałość konstrukcji» i «Własności mechaniczne materiałów») notujemy wyraźny przyrost udziału procentowego prac polskich.

Udział prac polskich w latach 1965–1966 w poszczególnych dyscyplinach przedstawia tablica 6. Występuje tu oczywiście znacznie większy rozrzut: począwszy od 10,1% («problemy ogólne mechaniki ciał odkształcalnych») aż do 0% («Wytrzymałość w podwyższonych temperaturach» — w ciągu lat 1965 i 1966 *RŻ* nie sklasyfikował w tym dziale ani jednej pracy polskiej).

W zależności od procentowego udziału prac polskich w latach 1965–1966 podzielimy dyscypliny na trzy grupy: o znacznym udziale prac polskich (powyżej średniego udziału, wynoszącego 3,89%), o średnim udziale prac polskich (pomiędzy wspomnianym już udziałem ludności Polski 3% a 3,89%), wreszcie o słabym udziale prac polskich (poniżej 3%). Tak podzielone dyscypliny i uszeregowane według procentowego udziału prac polskich zestawiono w tablicy 7.

Tablice 4 i 7 uzupełniają się wzajemnie. W tablicy 4, dzielącej dyscypliny według tendencji rozwojowych, podano symbole udziału prac polskich, mianowicie symbol +++ dla znacznego, symbol ++ dla średniego, a symbol + dla słabego udziału prac polskich. W tablicy 7, dzielącej dyscypliny według udziału

Tablica 6. Udział prac polskich w poszczególnych dyscyplinach

Dyscyplina \ rok	1965			1966			oba lata razem		
	ogółem	polskie	%	ogółem	polskie	%	ogółem	polskie	%
1. Problemy ogólne mech. c.o.	69	7	10,1%	60	6	10,0%	129	13	10,1%
2. Przestrz. zag. t. spręż.	289	11	3,8%	280	18	6,4%	569	29	5,1%
3. Płaskie zag. t. spręż.	250	13	5,2%	210	8	3,8%	460	21	4,6%
4. Spr. zginanie i skręc.	49	0	0,0%	36	2	5,6%	85	2	2,4%
5. Powłoki	479	10	2,1%	613	23	3,8%	1092	33	3,0%
6. Płyty	260	11	4,2%	333	10	3,0%	593	21	3,5%
7. Fale sprężyste	155	11	7,1%	194	10	5,2%	349	21	6,0%
8. Drgania ciał sprężystych	622	22	3,5%	795	33	4,2%	1417	55	3,9%
9. Teoria plast. (og. i konstr.	443	42	9,5%	483	28	5,8%	926	70	7,6%
10. Technolog. zag. t. plast.	185	5	2,7%	187	4	2,1%	372	9	2,4%
11. Dynamiczne zag. t. plast.	109	8	7,3%	134	11	8,2%	243	19	7,8%
12. Dyslokacje	53	0	0,0%	111	4	3,6%	164	4	2,4%
13. Pełzanie i reologia	210	5	2,4%	247	15	6,1%	457	20	4,4%
14. Wytężenie, pękanie	123	2	1,6%	168	3	1,8%	291	5	1,7%
15. Mechanika gruntów	870	46	5,3%	1120	34	3,0%	1990	80	4,0%
16. Pręty zakrzywione, łuki	85	3	3,5%	69	6	8,7%	154	9	5,8%
17. Ramy	161	11	6,8%	137	8	5,8%	298	19	6,4%
18. Belki, element. wytrz. mat.	327	15	4,6%	474	15	3,2%	801	30	3,7%
19. Pręty cienkościenne	80	4	5,0%	137	9	6,6%	217	13	6,0%
20. Kratownice	38	0	0,0%	57	3	5,3%	95	3	3,2%
21. Konstr. okrętowe i lotnicze	119	2	1,7%	135	3	2,2%	254	5	2,0%
22. Konstrukcje budowlane	1208	35	2,9%	1141	50	4,4%	2349	85	3,6%
23. Wytrzym. elem. maszyn.	539	15	2,8%	458	22	4,8%	997	37	3,7%
24. Wytrzym. stat. i udarowa	431	10	2,3%	347	8	2,3%	778	18	2,3%
25. Zmęczenie materiałów	285	17	6,0%	275	14	5,1%	560	31	5,5%
26. Wytrzym. w podw. temp.	181	0	0,0%	162	0	0,0%	343	0	0,0%
27. Własn. mech. materiałów	449	10	2,2%	380	9	2,4%	829	19	2,3%
28. Wł. mech. plast. i polim.	295	2	0,7%	336	6	1,8%	631	8	1,3%
29. Metody doświadczalne	272	7	2,6%	283	13	4,6%	555	20	3,6%
Ogółem	8636	324	3,75%	9362	375	4,00%	17998	699	3,89%

Tablica 7. Podział dyscyplin według udziału prac polskich

Lp.	Dyscyplina	procentowy udział prac polskich	symbol tendencji rozwojowych
	I. Dyscypliny o znacznym udziale prac polskich		
1.	Problemy ogólne mechaniki ciał odkształcalnych	10,1%	—
2.	Dynamiczne zagadnienia teorii plastyczności	7,8%	0
3.	Teoria plastyczności (zag. ogólne i konstr.)	7,6%	0
4.	Ramy	6,4%	—
5.	Fale sprężyste	6,0%	—
6.	Pręty cienkościenne	6,0%	+
7.	Pręty zakrzywione, łuki	5,8%	—
8.	Zmęczenie materiałów	5,5%	0
9.	Przestrzenne zagadnienia teorii sprężystości	5,1%	+
10.	Płaskie zagadnienia teorii sprężystości	4,6%	0
11.	Pełzanie i reologia	4,4%	0
12.	Mechanika gruntów	4,0%	+
13.	Drgania ciał sprężystych	3,9%	+
	II. Dyscypliny o średnim udziale prac polskich		
14.	Belki, elementarna wytrzymałość materiałów	3,7%	0
15.	Wytrzymałość elementów maszyn	3,7%	—
16.	Konstrukcje budowlane	3,6%	+
17.	Metody doświadczalne	3,6%	+
18.	Płyty	3,5%	0
19.	Kratownice	3,2%	0
20.	Powłoki	3,0%	+
	III. Dyscypliny o słabym udziale prac polskich		
21.	Dyslokacje	2,4%	+
22.	Technologiczne zagadnienia teorii plastyczności	2,4%	0
23.	Sprężyste zginanie i skręcanie	2,4%	—
24.	Wytrzymałość statyczna i udarowa	2,3%	+
25.	Własności mechaniczne materiałów	2,3%	+
26.	Konstrukcje okrętowe i lotnicze	2,0%	0
27.	Wytężenie, pękanie	1,7%	+
28.	Własności mechaniczne plastyków i polimerów	1,3%	+
29.	Wytrzymałość w podwyższonych temperaturach	0,0%	—

prac polskich, podano symbole tendencji rozwojowych, mianowicie symbol + dla tendencji silnie rozwojowych, symbol 0 dla tendencji słabo rozwojowych, symbol — dla tendencji zanikowych.

Łatwo można dokonać pewnego podsumowania wspomnianych tablic obliczając udział prac polskich w całej grupie dyscyplin o tendencjach silnie rozwojowych, dalej słabo rozwojowych i zanikowych. Okazuje się mianowicie, iż w 12 dyscyplinach, uznanych przez nas za dyscypliny o tendencjach silnie rozwojowych, omówiono w latach 1965–1966 łącznie 10 882 prace, w tym 369 polskich, co daje 3,39%; w 10 dyscyplinach o tendencjach słabo rozwojowych omówiono 4 761 prac, w tym 229 polskich, czyli 4,81%; wreszcie w 7 dyscyplinach o tendencjach zanikowych omówiono łącznie 2 355 prac, w tym 101 polskich, czyli 4, 29%. Tak więc największy jest udział prac polskich w grupie środkowej, czyli dyscyplin o tendencjach słabo rozwojowych, jednak należy podkreślić, iż udział dyscyplinach silnie rozwojowych jest większy od wspomnianej już wartości granicznej 3%.

Zwrócimy jeszcze uwagę na dane, dostarczane przez *Polską Bibliografię Analityczną Mechaniki, PBAM*. Jak wynika z tablicy 1, *PBAM* wykazuje ujemny średni roczny przyrost prac polskich (i publikowanych w Polsce) w latach 1965–1966, co mogłoby budzić pewne obawy. Jednakże *RŻ* wykazuje dodatni przyrost prac polskich, a np. w r. 1966 liczba prac polskich omówionych przez *RŻ* jest już wyraźnie wyższa od omówionych przez *PBAM*. Można stąd wnosić, iż *PBAM* stopniowo ogranicza zakres omawianych dyscyplin, natomiast liczba prac polskich niewątpliwie wzrasta, co jest związane np. z powstaniem w r. 1963 nowego pisma, organu PTMTS, *Mechanika Teoretyczna i Stosowana*.

4. Wnioski odnośnie pożądanego rozwoju poszczególnych dyscyplin w Polsce

Tablice 4 i 7 zezwalają na łatwe wysnucie wniosków odnośnie pożądanego rozwoju poszczególnych dyscyplin w Polsce. Wydaje się, iż najbardziej wskazane jest rozwijanie tych dyscyplin, które w skali światowej wykazują tendencje silnie rozwojowe, a w których udział prac polskich jest słaby. Należą tu właściwie wyłącznie dyscypliny doświadczalne, o bezpośrednich zastosowaniach inżynierskich, mianowicie: «Własności mechaniczne plastyków i polimerów», «Własności mechaniczne materiałów» (innych), «Wytężenie, pękanie», oraz «Wytrzymałość statyczna i udarowa». Z dyscyplin teoretycznych można by tu wymienić jedynie «Dyslokacje», ale wniosek ten jest chyba już niesłuszny: należy pamiętać, iż mimo dążenia do możliwej aktualizacji obecnej pracy, *RŻ* w roczniku 1966 omawia z reguły prace publikowane w r. 1965, a więc pisane w r. 1964. Obecny udział prac polskich w zakresie dyslokacji jest już niewątpliwie znacznie większy.

Tak więc okazuje się, iż niema już dyscyplin teoretycznych o tendencjach silnie rozwojowych, w których udział prac polskich byłby słaby według naszej klasyfikacji. W tej sytuacji, gdybyśmy mieli wyciągać wnioski odnośnie pożądanego kierunku rozwoju dyscyplin teoretycznych w Polsce, należałoby zwrócić uwagę na te dyscypliny, które sklasyfikowaliśmy w dziale średniego udziału prac polskich, a które wykazują tendencje silnie rozwojowe; są to mianowicie «Konstrukcje budowlane», «Drgania ciał sprężystych» oraz «Powłoki». Jednakże główny nacisk należałoby kłaść na wymienione powyżej dyscypliny doświadczalne i stosowane, jakkolwiek niewątpliwie szerszy ich rozwój związany jest z poważnymi nakładami finansowymi. Ustanowienie przed kilku laty dorocznej nagrody PTMTS za najlepszą pracę doświadczalną jest niewątpliwie na miejscu, lecz dążenia w tym kierunku powinny być otoczone jeszcze bardziej troskliwą opieką.

Резюме

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛ (СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

В статье дан статистический анализ почти 50 000 работ по механике деформируемого тела, которые реферировались в РЖ «Механика» 1961–1966 г. На основе прямых проведенных с использованием метода нанменьших квадратов по данным соответствующим отдельным годам определялось среднее годовое абсолютное приращение работ и среднее процентное приращение по отдельным дисциплинам. Самое большое процентное приращение имело место в следующих областях: «тонкостенные стержни», «механические свойства пластмасс и полимеров», «механика грунтов». Обсуждается доля работ польских ученых за 1965–1966 г.; эта доля равна в среднем 3,89%.

Summary

CURRENT DEVELOPMENT TENDENCIES OF MECHANICS OF DEFORMABLE BODIES (STATISTICAL APPROACH)

The present paper analyses statistically nearly 50 000 papers devoted to mechanics of deformable bodies and reviewed by "Referativnyi Zhurnal" in the years 1961–1966. Plotting straight lines determined by least squares method through the data of particular years, the average absolute increase of papers per year and

the relative increase in percentage of individual disciplines have been established. The following disciplines show the most conspicuous increase: "thin-walled bars", "mechanical properties of plastics and polymers" and "soil mechanics". The contribution of the Polish papers in the years 1965 and 1966 amounts to some 3.89 percent.

KATEDRA MECHANIKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

MECHANIKA
TEORETYCZNA
I STOSOWANA
4, 5 (1967)

REOLOGIA GRUNTÓW(1)

IGOR KISIEL (WROCŁAW)

Dociekania reologiczne w gruntoznawstwie są o trzy lata starsze od oficjalnego wprowadzenia przez BINGHAMA słowa «reologia». TERZAGHI w 1925 r. w swej «Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage» podał zasady opisu matematycznego zjawiska, nazwanego przez niego «hydrodynamicznym wyrównywaniem się naprężeń», znanego dziś pod nazwą «konsolidacja». Można by zaryzykować powiedzenie, że *1925 r. był rokiem narodzin nie mechaniki gruntów, lecz reologii gruntów.*

Pierwsze prace z tej dziedziny dotyczyły wyłącznie zjawiska konsolidacji masy gruntowej, tj. usuwania się wody z porów ośrodka rozdrobnionego o nieściśliwych ziarnach z równoczesnym zagęszczeniem układu ziaren w szkielecie gruntowym. Spośród prac tego okresu warto wspomnieć o «Dinamikie gruntowoj massy» GERSEWANOWA, (1937) i «Setzung der Tonschichten» TERZAGHIEGO i FRÖHLICHA (1936) w przyczynkowych pracach RENDULICA, TSCHEBOTARIOFFA, CASAGRANDE i innych.

W 1935 r. M. A. BIOT opublikował pierwszą swą pracę o konsolidacji, w której podał podstawy obliczania konsolidacji przestrzennej przy założeniu, że szkielet ośrodka nie jest sztywny, lecz sprężysty. W 1938 r. to samo, lecz przy założeniu innych stałych fizycznych, uczynił FŁORIN.

Jednak jeszcze przed II wojną światową KEVERLING BUISMAN zwrócił uwagę na zjawisko t. zw. «wiekowego osiadania», odpowiadającego stanowi ustalonego pełzania. Stan ten wykracza poza możliwości ujęcia go za pomocą klasycznej teorii konsolidacji dla sprężystego szkieletu. Zjawiska wiekowego osiadania zostały zaobserwowane na wielu budowlach i domagały się wyjaśnienia; wyjaśnienia tego mogła udzielić tylko reologia, poprzez założenie, że szkielet gruntowy nie jest ani sztywny, ani sprężysty, lecz odznacza się zdolnością do pełzania. Okres II wojny światowej — poza szybką rozbudową klasycznej teorii Biota [prace BIOTA (*1941–1942*), CARILLO (*1942*) i in.] — nic przyniósł wielu wyników w zakresie reologii gruntów. Dopiero po wojnie zaczęła szybko wzrastać liczba prac poświęconych zagadnieniom wiekowego osiadania budowli. Ogłoszone w 1944 r. «10 wykładów z reologii» REINERA dostarczyły podniety i podstaw do badań reologicznych gruntów. Zaczął się odtąd bardzo burzliwy wzrost liczby prac poświęconych reologii gruntów. Utworzyły się szkoły narodowe: holenderska (z której pochodzi TAN TJONG-KIE), japońska, rosyjska, amerykańska, francuska, które wniosły znaczny wkład w rozwój tego typu badań. W Polsce poza grupą OLSZAKA i PERZYNY (IPPT PAN) pracują nad reologią gruntów i skał ośrodki krakowski i wrocławski oraz GIG w Katowicach. W maju 1966 r. odbyła się konferencja szkoleniowa w Jabłonnie (IPPT), na której ciekawe wyniki przedstawił STROGANOW, ZSRR; prace jego otwierają, wydaje się, pewną nową, ciekawą serię badań nad ciałami typu Binghamowskiego i nad kryterium ścinania gruntów w świetle teorii HUBERA-SCHLEICHERA.

Pomimo rozwoju badań reologicznych klasyczna teoria konsolidacji BIOTA nie traci swego znaczenia, może ona bowiem i powinna znaleźć zastosowania przy badaniach chociażby nad procesami wydobycia ropy naftowej. Wspomnijmy jako ciekawostkę, że BIOT był przez szereg lat pracownikiem laboratoriów koncernu Shell Company; rozwój jego teorii powiązany jest z pracami tej kompanii naftowej. Wydaje się ponadto, że rozwiązania, uzyskane przy zastosowaniu tej teorii, dadzą się przenieść na ośrodki o szkielecie mającym własności reologiczne przez zastosowanie (być może zmodyfikowanej) analogii ALFREYA.

(1) Referat generalny wygłoszony w dniu 25.XI.1966 r. we Wrocławiu na III sympozjum poświęconym reologii.

W Polsce badaniami tymi zajmuje się z powodzeniem inspirowany przez DERSKIEGO zespół Poznański, którego cztery prace przedstawiono na dzisiejszym sympozjum. Trzy z nich omówione będą w niniejszym referacie; czwarta — Derskiego — omówiona będzie oddzielnie, dotyczy bowiem zagadnień natury ogólniejszej. Zespół poznański pracujący pod opieką Derskiego w ciągu zaledwie dwóch lat pochwalić się może zupełnie konkretnymi osiągnięciami, co chciałbym tutaj z przyjemnością odnotować.

Jak dotąd zastosowania reologii w mechanice gruntów ograniczają się do zagadnienia działania obciążenia na grunt. Stateczność skarp, nośność gruntu pod budowlami, parcie gruntu na mury — te wszystkie tematy, w których stan dewiatorowy naprężeń odgrywa dominującą rolę — traktowane są jeszcze i dzisiaj z pozycji ciała sztywno-plastycznego. Podstawy tego traktowania założone były przez COULOMBA a rozbudowane przez RANKINE'A w drugiej połowie ubiegłego stulecia. I chociaż badane są ciała «sypkie» (a jakby przez ironię dodaje się do nich definicję «ze spójnością»), to jednak metody rozwiązywania zagadnień stanów granicznych oparte są w przypadku gruntów o zasadę zesztywnienia i korzysta się w nich tylko z równań równowagi elementu ciała z dodaniem warunku plastyczności, tj. warunku wiążącego naprężenia z pewnym stanem granicznym tychże. W ten sposób zadania stateczności są zadaniami statycznie wyznaczalnymi. Na tej pozycji stoją prace ogromnej grupy badaczy w kraju i za granicą, a ukoronowaniem tych prac jest chyba książka W. W. SOKOŁOWSKIEGO «Statyka ośrodka sypkiego» (pierwsze wydanie w 1942 r). Kierunek ten jest dalej rozwijany w ZSRR i na zachodzie; wydaje się jednakże SOKOŁOWSKI zamknął stuletni Rankine'owski okres badania ośrodka sypkiego. Dalej w tym kierunku pójść już nie można; można co najwyżej doskonalić metody rozwiązań lub uzyskać jeszcze rozwiązania przypadków szczególnie skomplikowanych. Teraz należy przystosowywać tę teorię do wymagań inżyniera nie uzbrojonego w maszyny liczące. Duży krok w tym kierunku uczynił DEMBICKI (Gdańsk, w latach 1963–1966), którego jedną z prac tutaj przedstawiamy. M. in. DEMBICKI bardzo pomysłowo zastosował w jednej ze swych wcześniejszych prac metodę małego parametru do rozwiązania nieliniowych równań hiperbolicznych teorii Sokołowskiego, gdy kąt tarcia wewnętrznego w gruncie jest niewielki (dotyczy to wszystkich gruntów ilastych).

Jednym z pierwszych sygnałów konieczności «nowego» spojrzenia na omawiane zagadnienia, które nazwiemy tutaj w skrócie «zagadnieniami plastyczności w gruntach», była praca TER-STEPANIANA, [1957 (IV. ICOSOMEF)], rozpatrująca zaobserwowane w naturze «pełzanie wgłębne» w zboczach naturalnych. Ter-Stepanian usiłował wyjaśnić to zjawisko z punktu widzenia odkształceniowej teorii plastyczności; wydaje się jednak, że konieczne jest w tym przypadku czysto reologiczne spojrzenie na zjawisko. Niektóre prace Stroganowa wskazują, że zastosowanie modelu Binghama lub Szwedowa pozwoliłoby rozwiązać to zagadnienie w sposób właściwy. Jest jednakże oczywiste, że trop jest nowy i potrzebne są duże wysiłki, aby osiągnąć na tej drodze efekty, o których można już będzie mówić praktykowi.

Badania prowadzone przez DMITRUKA (1962–65) wskazały, że można mówić o względnej utracie stateczności skarp nasypów w kopalniach odkrywkowych wychodząc ze stwierdzonej przez SZAFRANA (1961–64) przemiany struktury warstewek przypowierzchniowych brył gruntu. Względna utrata stateczności, to zjawisko naturalne, polegające na tym, że usypany materiał poddany obciążeniu ułożonych powyżej warstw zmienia swe własności reologiczne, które miał w chwili sypania. Ośrodek Wrocławski prowadzi te badania; ich wyniki pozwoliły zaproponować spojrzenie na materiał gruntowy jako na ciecz reologiczną, a jego opór ścinania utożsamić z lepkością owej cieczy. Byłoby to w pewnej zgodności z równolegle prowadzonymi we Wrocławiu badaniami teoretycznymi nad ośrodkiem M/V.

Dużą trudność w dalszych badaniach na te tematy stanowi brak rozwiązania sprężystego zadania o skarpie ciężkiej, na którego bazie można by snuć dalsze rozważania reologiczne. Jako ilustracja konieczności dysponowania rozwiązaniem zadania sprężystego przed przystąpieniem do zadania o nośności gruntu pod fundamentem może służyć praca na str. 23 tomu II referatów.

Obecny etap rozwoju reologii gruntów charakteryzuje się w skali światowej poszukiwaniami nowych, doskonalszych sposobów opisu zachowania się gruntów pod działaniem obciążenia, czasu, historii ośrodka i przy uwzględnieniu struktury jego szkieletu. Grunty jak żaden chyba inny materiał konstrukcyjny wykazują wyraźne cechy reologiczne; o ile w polimerach czasy relaksacji są z reguły dość krótkie, w betonach zaś i metalach bardzo długie, to w gruntach mogą one zawierać się w dowolnych granicach; wpływ historii powstawania pokładu gruntu, historii jego poprzednich obciążeń, to co zwiemy «pamięcią materiału» jest w gruntach ogromny; wpływ czynników zewnętrznych (wody opadowej i gruntowej, temperatury itp.) jest również tak istotny, że zadania reologii gruntów stają się wręcz olbrzymie.

Dlatego obecną fazę rozwoju reologii gruntów można przedstawić dwiema liniami: jedna — to poszukiwanie rozwiązań teoretycznych dla pewnych, zresztą dowolnych modeli reologicznych materiału; druga — doświadczenia nad samym materiałem, mające określić, jakie mianowicie modele reologiczne mogą być w odniesieniu do gruntów brane pod uwagę. Dwa ważne wydarzenia miały miejsce w ciągu ostatnich dwóch lat: Sympozjum REMESO w Grenoble, którego materiały opuściły właśnie drukarnię (Springer, 1966), i VI ICOSOMEF w Montrealu, na którym nie było żadnego oficjalnego reprezentanta polskiej geotechniki. Materiały obu tych zjazdów potwierdzają przytoczoną powyżej charakterystykę rozwoju reologii gruntów. Chwila, w której obie omawiane linie się spotkają, oznaczać będzie, że jedne i drugie badania doprowadziły do skonstruowania uniwersalnego modelu reologicznego gruntów i do sposobów określenia parametrów takiego modelu. Od tej chwili reologię gruntów traktować będzie można tak, jak np. mechanikę budowli, w której wszystkie schematy rozwiązań mają zastosowanie w praktyce. Obecnie w reologii gruntów nie ma jeszcze o tym mowy. Wspomniane dwie linie kierunków badań — teorii i doświadczenia — są obecnie prawie równoległe. Tym intensywniej prowadzić należy eksperymenty nad określaniem reologicznych właściwości gruntów. Takie eksperymenty prowadzone są systematycznie w GIG-u w Katowicach (por. t. II, str. 77 i 87).

Na tle powyższego przeglądu obecnego stanu badań w dziedzinie reologii gruntów można już zorientować omawiane poniżej prace, przedstawione na dzisiejszym sympozjum w tomie II.

E. DEMBICKI (Gdańsk, str. 13) przedstawił rozwiązanie zadania o kształcie skarpy statecznej z materiału sztywno-plastycznego (inaczej — ośrodek sypki ze spójnością), znajdującego się w stanie granicznym, obciążonej parabolicznym obciążeniem na naziomie i mającej ciężar własny. Rozwiązanie uzyskano metodą SOKOŁOWSKIEGO dla stanu plastycznego o trzech obszarach zmienności charakterystyk stosując rachunek różnic skończonych i uwzględniając panujące na skarpie warunki brzegowe. Interesujący jest sposób polegający na dwuetapowym obliczaniu kolejnego następnego punktu przecięcia się charakterystyk. Po znalezieniu metodą różnic skończonych pierwszego przybliżenia położenia punktu przecięcia się charakterystyk (wychodząc z dwu punktów już znanych) autor dzieli otrzymane odcinki na pół i powtarza obliczenie dla tych punktów pośrednich. Skorygowane położenie punktu M przecięcia się charakterystyk jest poprawniejsze. Autor powołuje się na wyniki liczbowe. Opisanego sposobu nie da się zastosować, jeśli spójność $c = 0$ lub jeśli strefa II (wg pracy) staje się urojona, tj. kąt pomiędzy skrajnymi charakterystykami tej strefy staje się ujemny.

I. KISIEL i K. KUJAWIŃSKI (Wrocław, str. 23) przedstawili rozwiązanie płaskiego zadania o rozwoju obszarów uplastycznienia w miarę upływu czasu pod sztywnym stemplem w półpłaszczyźnie o modelu reologicznym M/V. Zasięgi stref plastycznych naniesiono w postaci warstwic dla czasu 0,5; 1,; 1,5,; 2,; 2,5; 2,65 dnia (wówczas strefy spod obu narożników stempla spotykają się) 3, 5, 10 i ∞ dni. Poprzedzono je obliczeniem rozkładu naprężeń dla ośrodka sprężystego. Stwierdzono, że jeśli płynięcie odbywa się przy stałej objętości, wówczas można by pominąć wpływ konsolidacji w ośrodku nawodnionym. Ma to znaczenie dla uproszczenia rachunków inżynierskich; związane jest jednak z koniecznością wyznaczania odmiennych od stosowanych dotąd parametrów reologicznych gruntów, czego na razie nie umiemy czynić.

Z. SOBCZYŃSKA (Poznań, str. 33) zajmuje się zadaniem o sile skupionej na powierzchni półpłaszczyzny Biota przy założeniu, że powierzchnia półplaszczyzny jest nieprzepuszczalna. Praca stanowi dalsze rozwinięcie badań autorki nad działaniem siły skupionej przy konsolidacji, wykonanych w oparciu o metodę Derskiego rozprzężenia równań konsolidacji. Zastosowano transformację Laplace'a. Rozwiązanie ilustrują wyniki liczbowe. Interesujące jest, że w przypadku nieprzepuszczalnej powierzchni półplaszczyzny w otoczeniu siły tworzy się jakgdyby fala na powierzchni, stopniowo rozchodząca się od miejsca obciążonego i zanikająca w miarę upływu czasu.

D. PAŃCZAK (Poznań, str. 43) ułożył równania teorii konsolidacji Biota w ujęciu Derskiego dla przypadku działania źródła dylatacji zarówno cieczy, jak i szkieletu gruntowego wewnątrz przestrzeni konsolidującej. Jest to zagadnienie dotąd nie rozwiązane; praca w tym względzie stanowi interesujące rozszerzenie dotychczasowych wyników. Nie podano wyników numerycznych, które można uzyskać w oparciu o transformację Laplace'a. Praca daje narzędzie do rozwiązania praktycznie ważnych zadań o wyplywie wody z głębionych studzien lub ropy z otworu wiertniczego, wykonywaniu wyrobisk w kopalniach itp.

Omówione prace miały charakter teoretyczny. Na pograniczu teorii i eksperymentu leży praca J. PRZYSTAŃSKIEGO (Poznań, str. 51) dotycząca metodyki określania Biotowskich współczynników stanu A, N, Q

i R oraz interpretacji ich przez tradycyjnie stosowane współczynniki w mechanice gruntów. Jak wiadomo, współczynniki Biota, określające fizyczne właściwości ośrodka, nie odpowiadają tradycyjnie stosowanym stałym materiałowym. Autor rozpatruje sposoby określania tych współczynników podane przez BIOTA, przez GEERSTMĘ i przez FATTA, którego schemat przyrządu oparto o sposób Geerstmy. FATT zbadał te stałe dla piaskowców (w referacie chyba mylnie podano «dla piasków»). Z kolei w pracy podano próbę interpretacji fizycznej współczynników Biota i ich powiązań z tradycyjnymi. Przy pewnych założeniach upraszczających, mogących być przedmiotem dyskusji, autor wykazuje, na czym polegają podobieństwa i różnice pomiędzy tradycyjnymi a Biotowskimi współczynnikami, jak też wzory wiążące te współczynniki.

S. DMITRUK i H. SUCHNICKA (Wrocław, str. 65) rozważają — m. in. na podstawie własnych doświadczeń zagadnienie lepkości strukturalnej gruntów, traktując ją jako charakterystykę oporu ścinania. Po zrekapitulowaniu «klasycznego» etapu badań nad ścinaniem autorzy przedstawiają nowe aspekty zagadnienia ścinania: wzrost oporu ścinania ze wzrostem prędkości odkształcenia i zniszczenie jako wtórny efekt czasu, zagadnienie «chwili zniszczenia» próbki w aparacie trójosiowego ściskania, zależność oporu ścinania od tzw. drogi ścięcia, czyli krytycznej wartości deformacji przy ścinaniu itp. Autorzy sugerują własną hipotezę krytycznej prędkości odkształcenia wychodząc z definicji gruntu jako cieczy o lepkości strukturalnej, nieliniowej. Praca podaje jedynie wyniki badań wstępnych; dalsze badania są obecnie w toku.

J. KWIATEK (GIG, Katowice, str. 77) bada ważne z punktu widzenia praktyki budownictwa na terenach górniczych zagadnienie sił rozciągających w fundamencie budowli, stojącej na zboczu niecki osiadania górniczego. Teorię oparł autor o model reologiczny ZENERA (a nie M/V jak podano w pracy, gdyż w modelu nie uwzględnia się zjawiska plastyczności gruntu). Na drodze doświadczalnej w aparaturze własnego pomysłu autor znalazł, że siła w fundamencie relaksuje dość szybko zarówno w gruntach piaszczystych, jak i w ilastych. Właśnie ta relaksacja może pozwolić na oszczędności przy zbrojeniu fundamentów na siły rozrywające.

KIDYBIŃSKI (GIG, Katowice, str. 87) przedstawił wyniki długotrwałych badań nad właściwościam reologicznymi skał formacji karbońskiej. Cel badań — zapobieganie gwałtownemu rozpadowi pokładu (można to utożsamić ze zniszczeniem pokładu) pod skoncentrowanym u jego krawędzi obciążeniem (zjawisko to nosi nazwę «tąpania»). Przeprowadzona analiza przytoczonych w pracy wyników doświadczeń reologicznych wskazuje na istnienie efektów nieliniowych sprężystych i lepkich oraz granicy plastyczności, powyżej której prędkość pełzania wzrasta. Stwierdzono, że łupki (chyba to rozumie autor pod słowem «mułkowce»?) można opisać szeregiem modeli Kelvina i Saint-Venanta; są one więc ciałami stałymi, podczas gdy piaskowce i węgiel kamienny mają włączone szeregowo lepkości — są więc cieczami, piaskowce zaś ponadto muszą w modelu reologicznym mieć jeden element Murayamy-Shibaty, również włączony szeregowo do reszty modelu. Praca znakomicie rozszerza wiadomości o reologicznym zachowaniu się skał w oparciu o doświadczenia; na tym polega jej duża wartość, tym większa, że jak wspomniano, nie dysponujemy zbyt wielką liczbą badań eksperymentalnych tego typu.

MECHANIKA
TEORETYCZNA
I STOSOWANA
4, 5 (1967)

REOLOGIA BETONU
STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU(1)

ADAM MITZEL (WROCŁAW)

1. Opracowanie referatu generalnego, który spełniałby postulaty podane w słowie wstępnym tomu I [1], jest możliwe, moim zdaniem, tylko w przypadku łącznego rozpatrywania dziedzin reprezentowanych na sympozjum. Łączne omówienie wyjściowych i podstawowych zasad jest konieczne w celu wyodrębnienia kierunków i perspektyw rozwoju jednej dziedziny. Drugi postulat, który powinien być spełniony w referacie generalnym, to omówienie poszczególnych prac jednej dziedziny na tle dotychczasowych osiągnięć i perspektyw rozwoju.

Otóż w przypadku reologii betonu sprawa się komplikuje, jeżeli uwzględnić fakt, że z 10 referatów zgrupowanych w tomie I pod wspólnym tytułem «Reologia betonu i konstrukcji» tylko 4 referaty dotyczą właściwej reologii betonu, dwa referaty mają charakter ogólny, a cztery z nich zaliczyć trzeba do reologii konstrukcji.

2. Liczba opublikowanych w ostatnich latach prac naukowych i naukowo-technicznych dotyczących zachowania się materiałów konstrukcji przy długotrwałym obciążeniu jest bardzo duża. Świadczy to o gwałtownym wzroście zainteresowania tą dziedziną wiedzy i o jej burzliwym rozwoju.

Zainteresowanie reologią ma swoje podłoże praktyczne. Tłumaczyć to można między innymi faktem, że odkształcenia reologiczne i «reoefekty» zniszczenia konstrukcji coraz bardziej decydują o ich granicznej nośności.

Ponieważ do tradycyjnie przyjętych niezależnych zmiennych geometrycznych w teorii sprężystości i plastyczności dochodzi jeszcze zmienna czasu t, mamy w reologii do czynienia z pojęciem szybkości odkształceń, a więc z ruchem ośrodka. Ogólne prawa ruchu ustanawiają tak zwane «reologiczne równania stanu». Do tych równań wchodzą także własności fizyczne badanych materiałów, od których zależne są wyżej wspomniane szybkości odkształceń. Stąd wynika, że równania stanu mogą być otrzymane tylko na bazie eksperymentalnej. Reologiczne równania stanu komplikują się, jeżeli dochodzą jeszcze inne wielkości wpływające na ich budowę, jak np. fizyko-chemiczne procesy decydujące o zmianie struktury materiału i jego właściwości w czasie, jak w sztucznych tworzywach, betonie, drewnie lub w gruntach i innych. Innymi słowy, jeżeli uwzględnimy proces «starzenia się» materiałów.

Wreszcie w niektórych materiałach ważnym czynnikiem jest wysoka temperatura, która w dużym stopniu decyduje o postaci równań stanu. W związku z tym trzeba podkreślić, że na obecnym etapie rozwoju nie dysponujemy równaniami stanu, które w szerokim zakresie uwzględniałyby powyższe czynniki dla materiałów rzeczywistych.

Trudności natury matematycznej zmuszają do ograniczenia tych równań tylko do przypadków szczególnych i w ograniczonym zakresie, np. do stałych naprężeń, stałych szybkości odkształceń, stałej temperatury lub też do nieuwzględnienia procesu starzenia.

Przytoczone wyżej czynniki składają się na tak zwaną teorię reologiczną o charakterze fenomenologicznym, nie wnikającą w budowę molekularną rozważanych materiałów. Tymi zagadnieniami zajmuje

(1) Referat generalny wygłoszony w dniu 25.XI.1966 r. we Wrocławiu na III sympozjum poświęconym reologii

się fizyka i chemia. Do chwili wyjaśnienia zjawisk molekularnych struktury materiałów efektywna synteza obu kierunków badań fenomenologicznych i strukturalnych jest na obecnym etapie rozwoju niemożliwa. Mówiąc więc o tendencjach rozwojowych reologii zmuszeni jesteśmy zanalizować na razie tylko stronę fenomenologiczną.

W obecnym stadium rozwoju istnieją dwa zasadnicze kierunki cechujące sposób podejścia do zagadnień reologicznych. Jeden ogranicza się do czysto formalnej schematyzacji zjawisk za pomocą modeli złożonych z kilku prostych elementów; drugi cechuje dążność do ujęcia zjawisk reologicznych w postaci bardziej ogólnej za pomocą zwykłych lub uogólnionych funkcji pełzania.

Wspomniane modele składają się ze sprężyn reprezentujących cechy sprężyste materiałów oraz z tłumików odzwierciedlających cechy lepkie. Mogą być wprowadzone jeszcze suwaki, które obrazują tarcie suche odpowiadające odkształceniom plastycznym. Przez kombinację tych elementów w serii lub równolegle można otrzymać różne modele bardziej złożone, pozwalające z większą lub mniejszą dokładnością zobrazować główne cechy reologiczne materiałów.

Dokładnie biorąc, wyżej wspomniane elementy w modelach są niczym innym niż człony konstytutywne reologicznych równań stanu i właściwie nie zachodzi potrzeba ich wizualizacji przez konstruowanie odpowiednich modeli ze sprężyn i tłumików. Niemniej jednak ułatwiają one kontrolę napisanych równań i dają gwarancję, że nie występują w nich sprzeczności.

Wynikające z modeli równania różniczkowe opisujące związek między odkształceniami i naprężeniami charakteryzują materiały lepkosprężyste, rząd równania jest równy ilości tłumików w modelu. Zwięzły zapis równań można otrzymać dzięki wprowadzeniu operatorów różniczkowych względem czasu t, działających na naprężenia i odkształcenia.

Zasadniczo równania lepkosprężystości mają taką samą postać jak równania teorii sprężystości, w których współczynniki charakteryzujące sprężystość materiału zostały zastąpione operatorami względem czasu.

W zagadnieniach quasi-statycznych liniowej teorii lepkosprężystości można operatory traktować jako stałe parametry i w ten sposób otrzymać zupełną analogię do problemu sprężystego.

Znany jest fakt, że związki liniowej teorii lepkosprężystości mogą być napisane w innej postaci zawierającej operatory całkowe i jeżeli zrezygnujemy z pierwotnego przedstawienia modelowego, możemy tym operatorom przypisać bardziej ogólne, szersze właściwości. Tą drogą dochodzimy w sposób naturalny do zasady superpozycji, tj. do jednej z podstawowych zasad liniowej teorii lepkosprężystości.

Do klasycznej, liniowej teorii lepkosprężystości dodano jeszcze zasadę niezmienności w czasie właściwości ośrodka i w ten sposób wyłączono zjawisko starzenia się materiału. Wyłączenie z równań stanu tego zjawiska czyni liniową teorię bardziej elegancką. Niestety w ten sposób nie może być ona zastosowana do wszystkich materiałów.

W ostatnim czasie jest tendencja traktowania równań stanu pełzania w zupełnie ogólnej postaci uważając rzeczywiste ośrodki jako szczególne przypadki. Przy tym stosuje się zapis tensorowy; uwzględnia się niekiedy także (w płytach i powłokach) anizotropię i nieliniowość geometryczną. Reguły algebry tensorowej skracają w dużym stopniu formy zapisu.

Przez wprowadzenie operatorów całkowych zapis równań staje się jeszcze bardziej zwięzły. Stosowanie funkcji pełzania w postaci uogólnionej umożliwia wykorzystanie ich w zagadnieniach liniowych i nieliniowych z uwzględnieniem starzenia lub też bez niego.

Wspomniane wyżej nieliniowe operatory całkowe przybierają postać liniową w przypadku rozpatrywania zagadnienia w zakresie liniowym.

Jakkolwiek pożyteczne z punktu widzenia rozwoju ogólnej teorii pełzania tego rodzaju ogólne formułowanie równań reologicznych uważam za zbyt szerokie, tak czy inaczej, aby uzyskać rozwiązania w konkretnych przypadkach, trzeba skorzystać z wyników eksperymentalnych dotyczących danego materiału. Wtedy dopiero precyzuje się postać funkcji pełzania. Wskazuje ona na trudności, które napotykamy przy konkretnych obliczeniach.

3. Przechodzę do reologii betonu. Na bazie omawianych w poprzednim punkcie uwag ogólnych, dotyczących zachowania się w czasie różnych materiałów, można teraz reologię betonu i jej teorię lepiej scharakteryzować i sprecyzować. Można zatem stwierdzić, że liniowa i nieliniowa teoria lepkosprężystości może przy spełnieniu pewnych warunków znaleźć zastosowanie w konstrukcjach z betonu.

Z uwagi na specyficzne właściwości betonu, jak zmienność w czasie modułu odkształcalności, współczynnika Poissona, cech wytrzymałościowych oraz także ze względu na zjawisko skurczu, nie każda z istniejących teorii pełzania betonu, opartych na teorii lepkosprężystości, obrazuje w sposób właściwy jego zachowanie się w czasie.

Cech reologicznych betonu nie można zobrazować prostymi modelami reologicznymi, w związku z czym technika obliczeniowa oparta o równania stanu będące wyrazem tych modeli, nie może być zastosowana w reologii betonu. Problem ten został omówiony w referacie [3] (str. 133, tom I) należącym do grupy reologii betonu. Okazuje się bowiem, że kryterium przydatności danej teorii pełzania betonu jest zgodność stosowanej funkcji pełzania z wynikami empirycznymi nie tylko przy stałych naprężeniach, lecz także przy naprężeniach zmieniających swą wartość w czasie.

Przytoczone w wyżej wspomnianej pracy trzy zasadnicze kierunki rozwoju teorii pełzania betonu scharakteryzowane są na podstawie przebiegu krzywej pełzania w czasie od chwili odciążenia elementu betonowego, poddanego przedtem stałym naprężeniom.

W zależności od przebiegu krzywej «odciążenia» badany element może na końcu dłuższego okresu obserwacji wykazać duże, mniejsze lub żadne odkształcenia trwałe. Zjawisko takie zwykło się określać jako pełzanie nieodwracalne, częściowo lub całkowicie odwracalne.

Otóż jedna z istniejących teorii pełzania betonu zakłada funkcje pełzania, której przebieg ilustruje rys. 1b (str. 137, tom I). Krzywa odciążenia zbliża się asymptotycznie do osi t dochodząc do wartości zerowej przy $t = \infty$. Funkcja pełzania wykazuje pełną odwracalność tzn., że beton nie ma odkształceń trwałych.

Równanie stanu tej teorii można także otrzymać na podstawie modelu reologicznego otrzymanego z połączenia szeregowego modelu Voigta i sprężyny. Opisana teoria oraz wchodząca w jej skład funkcja pełzania nie może być stosowana do betonu ze względu na niezgodność krzywej analitycznej z wynikami eksperymentalnymi w obszarze odciążenia.

Drugą teorią pełzania, której zasady oparte są na pracach Whitneya-Dischingera, ilustruje rys. 1a (str. 137, tom I). Istotą tej teorii jest równoległość krzywych pełzania dla różnych czasów obciążenia (wieków) betonu. Wynikiem zastosowania tej zasady jest poziomy przebieg krzywej pełzania po odciążaniu, funkcja obrazuje zatem pełzanie nieodwracalne bez odkształceń opóźnionych, co w żadnym przypadku nie jest zgodne z wynikami doświadczenia. Dokładna analiza wskazuje, że równanie stanu tej teorii otrzymać można także na podstawie zwykłego modelu Maxwella, a więc modelu złożonego z tłumika i sprężyny łączonej w szereg.

Teoria ta nie nadaje się do rozwiązywania zagadnień relaksacyjnych. W przypadku naprężeń wzrastających w czasie funkcja pełzania ma ponadto tę wadę, że prowadzi do zerowej wartości pełzania dla wieku betonu (w chwili obciążenia) znacznie oddalonego od wieku obranego jako początek odczytu czasu.

W związku z powyższymi uwagami dziwić może fakt, że teoria ta znalazła zastosowanie w konstrukcjach z betonu w wielu krajach i to w ostatnim ćwierćwieczu. W zastosowaniu do konstrukcji sprężonych przy obliczaniu strat spowodowanych pełzaniem i skurczem betonu wzory wprowadzone na podstawie teorii Dischingera figurują także w naszych normach. Mało tego, bez jakichkolwiek zmian została ona wprowadzona do projektu nowej normy, w której postulowano uwzględnienie w obliczeniach obok strat w konstrukcjach sprężonych także zachowanie się w czasie konstrukcji żelbetowych, jak obliczenie odkształceń reologicznych belek, płyt i powłok. Sprawa ta wymaga krytycznej analizy i opracowania nowych, bardziej realnych i bardziej zgodnych z doświadczeniami propozycji.

Trzecia, bardziej ogólna teoria pełzania betonu, opracowana przez ARUTUNIANA w jej pierwszej wersji, zakłada częściową odwracalność odkształcenia. Przebieg krzywych pełzania podano w pracy [3] na rys. 1c, z którego widać, że krzywa w obszarze odciążenia dąży przy $t \to \infty$ do określonej wartości końcowej różnej od zera. Jest to nieodwracalne odkształcenie trwałe. Przy odpowiednim dobraniu współczynników wchodzących w skład funkcji pełzania zgodnie z przebiegiem doświadczalnym funkcja ta pozwala uwzględnić częściową odwracalność odkształceń.

Wielką zaletą tej teorii jest uzupełnienie jednoparametrowej funkcji pełzania, zależnej tylko od różnicy $(t-\tau)$, mnożnikiem w postaci funkcji starzenia się betonu.

Można wykazać, że pierwsze dwie teorie pełzania betonu opisane poprzednio są szczególnymi przypadkami tej ostatniej. Jak wykazano w pracy [3] (str. 141) teoria Arutuniana w jej pierwszym ujęciu ma

także pewne wady. Podstawowym jej brakiem jest trudność rozwiązywania w niektórych przypadkach równań całkowych stanowiących jej podstawę. Trudności te polegają na tym, że w przypadku przyjęcia modułu odkształcalności E w postaci funkcji czasu t, równania całkowe sprowadzają się do równań różniczkowych o współczynnikach funkcyjnych. Druga wada, to odchylenie przebiegu analitycznej funkcji pełzania od krzywej doświadczalnej w młodym wieku betonu. Zgodność ta w starszym wieku jest dobra.

Istnieje szereg opracowań sugerujących inne postacie wyrażenia analitycznego dla funkcji pełzania betonu. Propozycje te, zachowując zaletę funkcji Arutuniana, wykazują lepszą zgodność z doświadczeniem w młodym wieku betonu. Sprawdzenie ich przydatności przy rozwiązywaniu podstawowych równań jest jeszcze przedmiotem badań. Poszukiwania lepszych rozwiązań idących w kierunku znalezienia odpowiednich postaci analitycznych dla funkcji pełzania oraz metod rozwiązywania podstawowych równań uważam za celowe.

Drugim ważnym elementem wchodzącym w skład równań reologicznych jest funkcja skurczu betonu. Zjawisko skurczu, nieznane w innych materiałach rzeczywistych stosowanych w problemach technicznych, odgrywa w niektórych konkretnych przypadkach poważną rolę.

Otrzymanie zadowalającej aproksymacji krzywych eksperymentalnych za pomocą funkcji analitycznych jest zadaniem dosyć trudnym, jeżeli równocześnie funkcje te mają umożliwić rozwiązanie podstawowych równań.

Sprawa ta wymaga dalszych wnikliwych badań eksperymentalnych i teoretycznych. Na marginesie zagadnienia skurczu mogłoby się wydawać, że proces konsolidacji w gruntach, spowodowany ruchem wody w ośrodku porowatym, jest zjawiskiem analogicznym do skurczu w betonie spowodowanym, w zasadzie, wyparowaniem wody. Tymczasem różnica między obu zjawiskami ma charakter zasadniczy. Przechodzenie wody ze stanu większej koncentracji w betonie w stan gazowy o mniejszej koncentracji jest procesem spontanicznym, podczas gdy ruch wody w gruntach, spowodowany działaniem obciążenia zewnętrznego, nie jest procesem o charakterze spontanicznym. W konsekwencji funkcje analityczne opisujące te właściwości różnią się.

Drugi referat tej grupy [4] (str. 147, t. I) pod tytułem «Nieliniowe pełzanie betonu» jest próbą aproksymacji wyników eksperymentalnych za pomocą funkcji pełzania w zakresie nieliniowym, tj. w zakresie wyższych naprężeń. Zastosowana funkcja wykazuje zadawalającą zgodność z krzywymi eksperymentalnymi w młodym wieku betonu przy różnych naprężeniach.

Ważniejszym wynikiem tej pracy jest wyjaśnienie granicy między liniowym a nieliniowym zakresem pełzania betonu. Z rys. 7 na str. 152 widać, że granica między liniowością, a nieliniowością pełzania może być tylko pojęciem umownym, zależnym od rodzaju betonu, jego wytrzymałości doraźnej.

Trzeci referat [5] (str. 157) jest przyczynkiem do zagadnienia superpozycji odkształceń skurczu i pełzania. Wyniki doświadczeń przedstawionych w tym referacie potwierdzają w dużym stopniu inne badania własne i badania różnych autorów. Poruszony problem ma charakter podstawowy dla liniowej teorii lepkosprężystości w zastosowaniu do betonu, albowiem stawia pod znakiem zapytania hipotezę równości bezwzględnych wartości odkształceń reologicznych niezależnie od ich znaków (rozciąganie lub ściskanie). Sprawa wymaga dalszych poszukiwań przy zastosowaniu innych, bardziej efektywnych metod badawczych.

Następne cztery prace zaliczyć można do «reologii konstrukcji» stosując nomenklaturę używaną w pierwszym tomie.

W referacie [6] (str. 165) pod tytułem «Badania modelowe dwóch przęseł mostowych o ustrojach zespolonych betonowo-stalowych» podano wyniki badań przeprowadzonych na dużych modelach (skala 1 : 4) odwzorowując fragmenty przęsła mostowego. Starannie opracowane wyniki badań pozwoliły autorom wyciągnąć wnioski o charakterze praktycznym, ważne dla tego rodzaju nietypowych rozwiązań mostowych.

Praca [7] (str. 189), pod tytułem «Niektóre problemy oceny strat siły sprężania w konstrukcjach kablobetonowych» składa się z dwóch zasadniczych części: pierwszej — obejmującej punkty 1, 2 i 3 dotyczące wzorów na obliczenie strat reologicznych, zaczerpniętych z teorii pełzania Dischingera, oraz uzasadnienia znajomości przebiegu funkcji skurczu i pełzania w czasie. W punkcie trzecim omówiono potrzebę dalszych badań. Niektóre z uzasadnień zawartych w punktach od a do f są dyskusyjne. W drugiej części referatu (rozdz. 4) podano rezultaty własnych badań nad pełzaniem i skurczem betonu na obiektach mostowych oraz wyniki badań relaksacji lin Ø 45 i Ø 55 mm.

Otrzymane rezultaty są ciekawe, lecz nie mogą być wykorzystane do uzupełnienia lub wyjaśnienia zagadnień dotyczących teorii pełzania betonu. Jest to niestety cechą niemal wszystkich badań przeprowadzanych na gotowych obiektach. Uzyskane tą drogą wyniki badania mogą być tylko sprawdzianem obliczeń reologicznych przeprowadzonych na podstawie jednej z teorii pełzania. Badania relaksacji lin natomiast mają charakter bardziej ogólny.

Przydatność teorii pełzania Whitneya-Dischingera do betonu, których wzory przytoczono w referacie, została zanalizowana przeze mnie poprzednio.

W referacie [8] (str. 193) autorzy opisują niektóre wyniki badań długotrwałych mostów sprężonych. Podane na str. 199 wnioski mają podobny charakter jak wnioski poprzedniego referatu. W tym przypadku jeszcze trudniej o jakieś wnioski natury ogólnej, albowiem badania były przeprowadzone w czasie budowy, tak że wyniki pomiarów obarczone są skutkami wielu czynności montażowych. Niewątpliwie otrzymane rezultaty będą przydatne przy ich konfrontacji z obecnie stosowanymi metodami obliczeń odkształceń reologicznych.

Przedstawiona na str. 201 praca [9] pod tytułem «Reologia kratownicy kablobetonowej w świetle badań» jest przykładem porównania wyników badań przeprowadzonych na obiektach w eksploatacji z odkształceniami obliczonymi w projektach wykonawczych.

Nie zgodziłbym się ze zdaniem autora, że w przeciwieństwie do doświadczeń laboratoryjnych badania przeprowadzane na obiektach eliminują problem przenoszenia wyników do warunków rzeczywistych. Sprawa jest tylko pozornie prosta, wymaga jednak dłuższej dyskusji. Niestety nie mogę sobie na to w ramach tego referatu pozwolić.

Autor referatu [10] (str. 209) zajmuje się zagadnieniem stateczności osiowo ściskanych prętów, wykonanych z materiału lepkosprężystego. Analizie poddano trzy modele materiału lepkosprężystego: model Voigta, Maxwella oraz szeregowo połączony model Voigta i sprężyny.

Jak z poprzednich rozważań wynika, żaden z tych modeli nie nadaje się do betonu, praca powinna się znaleźć w grupie zagadnień ogólnych. Zagadnienie to zostało także zanalizowane przez RŻANICYNA częściowo w 1949 r., częściowo w jego późniejszych pracach dla szeregowo połączonego modelu Voigta i sprężyny.

We wnioskach autor proponuje definicję pojęcia utraty stateczności prętów wykonanych z materiału lepkosprężystego.

W referacie [11] (str. 219) autorzy zajmują się problemem zginanej tarczy kołowej w zakresie nieliniowych odkształceń doraźnych i reologicznych. Moment zginający działa w płaszczyźnie tarczy. W oparciu o inne prace jednego z autorów, w których rozwinięto nieliniową teorię lepkosprężystości, równanie stanu sformułowano za pomocą nieliniowego operatora całkowego przy zastosowaniu zapisu tensorowego (str. 220).

Aby prześledzić wywody podane w referacie trzeba się zapoznać z pracami zacytowanymi w spisie literatury oraz z pracą [12] zamieszczoną w tomie II materiałów sympozjum pt. «Podstawowe własności nieliniowych ciał lepkosprężystych» (str. 99, tom II).

Celem pracy jest określenie wpływu nieliniowości na stany naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia przy założeniu, że deformacja doraźna i deformacja spowodowana pełzaniem mają charakter nieliniowy. W pracy przyjęto $Fe(s)$ stanu doraźnego (natychmiastowego) w postaci potęgowej (str. 223), uogólniona funkcja pełzania natomiast wynika ze związku

$$\partial_\tau \bar{H}[t, \tau, s(\tau)] = F_c[s(\tau)]\partial_\tau C(t-\tau)$$

podanego w pracy [12], zamieszczonej na str. 100 w tomie II [2]. W szczególnym przypadku funkcja $C(t-\tau)$ może być liniowa, a wtedy pochodna względem uogólnionej funkcji pełzania równa się funkcji $-F_c$. $C(t-\tau)$ jest funkcją pełzania w zakresie liniowym. Otóż taką funkcję pełzania $F_c(s)$ zastosowano w pracy [11], pełzanie przebiega zgodnie z prawem (2.7) podanym na str. 221.

W pracy nie podano, jakiego materiału to prawo dotyczy. W każdym razie chodzi o materiał, który w liniowym zakresie pełzania ma przebieg liniowy. Wtedy pochodna funkcji pełzania jest wartością stałą. Takiej funkcji pełzania w zakresie liniowym nie wykazuje beton. Interesujące byłoby rozwiązanie konkretnego przykładu, gdzie funkcja $C(t-\tau)$ nie jest liniową i zgodną z wynikami doświadczenia, np. dla betonu.

Referat [13], którego streszczenia podano na str. 231 tomu I, dotyczy opracowanej przez autora metody obliczenia ugięć belek żelbetowych przy długotrwałym obciążeniu. Zasady metody zostały opublikowane już wcześniej, w marcu rb. w «Inżynierii i Budownictwie». Jest to metoda półempiryczna oparta o zalecenia CEB, dotyczące odkształceń w elementach betonowych z uwzględnieniem skurczu i pełzania.

Do przeprowadzenia obliczeń potrzebne jest 8 wykresów zawierających współczynniki, wchodzące w skład podanych wzorów. Dla swobodnie podpartych belek metoda jest prosta i daje dobre wyniki. Trudno jednak ustosunkować się do strony merytorycznej bez znajomości podstaw konstruowania wymienionych wykresów. W związku z tym nasuwa się szereg pytań, tym bardziej, że podejście oparte jest o zasady teorii Dischingera. Tego rodzaju metody «techniczne» nie mogą się przyczynić do rozwoju teorii pełzania betonu i zadowolić naturalnej tendencji, idącej w kierunku zrozumienia procesu zachowania się materiałów w czasie. Dlatego też ostatnie dwie prace tutaj przedstawione stoją na wręcz przeciwnych pozycjach.

Literatura cytowana w tekście

1. III Symp. poświęcone reologii, ref. tom. I, Wrocław, listopad 1966, PTMTS, Wrocław.
2. III Symp. poświęcone reologii, ref. tom II, Wrocław, listopad 1966, PTMTS, Wrocław.
3. A. MITZEL, *Funkcje pełzania i skurczu betonu*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
4. A. MITZEL, M. KŁAPOĆ, *Nieliniowe pełzanie betonu*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
5. A. MITZEL, M. KŁAPOĆ, *O superpozycji odkształceń skurczu i pełzania*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
6. J. SZCZYGIEŁ, M. DZIURLA, Z. KOZAKOW, *Badania modelowe dwóch przęseł mostowych o ustrojach zespolonych betonowo-stalowych sprężonych*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
7. J. KMITA, *Niektóre problemy oceny strat siły sprężania w konstrukcjach kablobetonowych*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
8. S. BYCZKOWSKI, M. RYBAK, *Niektóre wyniki badań długotrwałych mostów sprężonych*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
9. M. SIERADZKI, *Reologia kratownicy kablobetonowej w świetle badań*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
10. Z. KOWAL, *Wyboczenie pełzające osiowo ściskanych prętów lepkosprężystych*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
11. Z. BYCHAWSKI, H. SIENNICKI, *Zginanie tarczy kołowej w zakresie nieliniowej deformacji natychmiastowej i pełzania*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom I, Wrocław 1966.
12. A. BOROWSKI, Z. BYCHAWSKI, *Podstawowe własności nieliniowych ciał lepkosprężystych*, III Symp. poświęcone reologii, ref. tom II, Wrocław 1966.
13. W. KUCZYŃSKI, *Wpływ sekwencji obciążeń na ugięcia reologiczne belek żelbetowych*, III Symp. poświęcone reologii, ref., tom I, Wrocław 1966.

MECHANIKA
TEORETYCZNA
I STOSOWANA
4, 5 (1967)

REOLOGIA METALI I POLIMERÓW (1)

JERZY ZAWADZKI (WROCŁAW)

Prace naukowo-badawcze w dziedzinie reologii podobnie jak w innych teoriach fizycznych zajmujących się zjawiskami zachodzącymi w makroskopowych ciałach fizycznych, rozwijają się w dwu zasadniczych kierunkach: fenomenologicznym i statystycznym. Aczkolwiek prawa rządzące mikrocząsteczkami są niejednokrotnie zupełnie odmienne od praw makroświata, to jednak makroskopowe prawa i własności ciał fizycznych powstają przez uśrednienie odpowiednich własności i praw rządzących w mikroświecie. Niestety zaciera się przy tym wiele indywidualnych cech mikrocząsteczek i tylko tzw. statystyczne własności zbioru określają makroskopowe własności ciała fizycznego. Należy więc znaleźć jakąś rozsądną granicę obszarów uśredniania, aby zachować ciągłość makroskopowych własności i zjawisk, a z drugiej strony, aby z mikroskopowego punktu widzenia obszar uśredniania był sensownie duży. Praktycznie obszar 10^{-6} 10^{-5} cm^3 odpowiada tym wymaganiom, gdyż obejmuje on tak dużą liczbę mikrocząsteczek (atomów lub drobin), że można praktycznie dla takiej zbiorowości generalnej pominąć odchylenia standardowe uśrednionej wielkości makroskopowej dla tego obszaru.

Uwzględnianie tych odchyleń jest domeną teorii statystycznych. Określają one warunki, przy których można pominąć tzw. fluktuacje statystyczne, czyli przypadkowe odchylenia od wartości średnich. Im wprowadzone w teorii statystycznej założenia strukturalne lepiej odpowiadają obiektywnej rzeczywistości, tym ściślejszą otrzymujemy zgodność pomiędzy teorią a doświadczeniem (zależy to oczywiście również od stopnia dokładności stosowanych metod doświadczalnych). Te cechy teorii strukturalnych dozwalają, dzięki zacieraniu się w makroobszarach indywidualnych cech mikrocząsteczki, na wyjaśnienie i przewidywanie szeregu podstawowych własności fizycznych ciał makroskopowych już przy stosunkowo prostych założeniach strukturalnych. Dlaczego wspominam o tym na początku mego referatu? Na tle bowiem fundamentalnych prac CLAUSIUSA, MAXWELLA, BOLTZMANNA, DEBYE'A, EINSTEINA, PLANCKA, GRÜNEISENA, GIBBSA i innych rozpoczęła swój nieustanny rozwój (w szczególności od chwili coraz to szerszego zastosowania gumy i kauczuku) reologia metali i polimerów jako ośrodków sprężysto-lepkoplastycznych. Klasyczne już obecnie prace W. i H. KUHNÓW, H. EYRINGA, E. GUTHA, M. MOONEYA, a też T. ALFREYA, P. FLORY'EGO, R. HOUWINKA, H. MARKA, M. REINERA, L. TRELOARA i innych stanowią przykłady splatania się tych obu zasadniczych nurtów rozwoju teorii: fenomenologicznego i statystycznego.

Niemniej jednak daje się zauważyć charakterystyczne rozdzielanie się tych nurtów w ostatnich kilkunastu latach. I tak np. można by skonfrontować prace A. M. FREUDENTHALA, C. TRUESDELLA, B. D. COLEMANA, W. NOLLA i A. ERINGENA z publikacjami B. ZIMMA, R. CERFA, A. PETERLINA, F. BUECHEGO, J. FERRY'EGO i innych. Pierwsze z nich opierają się na makroskopowej koncepcji podstawowych zasad fizyki ośrodka ciąglego dla opracowania termodynamicznej teorii materiałów z pamięcią, drugie zaś skłaniają się wyraźnie ku teorii typu statystycznego z uwzględnieniem charakterystycznych indywidualnych cech konfiguracyjnego zespołu (łańcucha) identycznych elementów składowych, względnie nawet segmentów łańcucha.

Również i u nas w kraju prowadzone są prace naukowo-badawcze tymi dwoma równoległymi i równie ważnymi nurtami. Nie będę tu wymieniał poszczególnych autorów, gdyż zbędne byłoby wymienianie

(1) Referat generalny wygłoszony w dniu 25.XI.1966 r. we Wrocławiu na III sympozjum poświęconym reologii.

powszechnie znanych, a natomiast nie chciałbym przy wymienianiu innych pominąć czyjegoś aktywnego udziału w tych pracach.

Pragnę natomiast podkreślić, że teorie należące do pierwszego nurtu (o charakterze raczej fenomenologicznym) wymagają w swych zastosowaniach doświadczalnego wyznaczenia licznych funkcji materiałowych przy szeregu zmiennych w czasie parametrów stanu. Jeżeli chodzi o drugi nurt, to jak już wspomniałem, tym ściślejszą otrzymujemy zgodność pomiędzy teorią a doświadczeniem, im wprowadzone założenia strukturalne lepiej odpowiadają obiektywnej rzeczywistości, co również wymaga równoległego prowadzenia licznych prac doświadczalnych. Pragnę tu też podkreślić, iż wnioski, jakie wysnuliśmy z kilkuletnich naszych prac nad reologią i wytężeniem tworzyw sztucznych przy różnych zmiennych wg. określonego programu parametrach stanu wskazują na konieczność prowadzenia dalszych intensywnych prac doświadczalnych ze względu na konieczność uzasadnienia i wyjaśnienia szeregu pozornych «anomalii» towarzyszących tym procesom. Utrudniają one bowiem jeszcze bardziej wyznaczenie wspomnianych wyżej funkcji materiałowych niezbędnych przy praktycznym zastosowaniu teorii nurtu pierwszego.

Potwierdzeniem tych wniosków są np. tezy pierwszej z prac, jakie mam w mym referacie generalnym omówić.

Celem pracy R. TAKSERMAN-KROZER pt. «Teoria reologicznego zachowania się rozcieńczonych roztworów polimerów w warunkach złożonych deformacji» jest przedstawienie wyników rozważań reologicznych przeprowadzonych na modelu strukturalnym stanowiącym roztwór giętkich łańcuchowych makrocząsteczek w nieściśliwym rozpuszczalniku. Do opisu makrocząsteczki zastosowano model podłańcuchów z uwzględnieniem oddziaływań hydrodynamicznych wg KIRKWOODA i WISEMANA oraz lepkości wewnętrznej wg CERFA. Przedstawiona teoria dotyczy pelnego ogólnego tensora gradientu prędkości o składowych stalych w czasie. Ciecze wielkocząsteczkowe są przeważnie cieczami lepkoelastycznymi i dla tego też dla takich układów szczególnie duże znaczenie mają badania strukturalne, dozwalające bezpośrednio wyrazić reologiczne równanie stanu przez czynniki strukturalne przy ominięciu funkcji materiałowych. Analiza teoretyczna przeprowadzona przez autorkę potwierdza opublikowane poprzednio przez nią wraz z A. ZIABICKIM poglądy na efekty nieliniowe w reologii, według których nieliniowość zanika, gdy odnieść równanie do aktualnego stanu strukturalnego.

Przechodząc z kolei do zreferowania wyników prac naukowo-badawczych przedstawionych przez nasz zespół, tj. pracowników Zakładów Reologii i Wytężenia oraz Teorii Sprężystości i Plastyczności Instytutu Materiałoznawstwa w formie 6 referatów, uważam za celowe powiązać je w trzy zbliżone tematycznie grupy, a to:

1. J. ZAWADZKI, B. GABRYSZEWSKA, E. GROZIK «Widma (spektra) czasów retardacji wybranych tworzyw sztucznych przy czystym zginaniu i skręcaniu», J. ZAWADZKI, I. HYLA «Anomalie wykresów relaksacji naprężeń a zmiany strukturalne w poliamidzie»;

2. M. NOWAK, J. ZAWADZKI, J. KAŁWAK «Analiza porównawcza pełzania statycznego i dynamicznego niektórych tworzyw sztucznych», M. NOWAK «Wpływ okresowo zmiennych naprężeń na obraz dyfrakcyjny polistyrenu i poliamidu»;

3. J. ZAWADZKI, B. OKOŁÓW «Pelzanie taśm przenośników z przekładkami steelonowymi», J. ZAWADZKI, J. ORŁOWSKI, W. SIUTA «Quasi-statyczna metoda oceny reoefektów stabilizacji taśm przenośników z przekładkami steelonowymi».

Dwie pierwsze grupy stanowią kolejny etap kompleksowych prac naszego zespołu nad problemami reologii i wytężenia tworzyw przy zmiennych parametrach stanu ze szczególnym uwzględnieniem towarzyszących zjawisk termokinetycznych. Punktem wyjściowym dla tych prac była przedstawiona przeze mnie w latach 1951-1954 hipoteza wytężenia (hipoteza właściwej energii swobodnej) początkowo w zastosowaniu dla ciał polikrystalicznych, a z kolei w dalszych latach dla tworzyw sztucznych — polimerów o strukturze sferycznej i liniowej. Jak już podkreśliłem, szczególną uwagę poświęciliśmy w naszych rozważaniach teoretycznych i pracach doświadczalnych analizie zjawisk reotermokinetycznych towarzyszących wytężeniu i rozwojowi dekohezji tworzyw sztucznych. Wyniki swych prac referowaliśmy na szeregu konferencji w kraju i zagranicą. W szczególności przeprowadziliśmy badania nad zmianami energii wewnętrznej i entropii (w szczególności konfiguracyjnej łańcuchów polimerów), «samowzbudnymi» zmianami temperatury zgodnie z zasadą przekory BROWNA-LE CHATELIERA i nad ich udziałem w mierze wytężenia.

Przeprowadzona przez nas szczegółowa i systematyczna analiza oraz próba syntezy wyników badań zakończonego w 1965 r. kolejnego cyklu wspomnianych kompleksowych prac naukowo-badawczych naszego zespołu wykazała m.in.:

a) Celowość rozpoczęcia w kolejnym etapie prac nad oceną «stopnia nieliniowości» procesów odkształcania się i wytężenia polimerów przy różnych początkowych parametrach stanu.

b) Istotne znaczenie dalszych szczegółowych badań i prób uzasadnienia fizykalnego stwierdzonych przez nas w poprzednich badaniach pozornych «anomalii» w zachowaniu się tworzyw i ich własnościach mechanicznych przy określonych parametrach stanu. Szczególnej wagi nabierają tu badania nad oceną «sprzężenia wpływów» poszczególnych parametrów na zmiany strukturalne, co niestety ogranicza lub uniemożliwia zastosowanie liniowych równań fenomenologicznych (zasady Onsagera) dla jednorodnie liniowo niezależnych bodźców i jednorodnie liniowo niezależnych przepływów. Utrudnią też lub w obecnym stadium rozwoju teorii uniemożliwia wyznaczenie wspomnianych we wstępie i przy omawianiu pierwszego referatu tzw. funkcji materiałowych np. dla teorii termodynamicznej materiałów z pamięcią. W pełni więc zgadzamy się z autorką pierwszego referatu z jej poglądami na efekty nieliniowe w reologii i uzależnieniem warunków ich zanikania od wprowadzenia w równanie stanu aktualnego stanu strukturalnego.

c) Celowość badań nad oceną «progu czułości» materiału i jego struktury dyskretnej na niezależne bodźce, zjawiskiem «zanikania pamięci» i jego intensywnością — tym bardziej, że do chwili obecnej nie ma jednoznacznego sposobu przeniesienia zasady zanikania pamięci materiału na język matematyczny.

Przedstawione referaty stanowią, jak zresztą wskazują na to ich tytuły — wycinek kolejnego etapu prac, których celem jest właśnie gromadzenie odpowiedniego materiału wraz z analizą teoretyczną i próbą syntezy dla sformułowania odpowiednio poprawnych i możliwie zgodnych z rzeczywistością związków fizycznych ze szczególnym wyeksponowaniem wymienionych w punktach a–c kierunków badań.

Dwie pierwsze prace dotyczą badań quasi-statycznych nad pełzaniem wzgl. relaksacją naprężeń, dwie zaś następne badań nad znużeniem przy symetrycznie zmiennym obciążeniu poliamidu i polistyrenu.

Analiza otrzymanych wyników badań uzasadnia m.in. możliwość zastosowania dla badanych tworzyw modeli liniowych w określonych przedziałach obciążeń i temperatur oraz czasach trwania tych obciążeń. Wykazano też m.in., że pozorne «anomalie» wiążą się ze zmianami strukturalnymi, zachodzącymi przy pewnych charakterystycznych «stosunkach sprzężenia» wartości obciążenia i temperatury w określonych przedziałach czasu, a polegającymi na zmianie stopnia krystaliczności poliamidu. Porównując wykresy pełzania dynamicznego i quasi-statycznego stwierdzono dominujące znaczenie zaburzenia stanu równowagi cieplnej w wyniku «samowzbudnej» zmiany temperatury (nawet bardzo niewielkiej) jako równorzędnej sprzężonej przyczyny, obniżającej żywotność i przyśpieszającej zniszczenie zmęczeniowe materiału. Przeprowadzone badania wykazały również możliwość i celowość zastosowania metody rentgenograficznej dla analizy zmian strukturalnych w znużonych tworzywach sztucznych.

Ostatnie dwa referaty naszego zespołu obejmują jeden z etapów kompleksowego programu prac naukowo-badawczych nad quasistatycznymi i dynamicznymi własnościami mechanicznymi taśm przenośników gumowych z przekładkami steelonowymi produkcji krajowej. Wyniki zakończonych etapów prac zostały już wykorzystane z powodzeniem w praktyce konstrukcyjnej i eksploatacyjnej. Celem referowanych badań była ocena charakterystycznych cech reologicznych taśmy, w szczególności opracowanie teoretyczno-doświadczalne zjawiska pełzania i możliwości teoretycznego modelowania tego procesu oraz opracowanie możliwie prostej i przydatnej w praktyce quasi-statycznej metody oceny reoefektów stabilizacji taśm używanych. Opracowana metoda i wyniki badań wskazują m.in. na celowość przeprowadzania odpowiednio zaplanowanej wstępnej stabilizacji taśm z zastosowaniem właściwych parametrów obciążania przed oddaniem ich do eksploatacji.

Przykładem zainteresowania się również innych ośrodków badaniami nad podstawowymi własnościami mechanicznymi i cechami reologicznymi tworzyw sztucznych przy różnych warunkach obciążania i różnych parametrach stanu jest referat S. MAZURKIEWICZA pt. «Wyniki badań doświadczalnych pewnych własności mechanicznych poliamidu Tarlon XA». W pracy przedstawił autor wyniki badań nad pełzaniem przy rozciąganiu oraz ocenę zmian logarytmicznego dekrementu tłumienia z częstością i temperaturą przy drganiach giętnych. Wyjaśnienie wyników badań opiera autor na wnioskach z fenomenologicznej teorii materiałów lepkosprężystych podkreślając, że stopień krystaliczności i budowa łańcucha poliamidu wpływają na położenie maksimum i kształt krzywej dekrementu tłumienia.

Jak wskazuje podtytuł kolejnego referatu, przedstawionego przez W. STARZEWSKIEGO pt. «Wpływ reologicznych własności poliamidowych wykładzin kół kolei liniowych na zużycie wykładzin oraz właściwości eksploatacyjne», ma on charakter «informacji technicznej i omówienia nieopublikowanych badań i doświadczeń zagranicznych». Jednym z tematów programu badań Zespołu Ustrojów Cięgnowych IPPT PAN o dużym znaczeniu praktycznym jest zagadnienie współpracy pary: lina nośna-koło jezdne. We wprowadzeniu poliamidowych wykładzin kół jezdnych można wg autora dopatrywać się przełomu technicznego w tej dziedzinie. Jedna z wytwórni zagranicznych (ZELL-METALL, Austria) udostępniła autorowi, z prawem ujawnienia, wyniki swych badań, które stanowią znaczną część materiałów wykorzystanych w referacie. Autor stwierdza, że «obecny stan badań i doświadczeń ruchowych umożliwia racjonalne projektowanie i konstruowanie bieżników, natomiast nie dozwala jeszcze na wyzyskanie wszystkich korzyści z ich zastosowania w odniesieniu do projektowanych tras, doboru naciągu lin i stosowania lin z materiału o wysokiej wytrzymałości, w związku z czym konieczne są badania wpływu wykładzin na liny. Posiadane materiały uzasadniają stosowanie wykładzin na szeroką skalę w kolejach o średnim i dużym natężeniu ruchu».

Przechodząc z kolei do referatów z zakresu reologii metali przedstawię badania A. JAKOWLUKA nad «Wpływem małych głębokości zawibrowania na proces pełzania w metalach». Analizę zjawiska przedstawia autor na przykładzie badań kształtek ze stopu aluminiowego Al-Mg-Si(PA 4) w jednoosiowym stanie naprężenia, zmiennego w czasie wg zależności $\sigma(t) = \sigma_m(1+A\sin\omega t)$, gdzie $A = \sigma_a/\sigma_m$ — współczynnik głębokości zawibrowania. W przypadku dużych wartości A (przy odpowiednio dużych naprężeniach σ_m) mielibyśmy do czynienia ze złożonym zjawiskiem pełzania w procesie zmęczenia. Natomiast w przypadku płytkich zawibrowań — nie wywołujących charakterystycznych efektów klasycznego zmęczenia — zaobserwujemy bardzo ważny dla praktyki konstrukcyjnej i eksploatacyjnej (lotnictwo, energetyka, budowa mostów itp.) proces wibropełzania. Jest to jeszcze mało opracowania dziedzina badań naukowych.

W wyniku analizy przeprowadzonych badań wysnuł autor następujące wnioski:

1. Na proces pełzania próbki badanego stopu wpływa zarówno naprężenia średnie σ_m, jak też naprężenie σ_{max}.

2. Nałożenie bardzo małej wibracji na naprężenie statyczne wywołuje w próbce znaczne zwiększenie prędkości pełzania. Działanie wpływu wibracji o bardzo małej amplitudzie można, przez analogię, porównać do działania temperatury, w której zachodzi proces dyfuzji. W pierwszym i drugim przypadku następuje aktywacja atomów, które łatwiej pokonują bariery energetyczne, w wyniku czego obserwuje się zwiększoną prędkość pełzania. Ponadto wibracje powodują rozluźnienie skupisk dyslokacji, co sprzyja pełzaniu.

Referat S. PILECKIEGO pt. «Kumulacja uszkodzeń w procesie zmęczenia metali» stanowi jedną z licznych prób wyjaśnienia zjawiska kumulacji uszkodzeń i istoty mechanizmu przebiegu tego zjawiska. Niezliczone prace naukowo-badawcze, wieloletnie gromadzenie doświadczeń stanowi wciąż jeszcze niewystarczający i niepełny materiał do wyjaśnienia istoty procesu zmęczenia, w szczególności oceny intensywności narastania «stopnia zmęczenia» i wyczerpywania się zapasu trwałości konstrukcji. Autor cytuje m.in. klasyczne już prace PALMGRENA, LANGERA i MINERA, w szczególności tzw. regułę Minera i jej uogólnienia opracowane przez Minera i wielu innych badaczy, jak DOLANA, RICHARDA, WORKA, SERENSENA i in. Pragnę w tym miejscu podkreślić, że również w naszym Instytucie prowadzone są prace nad oceną «stopnia zmęczenia» i modyfikacją reguły Minera pod kierunkiem T. PORĘBSKIEGO i L. GOŁASKIEGO.

Rozpatrując możliwość migracji wakansów w sieci krystalicznej metali stwierdza się pewną analogie możliwych przemieszczeń wakansów z ruchami błędnymi. W związku z tym wykorzystał autor pewne twierdzenia matematycznej teorii ruchów błędnych. Upoważniło to do założeń, że długotrwały proces połączeń wakansów może zachodzić tylko na granicach ziaren lub w pasmach poślizgów, natomiast wakanse tworzącę się w wyniku przecięć dyslokacji we wnętrzach ziaren wypływają na granice ziaren lub utrzymują się w obrębie pasma poślizgu.

Autor przeprowadza analizę poprawności założeń upraszczających i zgodności otrzymanego wzoru na prawdopodobieństwo powstania kolonii k-wakansowej oraz warunku pojawienia się wydłużonego mikropęknięcia z obserwowanymi faktami doświadczalnymi. Omawia on również wpływ niektórych wybranych czynników losowych na proces kumulacji uszkodzeń itp.

Kończąc omówienie referatów z dziedziny reologii metali i polimerów zgłoszonych na sympozjum, wydaje mi się, że w miarę możliwości udało mi się zachować oryginalne cechy ujęcia poszczególnych referatów oraz wyeksponować najistotniejsze ich fragmenty i zasadnicze tezy i wnioski.

SPRAWOZDANIE Z DZIAŁALNOŚCI POLSKIEGO TOWARZYSTWA MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ ZA ROK 1966

I. ROZWIJANIE DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ W DZIEDZINIE MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

1. Organizowanie regularnych zebrań naukowych w Oddziale ilustruje poniżej zamieszczona tabela:

Oddział	Liczba zebrań w 1966 r.					Liczba referatów	Liczba uczestników	Liczba dyskutantów
	Kwartał				razem			
	I	II	III	IV				
Gdańsk	3	—	—	1	4	4	45	16
Gliwice	3	3	—	3	9	17	183	92
Kraków	2	1	—	4	7	15	145	67
Łódź	4	1	—	2	7	7	285	39
Poznań	2	1	—	3	6	6	96	21
Szczecin	2	3	—	4	9	9	142	30
Warszawa	4	2	—	2	8	9	121	42
Wrocław	2	3	—	2	7	7	121	49
Razem:	22	14	—	21	57	74	1138	356

2. Organizowanie sympozjów i konferencji naukowych

Oddział w Gliwicach zorganizował w dniach od 7 do 12 lutego 1966 r. konwersatorium pod hasłem: «Zagadnienia termiczne i plastyczne w mechanice». W konwersatorium wzięło udział 49 osób, liczba głosów w dyskusji wyniosła 97. Wygłoszono ogółem 19 referatów i komunikatów.

Oddział w Gdańsku zorganizował dwa Sympozja — I Sympozjum Techniki Wibracyjnej w dniach 21–22 października 1966 r. wspólnie z Oddziałem PTMTS w Krakowie, Zakładem Teorii Konstrukcji Maszyn IPPT, Katedrą Mechaniki Technicznej AGH oraz Zakładem Naukowym Mechanicznej Teorii Maszyn Politechniki Gdańskiej.

Drugie Sympozjum Oddziału w Gdańsku zorganizowano w dniu 19 listopada 1966 r. na temat «Konstrukcji Wiszących». W Sympozjum wzięły udział 54 osoby, w dyskusji — 15.

Oddział we Wrocławiu zorganizował w dniach 25 i 26 listopada 1966 r. III sympozjum poświęcone reologii. Zgłoszone referaty dotyczyły reologii metali i polimerów, reologii betonu i konstrukcji, reologii gruntów oraz zagadnień ogólnych. Wygłoszono ogółem 38 referatów z czego 3 z ośrodka gdańskiego, 1 z katowickiego, 9 z krakowskiego, 1 z łódzkiego, 4 z poznańskiego, 6 z warszawskiego oraz 14 z wrocławskiego. W sympozjum wzięły udział 104 osoby, a 42 zabrały głos w dyskusji.

3. Konkursy naukowe

Zarząd Główny przeprowadził doroczny konkurs naukowy na prace doświadczalne z dziedziny mechaniki. Zgłoszono 8 prac. Sąd Konkursowy w składzie: przewodniczący — prof. dr Z. Brzoska oraz członkowie — doc. dr Z. Marciniak, prof. dr W. Prosnak, prof. dr B. Staniszewski i doc. dr W. Szczepiński — przyznał następujące nagrody: Pierwszą w wysokości 8000 zł — mgr inż. Bohdanowi Jancelewiczowi;

drugą w wysokości 4000 zł — dr inż. JANUSZOWI KLEPACZCE; trzecią w wysokości 2000 zł — mgr inż. WITOLDOWI BŁAŻEWICZOWI oraz wyróżnienie dr inż. ANATOLIUSZOWI JAKOWLUKOWI.

Oddział w Gliwicach zorganizował konkurs naukowy dzięki subwencji uzyskanej od przewodniczącego Prezydium Miejskiej Rady Narodowej. Wpłynęło 11 prac, z których dwie odrzucono. Zgodnie z uchwałą Sądu Konkursowego otrzymali nagrody: pierwszą — 5000 zł — mgr inż. TADEUSZ BES, trzy drugie po 3000 zł każda — mgr inż. ANTONI GUZIK, mgr inż. STANISŁAW KOPEĆ i dr inż. ZDZISŁAW SULIMOWSKI, trzecią — 2000 zł. — mgr inż. EDWARD KOSTOWSKI oraz także 2000 zł zespół w składzie: mgr inż. STANISŁAW LOSKA, dr OSWALD MATEJA i mgr inż. EUGENIUSZ ŚWITOŃSKI. Wyróżnienie otrzymał mgr JERZY TOMECZEK

Oddział w Warszawie wspólnie z Oddziałem we Wrocławiu ogłosiły konkurs na najlepszą pracę naukową w zakresie konstrukcji maszynowych i budowlanych. Ponieważ Oddział Wrocławski nie zgłosił żadnych prac ani członków do Sądu Konkursowego, praktycznie konkurs przeprowadził sam Oddział Warszawski. Wpłynęło 5 prac. Sąd Konkursowy w składzie: przewodniczący — prof. dr J. LIPKA oraz członkowie — dr K. BORSUK, doc. dr Z. MRÓZ, doc. dr R. SOLECKI i prof. dr E. SZCZEPANIAK postanowił nie przyznać pierwszej nagrody. Drugą nagrodę w wysokości 4000 zł przyznano dr JANOWI ANDRZEJOWI KÖNIGOWI, dwie trzecie nagrody po 3000 zł każda mgr inż. JÓZEFOWI BEJDZIE i doc. dr WOJCIECHOWI SZCZEPIŃSKIEMU oraz wyróżnienie 2000 zł dr ZBIGNIEWOWI MAZURKIEWICZOWI.

4. Udział w konferencjach i kongresach naukowych krajowych i zagranicznych

Członkowie PTMTS brali czynny udział w konferencjach i kongresach naukowych wygłaszając na nich referaty z prac własnych. Sprawozdania z kongresów i konferencji, w których uczestniczyli członkowie Towarzystwa, są publikowane w naszym czasopiśmie.

5. Organizowanie wymiany naukowej z zagranicą

W ramach wymiany naukowej z zagranicą poszczególne Oddziały organizowały zebrania naukowe, sympozja, konferencje lub spotkania, na których referaty wygłaszali prelegenci zagraniczni.

Oddział w Warszawie zorganizował seminarium i dwa zebrania naukowe z udziałem prelegenta z Łotewskiej Akademii Nauk w osobie prof. dr JA. G. PANOWKO.

Na zebraniu naukowym zorganizowanym wspólnie z IPPT miał referat prof. J. P. DEN HARTOG z USA oraz SEICHIRO MAEZAWA z Japonii. Ponadto Oddział Warszawski organizował seminaria z udziałem innych prelegentów zagranicznych, jak np. doc. dr ALEŠ TONDLA z CSRS i doc. GEORGI BOJDZIJEWA.

Oddział w Łodzi zorganizował zebranie naukowe z referatem prof. dr PIERRE BROUSSE'A (Francja).

II. ROZPOWSZECHNIANIE WYDAWNICTW I POPULARYZACJA WIEDZY

1. Kontynuowanie i rozwijanie akcji wydawniczej Towarzystwa

Organ PTMTS «Mechanika Teoretyczna i Stosowana». W roku 1966 ukazały się trzy numery wydawnictwa o łącznej objętości 28 arkuszy wydawniczych (tom 4, zeszyt 1/66 — 11,5 ark., tom 4, zeszyt 2/66 — 8,25 ark. i tom 4, zeszyt 3/66 — 8,25 ark.). Zaplanowany na rok 1966 i całkowicie przygotowany do druku zeszyt 4 nie mógł się ukazać z powodu wyczerpania środków finansowych przyznanych na wydawnictwo i niemożliwości uzyskania dodatkowej dotacji; w miarę możliwości potrzeby *MTiS* uzupełnione zostały kwotami z zaoszczędzonych rezerw Towarzystwa przeznaczonych na inne cele, co poważnie uszczupliło budżet PTMTS na rok 1966 i 1967. Materiały przygotowane do numeru 4/66 przerzucone zostały do tomu 5-go jako zeszyt 1/67.

Tematyka zeszytów wydawanych w roku 1966 zawierała, zgodnie z założeniami programowymi, artykuły przeglądowe z różnych gałęzi mechaniki, prace oryginalne, prace doświadczalne, biuletyn PTMTS, sprawozdania z sympozjów naukowych PTMTS, konferencji itp.

Pomimo że zgodnie z uchwałą Sekretariatu Naukowego PAN i zezwoleniem Głównego Urzędu Kontroli Prasy, Publikacji i Widowisk wydawnictwo przekształcone zostało na czasopismo, praktycznie biorąc w roku 1966 ukazywało się jeszcze nadal jako wydawnictwo ciągłe. Wejście do odpowiedniego planu PWN, pertraktacje z «Ruchem» i formalności związane z zawarciem odpowiednich umów trwały bowiem cały rok 1966.

Od roku 1967 «Mechanika Teoretyczna i Stosowana» ukazuje się już jako kwartalnik. Rozprzedażą i prenumeratą normalną zajmuje się wyłącznie «Ruch», natomiast prenumeratę ulgową dla członków Towarzystwa muszą prowadzić Oddziały PTMTS dysponujące wykazami osób należących do Towarzystwa.

Oddział w Gliwicach wydał materiały konferencyjne na konwersatorium n.t. «Zagadnienia termiczne i plastyczne w mechanice».

Oddział w Gdańsku wydał w bardzo starannej formie (rysunki i wykresy) materiały na sympozjum n.t. «Konstrukcje Wiszące» przygotowane wspólnie z Oddziałem Krakowskim.

Oddział we Wrocławiu wydał w bardzo ładnej formie dwa tomy materiałów konferencyjnych na III Sympozjum poświęcone reologii.

2. *Popularyzacja wiedzy w postaci organizowania kursokonferencji, kursów, wykładów popularyzujących oraz seminariów*

a) Kursy

Oddział w Poznaniu w I kwartale 1966 r. przeprowadził co tygodniowy kurs z teorii drgań. Odbyły się 4 dwugodzinne wykłady z udziałem 100 osób i 20 dyskutantów. W II kwartale 1966 r. kurs był kontynuowany i odbyło się w jego ramach 8 dwugodzinnych wykładów, na których przeciętna frekwencja wynosiła 25 osób.

W IV kwartale 1966 r. Oddział Poznański zorganizował dwa kursy roczne dla pracowników naukowych pt. «Teoria dystrybucji» oraz «Analiza funkcjonalna.» Wykładowcą na kursie był doc. dr J. MUSIELAK. Odbyło się 13 wykładów z przeciętną liczbą obecnych 20 osób.

b) Seminaria

Oddział w Krakowie wspólnie z Oddziałem w Gdańsku zorganizowały seminarium z Techniki Wibracyjnej. Przeprowadzono je w dniu 25 marca 1966 r. przy udziale 32 osób.

Oddział w Poznaniu zorganizował w dniu 17 grudnia 1966 r. seminarium z teorii drgań nieliniowych. Referaty wygłosili: mgr Z. MAGIERA-ULLRICH, dr G. BOJADŻIJEW i dr B. RADZISZEWSKI.

Oddział w Warszawie w porozumieniu z innymi ośrodkami (Poznań i Kraków) zorganizował cykl seminariów z Teorii Drgań Nieliniowych. Odbyły się one: 17 października 1966 w Warszawie, 26 listopada w Krakowie oraz w grudniu w Poznaniu. Seminaria te będą kontynuowane w 1967 r.

c) Dążenie do zwiększenia liczby członków PTMTS ilustruje następująca tabela:

Oddział	IV kw. 1965 r.	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.	Przybyło lub ubyło w okresie sprawozd.	
		Rok 1966					
		okres sprawozdawczy				Liczba	%
Gdańsk	42	42	42	42	42	—	—
Gliwice	57	58	58	58	58	+1	+1,7
Kraków	56	57	57	57	57	+1	+1,8
Łódź	26	26	25	25	25	−1	−3,8
Poznań	46	47	47	47	47	+1	+2,8
Szczecin	25	25	25	25	25	—	—
Warszawa	132	136	138	140	144	+12	+9,0
Wrocław	55	54	54	54	55	—	—
Razem:	439	445	446	448	453	+14	+3,1

d) Szerszy kontakt z przemysłem i jego problematyką

Kontakt ten polegał na zapraszaniu na zebrania naukowe, sympozja i inne imprezy organizowane przez PTMTS inżynierów z przemysłu. Zainteresowanie tematyką imprez Towarzystwa, a zwłaszcza sympozjów, jest bardzo żywe wśród przedstawicieli przemysłu.

III. RÓŻNE

Zebrania organizacyjne

Liczba zebrań organizacyjnych w okresie sprawozdawczym przedstawia się następująco:

Zjazd Delegatów	1	Zebrań Zarządów Oddziałów:	
Zebrań Zarządu Głównego	2	Gdańsk	7
Zebrań Prezydium Zarządu Głównego	5	Gliwice	6
Zebrań Głównej Komisji Rewizyjnej	1	Kraków	9
Walnych Zgromadzeń Oddziałów	8	Łódź	6
	17	Poznań	3
		Szczecin	8
		Warszawa	6
		Wrocław	13
			58
Innych zebrań organizacyjnych	16		
Razem zebrań organizacyjnych	91		

IV. ANALITYCZNE PODSUMOWANIE DZIAŁALNOŚCI TOWARZYSTWA

Analizując przytoczone wyżej dane należy stwierdzić, że działalność PTMTS powoli lecz systematycznie się rozwija. Że proces ten nie ma charakteru żywiołowego, tym bardziej świadczy to o stabilizacji Towarzystwa.

W ciągu roku 1966 liczba członków wzrosła o 14 osób, co stanowi 3,1%.

Liczba zebrań organizacyjnych wzrosła z 88 do 91.

Liczba zebrań naukowych w porównaniu z rokiem 1965 wzrosła tylko o jedno, z 56 do 57, ale liczba referatów wygłoszonych na tych zebraniach wzrosła z 69 do 74 (czyli o 5), liczba uczestników z 966 do 1.138 (o 172) oraz dyskutantów z 333 do 356 (o 23). Te dwie ostatnie pozycje świadczą o wzroście zainteresowania członków tematyką zebrań naukowych.

Liczba sympozjów zmalała z 5 do 4, ale spowodowane to było brakiem odpowiednich środków finansowych, a nie ograniczonymi możliwościami organizacyjnymi PTMTS.

Liczba konkursów utrzymała się na tym samym poziomie, tzn. trzech.

Liczba kursów wzrosła z 2 do 3, a seminariów z jednego do pięciu,

Akcja wydawnicza utrzymała się w zasadzie na tym samym poziomie, a jej właściwy rozwój zahamowany był również brakiem środków finansowych, co spowodowało niewydanie przygotowanego do druku 4 numeru «*Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej*».

Tematyka organizowanych imprez i zebrań naukowych dotyczyła zagadnień: stereomechaniki, hydromechaniki, aeromechaniki, termodynamiki.

Podział prac według ich przeznaczenia technicznego przedstawia się następująco:

1. Prace o charakterze ogólnym niezwiązane wyraźnie z żadnym działem przemysłu.
2. Prace związane z budownictwem lądowym i wodnym.
3. Prace związane z konstrukcjami maszyn, samochodów, okrętów.
4. Prace dotyczące górnictwa i hutnictwa.
5. Prace dotyczące techniki nuklearnej.

W liczbie wygłoszonych referatów nadal ogromną przewagę miały tematy z mechaniki stosowanej, a stosunkowo nieliczne dotyczyły mechaniki teoretycznej.

ZJAZD GAMM W ZURYCHU

W dniach 19–23 marca 1967 r. w Zurychu odbył się kolejny zjazd GAMM (Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik. Zjazdy te odbywają się corocznie i skupiają matematyków zajmujących się szeroko rozumianą matematyką stosowaną oraz mechaników z krajów niemieckiej strefy językowej. Przed

wojną GAMM był potężną instytucją naukową o wielkim autorytecie międzynarodowym, bazującym na powadze, jaką miała w świecie niemiecka szkoła mechaniki. Po wojnie rola mechaniki niemieckiej znacznie spadła, co nie pozostało bez wpływu na zjazdy GAMM. Nie bez znaczenia okazał się fakt, że język niemiecki przestał być, oficjalnie i nieoficjalnie, językiem międzynarodowym.

Zjazd w Zurychu był interesujący przede wszystkim z tego względu, że ujawniał wysiłki odbudowania autorytetu GAMM i zarazem autorytetu wielu, znakomitych niegdyś, placówek mechaniki i matematyki stosowanej. Trudno orzec, w jakiej mierze wysiłki te są rezultatem świadomej polityki kierownictwa GAMM, w jakiej zaś odbijają naturalne procesy rozwojowe. Wydały mi się interesujące ujawniające się na Zjeździe mechanizmy tego procesu odbudowy.

Odmiennie niż dzieje się to w wielu krajach nie posiadających dawnych tradycji w jakiejś dyscyplinie wiedzy, w Niemczech i Austrii (w Szwajcarii sytuacja jest inna) zachodzi proces odbudowywania starych szkół, podejmowania dawnej, niegdyś bardzo rozwiniętej tematyki. W odróżnieniu od obserwowanego gdzie indziej (także w Polsce) importowania problematyki naukowej, tu główne linie problemowe wydają się być bardziej konserwatywne. Tak np. liczba prac dotyczących gazów idealnych i doskonałych bądź też klasycznej hydrodynamiki okazała się nader znaczna

Rzucała się w oczy duża liczba młodych ludzi biorących udział w Zjeździe co, być może, związane jest z faktem, że Zjazd nie posiadał statusu Zjazdu międzynarodowego (niemniej jednak na zjeździe obecni byli przedstawiciele 8 krajów; niestety zabrakło uczonych z NRD). Wymagania stawiane przedstawionym pracom nie były nazbyt wysokie. Duża część prac nie miała charakteru zakończonych całości, a obrady poszczególnych sekcji przypominały raczej obrady seminarium niż prac sekcji Zjazdu, różniły się natomiast od seminarium przede wszystkim krótkim (i ściśle przestrzeganym) czasem przedstawiania prac (15 min.) i brakiem ostrzejszej krytyki merytorycznej. W rezultacie można się było dość dobrze zorientować w tematyce poszczególnych szkół, a także w wartości i liczebności kadr, jakimi one rozporządzają. W mechanice cieczy i gazów zasadniczymi ośrodkami są obecnie niewątpliwie Karlsruhe, Getynga, Akwizgran, Wiedeń — ponad 60% referatów pochodziło z tych właśnie ośrodków. Stosunkowo mało było prac doświadczalnych, a jeszcze mniej widać było powiązań prac doświadczalnych i teoretycznych (z wyjątkiem prac prowadzonych w grupie prof. ZIEREPA w Karlsruhe).

Zupełnie odmiennie przedstawiały się wykłady przeglądowe przedstawione na plenarnych posiedzeniach przedpołudniowych, które były na ogół znakomite. Zadaniem referentów było zobrazowanie rozwoju wybranego, na ogół dość szerokiego, zagadnienia i podsumowanie nagromadzonej już wiedzy. Wykładów takich było osiem. Wymieniam je w kolejności wygłaszania:

F. WEIDENHAMMER (Karlsruhe), «Drgania losowe» (teoria równań różniczkowych zwyczajnych drugiego rzędu z funkcją losową po prawej stronie).

A. THELLUNG (Zurych), «Hydrodynamika kwantowa (teoria helu II w ujęciu fenomenologicznym, jako mieszaniny dwóch cieczy)».

W. WETTERLING (Hamburg), «Optymalizacja całoliczbowa».

E. BECKER (Darmstadt), «Nowe problemy dynamiki gazów rzeczywistych» podstawowe rozważania dotyczące modelów gazu, wpływu czasów relaksacji itp..

W. HÄNDLER (Erlangen), «Teoria automatów jako część składowa matematyki stosowanej».

H. SCHAEFER (Brunszwik), «Ośrodek Cosseratów».

E. STIEFEL (Zurych), «Nowe ujęcie zagadnienia trzech ciał w mechanice nieba» (znakomity, głęboki wykład dotyczący stateczności ruchu ciał).

R. WILLE (Berlin), «Wymiana turbulentna i opływ kominów okrętowych» (wyniki badań doświadczalnych dotyczących turbulencji).

W czasie Zjazdu odbyło się doroczne zebranie wyborcze. Poza wyborem nowych władz przyjęło ono ważną dla dalszego rozwoju GAMM decyzję dopuszczenia wykładów w językach innych niż niemiecki. Faktycznie już na Zjeździe w Zurychu parę prac wygłoszono po angielsku, a przyjęta uchwała ten stan rzeczy aprobowała i zarazem otworzyła drogę do uczynienia ze Zjazdów GAMM konferencji o szerszym międzynarodowym znaczeniu. Przyjęto także zaproszenie do odbycia następnego Zjazdu GAMM w Pradze.

Ostatnim akordem prac Zjazdu było wspólne zebranie GAMM i WGLR (Wissenschaftliche Gesellschaft für Luft- and Raumfahrt) poświęcone pamięci LUDWIKA PRANDTLA, połączone z wręczeniem najwyższych wyróżnień WGLR, pierścieni Prandtla. Wykład wygłosił D. KÜCHEMANN (Farnborough, Anglia) na temat

rozwoju prandtlowskiej teorii sił nośnych. Główna idea tego doskonałego wykładu polegała na wykazaniu, że wszystkie problemy rozważanej teorii, łącznie z tymi, które przed paru laty wydawały się zamknięte, są nadal aktualne. Przedstawione przez autora dane teoretyczne i doświadczalne omawiały te zadania i sugerowały kierunki ich rozwiązania. Dr Küchemann wyrażał przekonanie, że istniejące rozbieżności między teorią i wynikami eksperymentu nie są w zasadzie, jeśli chodzi o potrzeby lotnictwa, związane z «nieidealnością» gazów i że mogą i powinny być rozwiązane klasycznymi, sugerowanymi przez Prandtla, metodami.

Pierścieniami (w dosłownym sensie) Prandtla zostali wyróżnieni prof. ADOLF BUSEMANN (Colorado, USA) i znany konstruktor samolotów GIUSEPPE GABRIELLI (Turyn, Włochy).

Świetna organizacja Zjazdu była zasługą gospodarza, prof. dr P. HENRICI w Zurychu.

Ryszard Herczyński (Warszawa)