

7.11.720

P O L S K I E T O W A R Z Y S T W O
M E C H A N I K I T E O R E T Y C Z N E J I S T O S O W A N E J

MECHANIKA TEORETYCZNA I STOSOWANA

KWARTALNIK

TOM 6 • ZESZYT 3

DZIESIĘCIOLECIE
PTMTS

Wydanie jubileuszowe



Pw^A

WARSZAWA 1968
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

539

KIERUNKI ROZWOJOWE I ZADANIA BADAWCZE W DZIEDZINIE MECHANIKI CIAŁA STAŁEGO

WITOLD NOWACKI (WARSZAWA)

Mechanika ciała odkształcalnego w XIX wieku, to głównie teoria sprężystości oraz jej zastosowania praktyczne w dziedzinie wytrzymałości materiałów i mechanice konstrukcji. Podwaliny teorii sprężystości dali wielcy matematycy i mechanicy XIX wieku — CAUCHY, LAGRANGE, HAMILTON, NAVIER, POISSON, de ST. VENANT, KIRCHHOFF, BETTI. Rozwijana głównie jako dział fizyki matematycznej, w okresie międzywojennym przybrała kształt nieomal klasyczny.

W okresie międzywojennym powstały i rozwinęły się nowe działy mechaniki ciała odkształcalnego, takie jak teoria plastyczności i reologia.

Jednak najszerszy rozwój mechaniki ciała odkształcalnego obserwujemy w ostatnim dwudziestolecu. Przyczyny tego burzliwego rozwoju upatrywać należy w znacznym postępie w wielu dziedzinach techniki, przede wszystkim w dziedzinie inżynierii chemicznej (głównie jądrowej) oraz w konstrukcjach maszynowych i lotniczych. Elementy konstrukcyjne pracują w warunkach podwyższonych ciśnień i temperatury oraz narażone są na działania chemiczne. Pojawiają się nowe materiały, których własności mechaniczne i zachowanie przy obciążeniu nie daje się opisać dotychczas stosowanymi modelami.

W tym rozwoju i ewolucji na podkreślenie zasługują dwie charakterystyczne cechy: wiązanie ze sobą szeregu pól fizycznych oraz rozbudowa podstaw termodynamicznych. Wyrastanie nowych dziedzin łączących dwie sąsiednie, dotąd niezależnie rozwijane, objaśnię na kilku przykładach, zaczerpniętych z bliskich mi dziedzin.

Otóż teoria sprężystości opierała się do niedawna na dwu upraszczających założeniach termodynamicznych. W zagadnieniach dynamicznych teorii sprężystości przyjmowano, że wymiana ciepła między jedną częścią ciała a drugą następuje za pośrednictwem prostego przewodnictwa cieplnego w sposób bardzo powolny. Jeśli wymiana ta nie zachodzi w ciągu odcinków czasowych rzędu okresu ruchu drgającego ciała, to rozpatrywać można każdą część ciała jako cieplnie izolowaną. Przyjmujemy zatem, że ruch odbywa się w warunkach adiabatycznych.

Przy tym założeniu upraszczającym, wprowadzonym jeszcze przez KELVINA, rozwinął się wielki dział teorii sprężystości, zwany elastokinetyką klasyczną. W ramach tej dziedziny rozwinęto teorię propagacji fal sprężystych, mającą tak duże znaczenie w sejsmo-

logii. Dodać należy, że elastokinetyka klasyczna rozwijana jest i obecnie, wyłaniają się bowiem coraz to nowe zadania praktyczne.

W zagadnieniach statycznych teorii sprężystości (elastostatyka) przyjmuje się inne założenia termodynamiczne. Zakłada się, że w czasie powolnego narastania deformacji istnieje możliwość pełnej wymiany ciepła z otoczeniem. Postuluje się zatem, że deformacja odbywa się w warunkach izotermicznych.

Dopiero w ostatnich latach podjęto próbę stworzenia ogólnych podstaw termodynamicznych, ściślej opisujących wzajemne oddziaływanie sprzężonych ze sobą pól, wiążąc ze sobą dwie dotychczas samodzielnie rozwijane dziedziny, a mianowicie teorię sprężystości i teorię przewodnictwa cieplnego. Powiązania pola deformacji z polem temperatury dokonano na bazie termodynamiki procesów nieodwracalnych (BIOT, 1956). Jedną teorią objęto związki między przyczynami, jakimi są obciążenia, siły masowe, ogrzanie powierzchni ciała i źródła ciepła, a skutkami — przemieszczeniami i temperaturą w dowolnym punkcie ciała stałego. Nową dziedzinę nazwano termosprężystością. Obecnie jesteśmy świadkami rozbudowy tej teorii. Uzyskano szereg ogólnych metod całkowania równań różniczkowych tej dziedziny oraz podstawowe ogólne twierdzenia, jak twierdzenie o wzajemności, rozszerzone twierdzenie SOMIGLIANA i GREENA, HELMHOLTZA i KIRCHHOFFA zasady wariacyjne.

Zauważyć należy, że rozwiązania uzyskane w ramach termosprężystości pod względem ilościowym niewiele odbiegają od rozwiązań klasycznej teorii sprężystości, czy też teorii przewodnictwa cieplnego. Sprężenie pola odkształcenia i temperatury jest słabe. Jednakże różnice jakościowe są zasadnicze. Widać to choćby na przykładach fal sprężystych, które w ramach termosprężystości są tłumione i ulegają dyspersji, podczas gdy w ramach elastokinetyki występują jedynie fale nietłumione. Podstawowego znaczenia nabiera termosprężystość w tych przypadkach, w których głównym celem jest badanie sprężystej dysypacji. Znaczenie termosprężystości polega głównie na walorach poznawczych i uogólniających (jako syntezy teorii sprężystości i przewodnictwa cieplnego) tej teorii.

Równoległe z tymi badaniami rozwija się tak zwana teoria naprężeń cieplnych, teoria uproszczona, pomijająca sprzężenie pola deformacji i temperatury.

Celem jej jest wyznaczenie pola deformacji wywołanych ogrzaniem ciała. Teoria ta, choć uproszczona, daje wyniki przydatne dla praktyki.

Szybki jej rozwój podyktowany jest potrzebami chwili, wielkim zapotrzebowaniem ze strony techniki. Szybki bowiem rozwój inżynierii jądrowej, stosowanie wysokich parametrów temperatury i ciśnienia w turbinach parowych, rozwój turbin gazowych, stosowanie wielkich prędkości lotu w samolotach — wpłynęły na rozwój teorii naprężeń cieplnych, zwłaszcza w dziedzinie przebiegów nieustalonych. Rozwój tej teorii przypada na lata 1955–1965 i dotyczy głównie temperatur niewysokich. Obecnie punkt ciężkości badań dotyczy zachowania się materiałów przy temperaturach podwyższonych, gdy stałe materiałowe tak mechaniczne, jak i termiczne, zależą od temperatury.

Podobnie, jak w teorii sprężystości, dokonuje się ewolucja w teorii plastyczności. Dziedzina ta, zapoczątkowana jeszcze przed pierwszą wojną światową, rozwinęła się głównie w okresie międzywojennym jako teoria badająca głównie stany ustalone. W okresie ostatniej wojny zaczęto zajmować się zagadnieniami dynamicznymi teorii plastyczności, pro-

pagacją fal sprężysto-plastycznych w ciałach stałych. Wydaje mi się, że w chwili obecnej jesteśmy świadkami budowy jednolitej teorii plastyczności i precyzowania jej podstaw termodynamicznych.

Jednak ze względu na bez porównania większą złożoność zjawisk uplastycznienia materiałów i występowanie w ciele obszarów sprężystych i uplastycznionych, długa będzie droga do stworzenia teorii jednolitej, obejmującej zjawiska plastyczne i przewodnictwa cieplnego (termoplastyczność).

Następny ważny kierunek rozwojowy mechaniki ciał stałych odkształcalnych — to reologia. Celem jej jest badanie rozwijających się w czasie deformacji ciał. Jest to dziedzina bardzo ogólna obejmująca zarówno plastyczność materiału, rozumianą jako naukę o odkształceniu trwałym nie będącym funkcją czasu, jak i teorię sprężystości, gdy proces odkształcenia wiąże się z przemianą odwracalną — wreszcie hydromechanikę cieczy lepkiej. Reologia bada ponadto skończone odkształcenie ciała.

Dotychczas rozwinęły się niektóre tylko gałęzie tej obszernej, syntetyzującej dziedziny, jak lepkosprężystość i lepkoplastyczność, mechanika gruntów itd. Zajmę się tylko jednym kierunkiem, mianowicie liniową lepkosprężystością.

W okresie międzywojennym zaobserwowano, że niektóre konstrukcje, pracujące w warunkach znacznych ciśnień (np. mosty łukowe o dużej rozpiętości, a małej wyniosłości) wykazywały nieznaczne cechy pełzania, charakteryzującego się wzrostem odkształceń przy stałym naprężeniu. Przy wprowadzaniu konstrukcji wstępnie sprężonych, w których kable i struny pracują w warunkach wysokichciągnięć, zaobserwowano inne zjawisko, zwane relaksacją, a polegające na spadku naprężeń przy stałym odkształceniu. Zjawiska te dały się wytłumaczyć przez przyjęcie takiego modelu ciała, w którym występują tak cechy sprężyste, jak też i cechy cieczy lepkiej. Przy budowaniu teorii ciał lepkosprężystych podstawą stała się zasada Boltzmanna głosząca, że jeśli cykl naprężeń $\sigma_1(t)$ wywołuje odkształcenie $\varepsilon_1(t)$, a cykl naprężeń $\sigma_2(t)$ odkształcenie $\varepsilon_2(t)$, to suma cykli $\sigma_1(t) + \sigma_2(t)$ wywoła sumę odkształceń $\varepsilon_1(t) + \varepsilon_2(t)$.

Liczne badania eksperymentalne potwierdziły zasadę BOLTZMANN dla wielu materiałów konstrukcyjnych, pracujących w określonych przedziałach naprężeń i odkształceń. Mimo że liniowa teoria lepkosprężystości rozwijana jest od dwudziestu lat, aksjomatyzacja tej teorii (jednak bez ugruntowanych podstaw termodynamicznych) nastąpiła zaledwie kilka lat temu (STERNBERG).

Niestety liniowa teoria lepkosprężystości nie opisuje dostatecznie ściśle zachowania się wielu materiałów, zwłaszcza tworzyw sztucznych, jak też i złożonych materiałów tradycyjnych (jak np. beton).

Obecnie jesteśmy świadkami tworzenia teorii nowych, odstępujących od założeń liniowości. Jednocześnie coraz głębiej wnika się do struktury molekularnej ciała, chcąc na tej drodze uzyskać nowe związki i zbadać mechanizm deformacji ciała.

Badania reologiczne stoją dziś w centrum uwagi badaczy. Wynika to z perspektywy zastąpienia wielu obecnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych przez tworzywa sztuczne.

Dalszą ważną dziedziną międzydyscyplinową jest teoria dystorsji i dyslokacji. Teoria ta, zapoczątkowana pracami VOLTERRI i SOMIGLIANA, miała na uwadze przede wszystkim

badania samonaprzeżeń, wyjaśnienie mechanizmu działania naprężeń początkowych występujących w odlewach, w obszarach wielospójnych ciał sprężystych, dzielonych na obszary jednospójne i znowu zespolonych w wielospójne. Teoria ta znalazła zastosowanie również w konstrukcjach inżynierskich, w prętach, płytach i tarczach, przy badaniu tzw. naprężeń montażowych.

Od 15 lat teoria ta nabrała wyjątkowego znaczenia w fizyce ciała stałego, przy badaniu defektów w sieci krystalicznej kryształów rzeczywistych. Chodzi tu również o wyjaśnienie ruchu tych defektów oraz o wyjaśnienie, dlaczego naprężenie krytyczne w krystalitach jest tak paradoksalnie niskie.

Zjawisko dyslokacji badane jest przez fizyków metodami mechaniki kwantowej i termodynamiki statystycznej oraz jeśli chodzi o deformację — metodami mechaniki ośrodka ciągłego odkształcalnego (teoria sprężystości).

Wydaje się, że ta podstawowa dziedzina fizyki ciała stałego powinna być rozwijana w sposób kompleksowy przez fizyków, mechaników i metalurgów.

Przejdźmy do dalszych dziedzin, rozwijających się burzliwie w ostatnich latach, dziedzin na pograniczu teorii ciała odkształcalnego i elektrodynamiki. Niektóre z tych dziedzin rozwijane były już dawniej, ale w dość skromnym zakresie, jak piezoelektryczność, magneto- i elektrostrykja.

Wiadomo, że materiał zdolny do polaryzacji, poddany deformacji, wykazuje efekt elektryczny. Jeśli, np. kryształ kwarcu jest deformowany, to powstaje w nim pole elektryczne. Odwrotnie, przyłożenie pola elektrycznego wywołuje deformację ciała (efekt piezoelektryczny prosty i odwrotny). Ale nie tylko przyłożenie ciśnienia wywołuje pole elektryczne, wywołuje je również ogrzanie ciała. Można zatem łączyć z sobą pole deformacji, pole temperatury i pole elektryczne i stworzyć obszerniejszą już teorię termo-piezoelektryczności.

Jak wiadomo, efekt piezoelektryczny występuje przy małych odkształceniach jedynie w ciałach anizotropowych. Okazuje się jednak, że zjawisko wywołania pola elektrycznego poprzez deformację ciała obserwuje się również w ciałach izotropowych, ale przy dużych odkształceniach (selektrostrykja).

Teorię tego zjawiska podał w 1962 r. ERINGEN. W ślad za nim inni autorzy, głównie amerykańscy (TOUPIN, MINDLIN, TRUESDELL, RIVLIN) podjęli próbę budowania teorii wiążących pole deformacji z polem elektromagnetycznym, głównie dla sprężystych dielektryków pracujących w warunkach dużych odkształceń.

U nas w kraju szczególnie intensywnie rozwinęła się dziedzina magnetosprężystości (KALISKI i współpracownicy). Przedmiotem tej dziedziny jest badanie pola elektromagnetycznego i deformacji występujących w rzeczywistym przewodniku elektrycznym pod wpływem zaburzeń mechanicznych (uderzenia, wybuchy itd.) i to w obecności silnego, pierwotnego pola magnetycznego. Nagłe przyłożenie obciążenia powoduje zmianę pierwotnego pola magnetycznego; w równaniach Maxwella dla wolno poruszających się ośrodków powstają człony związane z prędkością przemieszczenia punktów ciała, w równaniach teorii sprężystości pojawiają się siły Lorentza. W wyniku sprzężenia propagują się w ciele fale elektromagnetyczne, wypromieniowane na brzegu do próżni.

Badania te, choć obecnie głównie teoretyczne, wydają się obiecujące i rokują nadzieję zastosowań praktycznych.

Z tego, co dotąd przedstawiono, wynikają dwie ogólne tendencje rozwojowe mechaniki kontinuum odkształcalnego, mianowicie dążenie do coraz ściślejszego opisywania zachowania się ciał rzeczywistych, jak i dążenie do wiązania, sprzęgania ze sobą różnych, dotąd oddzielnie rozwijanych dziedzin. Ta ostatnia tendencja ma głównie charakter poszukiwawczy, polega na opisywaniu efektów wtórnych i eksponowaniu ich przy wzroście określonych parametrów do efektów głównych.

Powstaje pytanie — jakie z tych tendencji rozwojowych wyciągnąć wnioski praktyczne w odniesieniu do rozwoju badań w naszym kraju.

Należy zauważyć, że mechanika ciała odkształcalnego zaczęła się rozwijać pełniej po okresie odbudowy szkolnictwa wyższego, katedr, laboratoriów i warsztatów pracy na przełomie lat pięćdziesiątych. Kadra samodzielna była bardzo szczupła. Ponadto małe na ogół doświadczenie naukowe kadr wskazywało na konieczność kontynuowania kierunków tradycyjnych. Jednak z biegiem lat następowało coraz szybsze zbliżenie się do głównego nurtu rozwoju mechaniki i równie ważne zapoczątkowanie nowych kierunków.

Świadczy o tym przykładowo ewolucja dokonana w dziedzinie teorii sprężystości i plastyczności. W teorii sprężystości zajmowano się w latach 1952–1956 głównie problematyką dźwigarów powierzchniowych i teorią sprężystości ciał anizotropowych. W latach 1956–1960 na plan pierwszy wysunęła się teoria naprężeń cieplnych i liniowa lepkosprężystość. W ostatnich latach dominuje nieliniowa teoria sprężystości, termosprężystość i teoria dyslokacji.

W teorii plastyczności działalność naukowa skupiła się bez mała od razu na dziedzinach nowych, u nas zapoczątkowanych, mianowicie na teorii plastyczności ciał anizotropowych i teorii plastyczności ciał niejednorodnych. W ostatnich latach punkt ciężkości przeniósł się na zagadnienia dynamiczne teorii plastyczności.

Do poziomu współczesności doprowadzono badania w dziedzinie propagacji fal sprężystych oraz nieliniowych drgań mechanicznych. Sporo osiągnięto w niektórych kierunkach reologii, w zagadnieniach ciał lepkosprężystych, w mechanice górotworu. Wreszcie zainicjowano i szeroko rozwinięto badania w wielu dziedzinach międzydyscyplinowych, przede wszystkim w magneto-sprężystości.

W założonym w 1953 r. Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN mamy bardzo poważny i twórczy ośrodek naukowy, skupiający szereg samodzielnych pracowników nauki, wielu doktorów i doktorantów. Jest to drugi co do wielkości i znaczenia ośrodek naukowy w krajach socjalistycznych zajmujący się mechaniką teoretyczną i stosowaną.

Obok IPPT istnieje szereg katedr, głównie politechnicznych, prowadzących badania w dziedzinie mechaniki teoretycznej i stosowanej skupiających liczną i już dobrze przygotowaną kadrę naukową.

W katedrach tych uprawia się głównie badania związane z rozwojem poszczególnych przemysłów, typów konstrukcji itd. Związane jest to ze specyficznością wydziałów, czasem z profilem uczelni (badania związane z górnictwem i hutnictwem w Akademii Górniczo-Hutniczej, z włókiennictwem w Politechnice Łódzkiej, z budową okrętów w Politechnice Gdańskiej).

Ośrodek badawczy w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN oddziałuje na rozwój mechaniki nie tylko przez prowadzone tam badania, ale również przez

seminaria i konferencje naukowe, wreszcie przez dyfuzję wyników naukowych za pomocą czasopism (o charakterze krajowym i międzynarodowym) i serii monografii.

Poważną rolę w rozwoju mechaniki w kraju odegrało w ostatnim dziesięcioleciu Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, inicjując dyskusje naukowe i badania w wielu ośrodkach naukowych kraju. Działalność jego dała impuls do zorganizowania wielu poważnych sympozjów naukowych i konferencji. Czasopismo Towarzystwa — *Mechanika Teoretyczna i Stosowana* — stało się poważnym organem naukowym, zapoznającym czytelników ze współczesną problematyką naukową mechaniki.

Stwierdzić należy, że na ostatnie dwudziestolecie przypada wspaniały okres rozwoju mechaniki w Polsce. Z kraju, w którym w okresie międzywojennym mechanice ciała stałego poświęcało się kilku uczonych, staliśmy się poważnym ośrodkiem badań o znaczeniu międzynarodowym. Wzrosła poważnie kadra badaczy; powstały u nas nowe, a co ważniejsze, oryginalne kierunki badawcze.

Obok centralnego ośrodka badawczego, jakim jest IPPT (skupiający 120 pracowników w dziedzinie mechaniki ciała stałego), działa szereg mniejszych ośrodków o interesującej i oryginalnej tematyce badawczej. W dziedzinie mechaniki górotworu istnieje poważny ośrodek w Krakowie. Mechanika gruntu rozwijana jest w katedrach Politechniki Wrocławskiej i Łódzkiej oraz w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN. Teorie mikrostruktur w katedrze mechaniki budowli Politechniki Łódzkiej i w Uniwersytecie Warszawskim, pola sprzężone w Wojskowej Akademii Technicznej, teorie dźwigarów powierzchniowych (liniowe i nieliniowe) w wielu katedrach politechnicznych, teoria drgań nieliniowych w Politechnice Poznańskiej i Krakowskiej.

Mechanika nasza prowadzi badania na szerokim froncie i w wielu dziedzinach włączyła się do nurtu mechaniki światowej. Stwierdzenie to jest jednak słuszne w odniesieniu do badań teoretycznych.

W badaniach doświadczalnych jesteśmy znacznie opóźnieni; na przeszkodzie stoją tu braki aparaturowe i mała liczba laboratoriów. Stan ten w przyszłości może poważnie zaciążyć na rozwoju wielu działów mechaniki w Polsce.

W ciągu ubiegłego dwudziestolecia przeszliśmy trudną drogę rozwoju. W okresie tym zorganizowaliśmy szereg ośrodków naukowych, wykształciliśmy liczną kadrę naukową, stworzyliśmy sieć czasopism naukowych. Ukształtowana została opinia naukowa, głównie przez liczne dyskusje na sympozjach i konferencjach naukowych.

Na przyszłość stawiać możemy sobie trudniejsze, poważniejsze niż dotąd cele. Bardzo poważnym zagadnieniem staje się zarysowanie dalszych kierunków rozwojowych mechaniki ciała stałego w Polsce. Jakie kierunki rozwijać intensywnie, a jakimi się już nie zajmować.

Pewne prace w tym kierunku były prowadzone w ubiegłych latach przez komitety naukowe PAN, przede wszystkim przez Komitet Mechaniki PAN. Opracowania te, w postaci prognoz rozwoju mechaniki zostały włączone do planu perspektywicznego rozwoju nauki polskiej do 1985 r.

Oporając się na tych opracowaniach oraz na licznych dyskusjach z kolegami, twórczo pracującymi w dziedzinie mechaniki ciała stałego, wymienię niektóre kierunki, które zdaniem moim należy intensywnie rozwijać w najbliższym dziesięcioleciu, tak ze względu

na ich poważne znaczenie poznawcze, jak i zastosowanie praktyczne. Wymienię je kolejno, nie przesądzając ich hierarchii.

1. Teoria niesymetrycznej sprężystości. Z doświadczeń wiadomo, że klasyczna teoria sprężystości zawodzi w przypadkach wielkich gradientów naprężeń (koncentracja naprężeń w otoczeniu karbów i otworów) oraz w przypadku ciał o strukturze ziarnistej. Przydatna staje się tu teoria «niesymetrycznej sprężystości», obmyślona przez braci E. i F. COSSERA-TÓW i opublikowana w 1910 r. Teoria ta, zapomniana przez długie lata, została na nowo odkryta w ostatnim dziesięcioleciu. Teoria ta tłumaczy pewne nieprawidłowości (z punktu widzenia klasycznej teorii sprężystości) w prędkościach fazowych krótkich fal akustycznych w kryształach, strukturach polikrystalicznych i w polimerach.

Rozwój teorii niesymetrycznej sprężystości nie pozostanie bez wpływu na inne dziedziny mechaniki ciała odkształcalnego, takie jak teoria dyslokacji, lepkosprężystość, termosprężystość.

2. Dynamiczne zagadnienie teorii sprężystości. Mam tu na myśli zagadnienie propagacji fal w ciele stałym. Chodzi tu głównie o uwzględnienie rzeczywistych własności ośrodka (anizotropia, niejednorodność, własności reologiczne). Dziedzina ta ma poważne znaczenie praktyczne dla prospekcji geologicznej i sejsmologii. Kierunek ten wymaga ścisłej współpracy z geofizykami.

3. Nieliniowa teoria sprężystości. Chodzi tu zarówno o nieliniowość typu geometrycznego, jak i fizykalnego. Głównym zadaniem jest tu opracowanie «prawa fizycznego», to jest zależności między wielkościami kinematycznymi i dynamicznymi przy uwzględnieniu nieodwracalnych procesów termodynamicznych. Chodzi wreszcie o rozwiązania o znaczeniu praktycznym, a dotyczące dźwigarów powierzchniowych (membran, płyt, powłok) o dużych odkształceniach.

4. Teoria dyslokacji. Chodzi tu głównie o zagadnienie ruchomych dyslokacji i poszukiwanie rozwiązań konkretnych zagadnień dotyczących dyslokacji i naprężeń własnych. Badania te winny się rozwijać w ścisłej współpracy z fizykami ciała stałego i z matematykami, specjalistami od geometrii różniczkowej. Badania doświadczalne powinien przejąć Instytut Fizyki PAN oraz instytuty i katedry metalurgiczne.

5. Termosprężystość, rozumiana jako powiązanie pola deformacji z polem temperatury, i teoria naprężeń cieplnych. Wydaje się, że tematyka termosprężystości będzie w pięcioleciu wyczerpana, tak że kontynuacja tych badań wskazana jest jedynie ze względu na osiągnięte do tej pory rezultaty. W teorii naprężeń cieplnych punkt ciężkości spoczywać powinien na zagadnieniach związanych z działaniem podwyższonych temperatur na materiały i konstrukcje.

Konieczne tu jest rozwinięcie badań laboratoryjnych.

6. Dynamiczne zagadnienie teorii plastyczności. Efekty dynamiczne, jakie powstają poza granicą sprężystości, są wynikiem silnych obciążeń przyłożonych w sposób gwałtowny do ciała. Może to być działanie fali wywołanej wybuchem, wynik zderzenia dwu ciał, nagłej zmiany prędkości poruszającego się obiektu, działanie uderzenia cieplnego itp. Spotykamy się wreszcie z propagacją fal w obszarze sprężysto-plastycznym. W zakres tych badań wchodzi również badania typowych elementów konstrukcyjnych, takich jak belki, płyty, powłoki.

7. **Badania reologiczne.** Mam tu na myśli przede wszystkim prace doświadczalne, dotyczące polimerów i gruntów oraz znanych materiałów konstrukcyjnych, takich jak stal i beton. Chodzi o to, aby uzyskać dane doświadczalne z pierwszej ręki. Prace teoretyczne polegałyby na tworzeniu nowych modeli, głównie nieliniowych, opisujących zachowanie się pewnych klas materiałów.

8. **Magnetosprężystość. Elektrosprężystość.** Te dwa nowe kierunki obejmują krąg zagadnień związanych z teorią fenomenologiczną, teorią sprzężonych pól mechano-elektromagnetycznych w ciałach sprężystych (a również i niesprężystych). Efekty te pochodzą, przy grubym podziale, w zasadzie od dwojakiego rodzaju przyczyn: a) sprzężenia natury kinematycznej, b) sprzężenia wynikającego z mechanizmu wewnętrznych oddziaływań w materii. Do pierwszej grupy zaliczymy efekty związane z siłami Lorentza, generowanymi przez prądy w polu magnetycznym (magnetosprężystość ośrodków przewodzących nieferromagnetycznych). Do drugiej grupy zaliczymy sprzężone pole w piezoelektrykach, ferromagnetykach, ferroelektrykach itd.

Prowadzone dotąd badania roją nadzieję uzyskania nowych efektów pobocznych, które dałyby się wykorzystać w technice. Badania te należałoby szerzej rozwinąć, głównie we współpracy z elektrykami, elektronikami i elektroakustykami. Konieczne staje się też rozszerzenie bazy eksperymentalnej w tej dziedzinie.

Istnieje wreszcie konieczność znacznego rozszerzenia badań w dziedzinie *termodynamiki procesów nieodwracalnych* jako koniecznej, wspólnej bazy przy tworzeniu szeregu teorii mechaniki ośrodków ciągłych, zarówno ciała stałego, jak i cieczy.

Nasilenia wymagają wreszcie badania eksperymentalne, dotyczące *zjawiska zmęczenia i mechanizmu pękania materiałów*.

Naszkiecowane tu generalne kierunki rozwojowe wymagają oczywiście uściślenia w ramach kolejnych planów pięcioletnich. Być może, przewidywania nasze nie pokryją się z rzeczywistością. Obserwujemy bowiem tak szybki rozwój nauki oraz coraz większe przenikanie i integrację metod teoretycznych i stosowanych, że rozwój poszczególnych kierunków potoczy się zapewne prędzej niż to można obecnie przewidywać. Jednak bez względu na natężenie prac naukowych w przyszłych latach ocenić możemy już obecnie pozytywnie nasz start. Jesteśmy dobrze przygotowani kadrowo do udziału w światowym współzawodnictwie w rozwoju mechaniki ciała stałego.

Praca została złożona w Redakcji dnia 15 marca 1968 r.