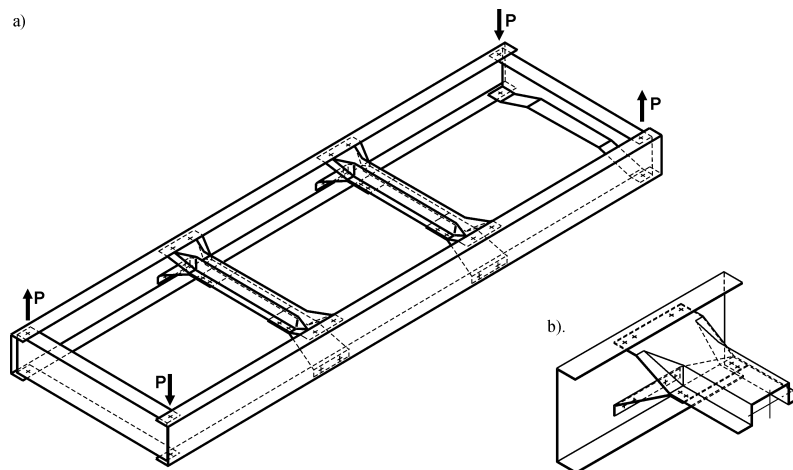


1

Specyfika analiz konstrukcji cienkościennych oraz zawartość opracowania

1.1. Ogólna charakterystyka podjętych zadań

Książka przedstawia inżynierskie sposoby rozwiązywania zadań wytrzymałościowego kształtowania statycznie obciążonych brył cienkościennych (por. rys. 1.1), które pojawiają się we wstępnej fazie projektowania każdej takiej konstrukcji. Dane są wtedy tylko warunki brzegowe, a o wpisanej między brzegi konstrukcji niewiele wiadomo. Nieznany pozostaje jej kształt i wymiary, a projektant żąda zazwyczaj, aby rezultatem był ustrój lekki i bardzo wytrzymały.



Rys. 1.1

Przykłady konstrukcji brył cienkościennych
a) powłoka 'ramy' nośnej samochodu, b) powłoka węzła 'ramy'

Są to zadania spotykane w codziennej praktyce inżyniera. Okazuje się jednak, że mimo powszechnej potrzeby ich podejmowania, nadal należą one do najbardziej aktualnych problemów wytrzymałościowego projektowania, często nierozwiązanych lub rozwiązanych niezadowolająco z punktu widzenia zastosowań. W istocie są to bowiem zadania z nieznanym rozmieszczeniem materiału w przestrzeni, których rozwiązań można ewentualnie szukać sięgając po bardzo zaawansowane metody optymalizacji [1, 8, 25, 31], bazujące na iteracyjnym poprawianiu.

W przypadku brył cienkościennych zadania te komplikują się jeszcze bardziej. Bryły takie (np. rys. 1.1), a w książce mówimy głównie o ustrojach metalowych, to na ogół

konstrukcje bardzo złożone, zbudowane z różnorodnie połączonych elementów płaskich i zakrzywionych. Mają więc własności typowe dla powłok, w tym możliwość dużych i daleko się rozprzestrzeniających zmian pól deformacji, nawet gdy wprowadzi się niewielkie zmiany konstrukcyjne¹⁾. Fakt ten jest stwierdzany doświadczalnie, ale wynika również z matematycznej natury równań, które stany deformacji w powłokach opisują. W rezultacie, iteracyjne poprawianie może być przy ich kształtowaniu wykorzystywane w bardzo ograniczonym zakresie.

Tych kilka szkicowych uwag zdaje się w dużej mierze wyjaśniać, dlaczego wstępna faza projektowania była dotąd niemal całkowicie pozbawiona właściwych jej metod i zdominowana przez sposoby intuicyjne. Stan ten istniał, chociaż było wiadomo, że w tej właśnie fazie decydują się najważniejsze własności nośne. Niezrozumiałe w tej sytuacji jest, że znane od dziesięcioleci tzw. analizy statyczne [7], które są tej fazie dedykowane i dostarczają przynajmniej konstrukcji bez błędów zasadniczych, zostały jakby zapomniane. Jest to tym bardziej niewytłumaczalne, że błędy takie mogą zmniejszać nośność nie o kilka, czy kilkadziesiąt procent, ale często kilkunastokrotnie, bo taka jest skala możliwych tu zmian, a wymienionych analiz właściwie niczym nowym nie udało się zastąpić.

1.2. Rzeczywistość projektowa

W najczęściej spotykanych przypadkach praktycznych, wobec braku metod właściwych fazie wstępnej, konstruktor próbuje sobie radzić podejmując projektowanie intuicyjne, spełnia głównie wymogi funkcjonalne, następnie 'sprawdza' poczynione założenia przy pomocy prostych wzorów, zwykle nieadekwatnych do realiów, by ewentualnie na końcu analizować i korygować tak stworzoną konstrukcję cienkościenną przy pomocy metody elementów skończonych (MES).

Zrozumiałe, że przy takim postępowaniu powstaje ustrój o przypadkowych własnościach, najczęściej w niewielkim stopniu wykorzystujący materiał użyty do swojej budowy, mający błędy zasadnicze i wymagający poprawienia. Można ewentualnie próbować to zrobić korzystając z MES, ale jest to trudne, bądź niemożliwe, skoro nawet małe oraz odległe modyfikacje mogą powodować w konstrukcji duże, lub bardzo duże, zmiany pól naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia.

Konieczne jest zatem sięgnięcie po inne metody diagnozowania kierunków poprawy, oparte na innych sformułowaniach i ujmujące nie tylko relację *obciążenie-geometria konstrukcji*. Klasyczne analizy MES ich nie rozważają. Uwzględniają je natomiast przedstawione w książce analizy statyczne.

1.3. Idea metody SADF i jej wersji aplikacyjnej

Pewnej, odczytanej na nowo, odmianie tych analiz, nazwanej wprost: analizami struktur brył cienkościennych, poświęcamy w książce sporo uwagi. Jednak jej treść zasadniczą wypełnia oryginalna metoda kształtowania, głównie konstrukcji metalowych, która, choć jest przybliżoną, przeznaczoną przede wszystkim do rozwiązywania inżynierskich zadań z nieznanym brzegiem swobodnym i mającą wiele wad, to ujmuje również problemy z nieznanym rozmieszczeniem materiału, także w przestrzeni, rozwiązując je bez korzy-

¹⁾ Zasada de Saint Venanta na ogół nie ma do nich zastosowania.

stania z iteracyjnego poprawiania i wykluczającą popełnianie błędów zasadniczych. Operuje przy tym modelem powłokowym, nie wprowadzając dalej idących uproszczeń.

Zasadnicze idee tej metody, zilustrowane na przykładach kształtowania elementów konstrukcji o zwartej budowie, zaproponował w 1968 roku W. SZCZEPIŃSKI [26]. Ma ona swoje uzasadnienie w podstawowych faktach mechaniki, dokładniej – w twierdzeniu o dolnym oszacowaniu nośności granicznej, które dotyczy wnioskowania na podstawie statycznie dopuszczalnych pól naprężeń. Zgodnie z tym twierdzeniem, z każdego takiego pola, a więc pola spełniającego tylko warunki statyczne zadania i nigdzie nieprzekraczającego założonego warunku plastyczności, wynika dolne oszacowanie nośności. Element konstrukcyjny o konturach dobranych według pola statycznie dopuszczalnego, ciągłego lub nieciągłego, ma więc nośność graniczną nie mniejszą niż w tym polu założono. Najbardziej oszczędne, choć nadal bezpieczne kontury, można zatem wyznaczać rozwiązując stosowne zadanie optymalizacji, w którym kryterium stanowiłby na przykład warunek najmniejszej objętości, ograniczenia zaś – warunki statycznej dopuszczalności oraz warunki brzegowe.

W przyjętym ujęciu zakłada się, że są to pola nieciągłe, obszarami stałe oraz pomija zadanie optymalizacji, przestając na konstrukcji pól o największym możliwym wyężeniu – tzw. pól granicznych. Otrzymuje się wtedy kontury oszczędne, choć nie najbardziej oszczędne w dziedzinie, za to jednak uzyskuje sporą swobodę nakładania ograniczeń dodatkowych – niezbędnych w zadaniach praktycznych. Inaczej mówiąc, zadanie kształtowania zostaje sprowadzone do poszukiwania granicznego, nieciągłego pola statycznie dopuszczalnego, które spełnia dane warunki brzegowe. Stąd też używana w literaturze nazwa: metoda statycznie dopuszczalnych, nieciągłych pól naprężeń (ang. SADSf Method) lub – krócej – metoda nieciągłych pól naprężeń.

Jest to metoda prowadząca w bezpośrednich sformułowaniach do bardzo trudnych, nieliniowych zadań z nieznaną dyskretyzacją. Najbardziej zaskakującą jej własnością jest jednak to, że pozwala w swoich ramach zbudować prostą wersję aplikacyjną, która te trudne problemy omija. W rezultacie projektant nawet nie musi samodzielnie rozwiązywać jakiegokolwiek pola statycznie dopuszczalnego. Wystarczy, że takie pola dobierze z podanych mu bibliotek gotowych rozwiązań szczególnych i połączy je w dopuszczalnych konfiguracjach. Dlatego może się nią posłużyć właściwie każdy konstruktor i kształtować przy jej użyciu nawet ustroje bardzo skomplikowane.

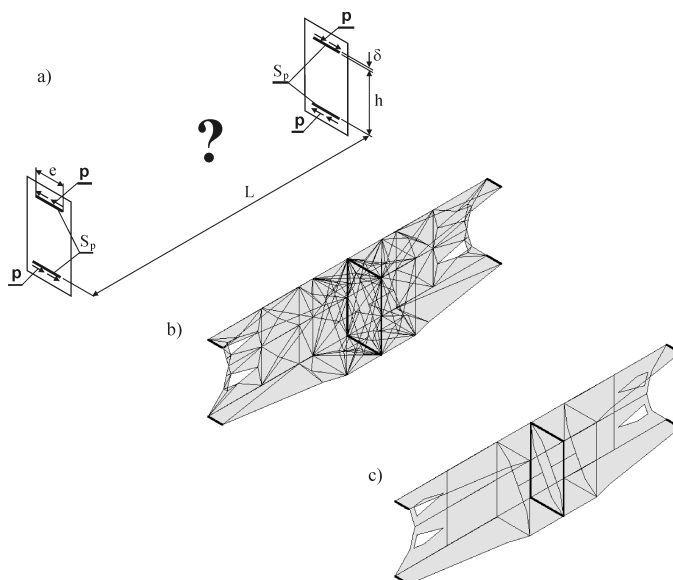
Sam dobór pól składowych z biblioteki jest ograniczony właściwie tylko pomysłowością projektanta, a zadania przypominają układankę, zresztą bardzo prostą, bo z oczywistymi odpowiedziami: pola sąsiednie można zawsze połączyć, gdy na ich wspólnych krawędziach uda się spełnić warunki równowagi.

Przedstawieniu tej wersji metody, wyposażonej dziś w prawie profesjonalne oprogramowanie (autorski pakiet SADSfAM, [32]), ta książka jest poświęcona. Uwalnia ono od żmudnych obliczeń i nie wprowadza praktycznie żadnych ograniczeń na złożoność budowy kształtowanych konstrukcji. Tym samym, wersja aplikacyjna metody SADSf, w zagadnieniach wstępnej fazy projektowania, stała się narzędziem zajmującym podobne miejsce, jakie ma MES w problemach analiz konstrukcji o znanym kształcie. W tej chwili jedynym ograniczeniem jest tylko to, że kształtowane mogą być bryły cienkościenne zbudowane z elementów płaskich. Wynika ono z dysponowanych rozwiązań bibliotecznych, którymi pakiet operuje.

Aby już teraz – i możliwie krótko – zasygnalizować w sposób dogodny dla inżyniera charakterystyczne zadania, jakie są w ramach tej wersji metody podejmowane, odwołamy się do ilustracji średnio skomplikowanego przykładu pokazanego na rysunku 1.2.

Zespół danych obejmował tu jedynie własności materiału poszukiwanej konstrukcji oraz warunki brzegowe (rys. 1.2a): przyłożone do brzegów obciążenia naprężeniami \mathbf{p} (tutaj redukujące się do dwóch par sił przyłożonych w skrajnych przeponach) i geometrię brzegów danych (wymiary: L , h , e , δ).

Poprzez znalezienie statycznie dopuszczalnego, nieciągłego i granicznego pola naprężenia, które te warunki spełnia (rys. 1.2b) oraz utożsamienie jego konturów z konturami poszukiwanej konstrukcji (rys. 1.2c), została ona określona w sposób kompletny: wyznaczono jej przybliżony kształt i wymiary, wskazano miejsca, gdzie należy położyć spoiny, a przede wszystkim rozmieszczenie i połączenia jej elementów składowych w przestrzeni.



Rys. 1.2

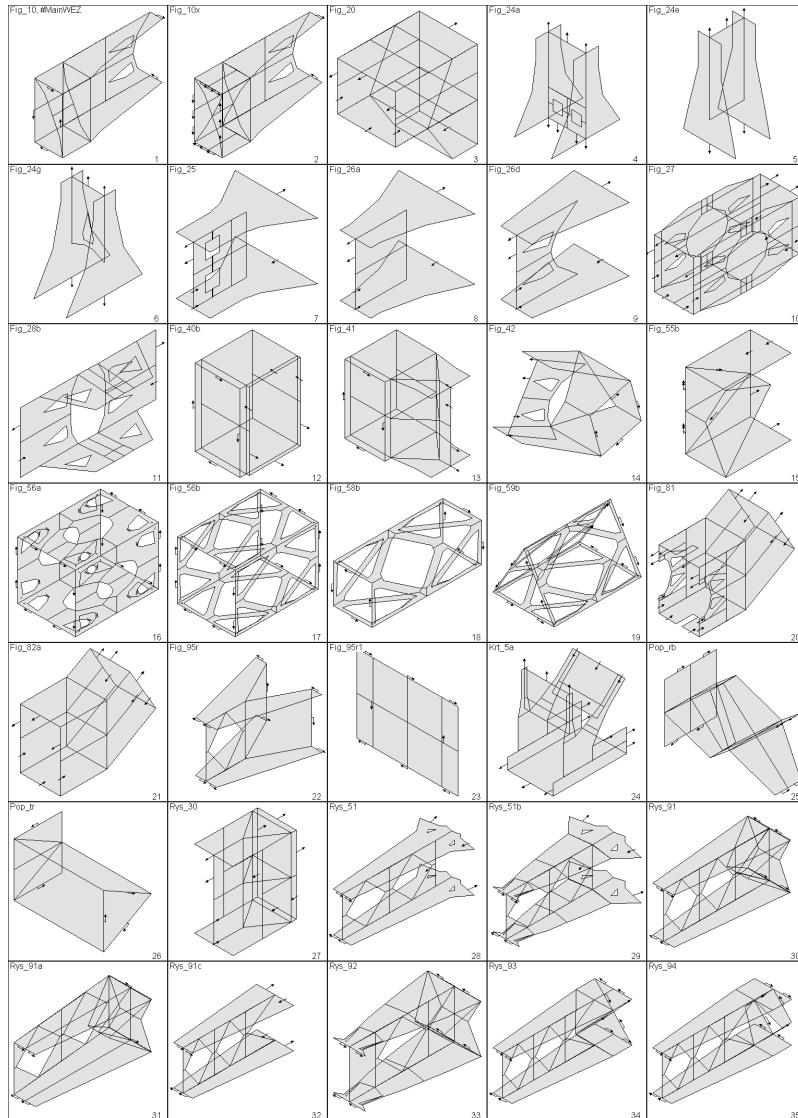
Przykład kształtowania konstrukcji przy pomocy wersji aplikacyjnej metody SADF [5]

a) poglądowa ilustracja sformułowania zadania; b) statycznie dopuszczalne pole naprężenia, spełniające warunki brzegowe z rysunku a); c) kontury pola utożsamiane z brzegami poszukiwanej powłoki

Przy takim rozmieszczeniu, jakie uzyskano, wszystkie powierzchnie są z zewnątrz dostępne, a mimo to otrzymana powłoka jest bardzo wytrzymała na przyłożone obciążenie. Gdyby odjąć z całości którykolwiek element lub uniemożliwić mu przenoszenie obciążeń, jakie z pola wynikają (np. przez niepołączenie elementów spoinami w miejscach, gdzie pole wykazuje niezerowe oddziaływania), poziom naprężeń w tej powłoce może się bardzo zwiększyć, jak już wspomniano, nawet kilkanaście razy.

Należy podkreślić, że pokazane rozwiązanie otrzymano posługując się wspomnianą wersją aplikacyjną metody, a korzystając ze swobody, jaką daje zakładane kryterium wyrównanego wyciężenia w stanie granicznym, można tu było przyjąć z góry, iż poszukiwane pole ma się realizować w konstrukcji bazującej na popularnej formie ceownika.

Przy pomocy oprogramowania wersji aplikacyjnej metody SADSf udało się już otrzymać wiele oryginalnych rozwiązań o podobnym lub większym stopniu złożoności. Jest ich kilkadziesiąt, a może kilkaset, gdy wliczać warianty. Pewien fragment tej różnorodności pokazuje zbiór miniaturowych rysunków (rys. 1.3), który jest kopią jednego z serii obrazów edytowanych na ekranie monitora podczas przeglądania rozwiązań o średniej złożoności z wykorzystaniem pakietu SADSFaM.



Rys. 1.3

Fragment zbioru rozwiązań o średnim stopniu złożoności, otrzymanych przy pomocy pakietu SADSFaM

Obszerny już materiał doświadczalny, ukazujący własności ukształtowanych tą metodą konstrukcji, nie jest w książce omawiany. Obejmuje on ponad 50 publikacji i będzie mu poświęcone osobne opracowanie. Pośród nich na szczególną uwagę zasługują wyniki I. MARKIEWICZA [22], który wykonał badania numeryczne i doświadczalne kilkudziesięciu ukształtowanych konstrukcji cienkościennych, a więc badania pozwalające już na wnioski generalne o ich dobrym lub bardzo dobrym poziomie jakościowym.

Okazało się m.in., że poza spodziewanym przejmowaniem przez nie obciążeń nieco powyżej zakładanej nośności, a po osiągnięciu wartości granicznej – niemal modelowym plastycznym płynięciem prawie całej objętości (i dyssypacją energii zniszczenia zbliżoną do maksymalnej), we wszystkich badanych przypadkach stwierdzano dobre wyrównanie wyężenia również w zakresie sprężystym i co najmniej kilkudziesięciokrotne zwiększenie trwałości zmęczeniowej w stosunku do konstrukcji projektowanych sposobami intuicyjnymi. O możliwym, kilkunastokrotnym wzroście wytrzymałości statycznej już wspomniano.

Ukształtowane konstrukcje można więc od razu akceptować lub dalej poprawiać.

Zakres sprężysty jednak, podobnie jak zakres sprężysto-plastyczny, problemy zniszczenia związane np. z utratą stateczności, zmęczeniem itd., nie są w ramach metody w ogóle analizowane. Dlatego jako główne miejsce jej aplikacji nadal wskazujemy wstępną fazę projektowania. Tym samym stawiamy metodę jako komplementarną do MES – dostarczającą jej początkowych wymiarów i kształtu, tak aby ponoszone dalej nakłady obliczeniowe dotyczyły konstrukcji o dobrej jakości. Klasyczne użycie MES nie jest w tej fazie w ogóle możliwe, bo konstrukcja nie jest jeszcze określona.

Dygresja

Żeby pokazać choćby na jednym przykładzie własności ukształtowanych konstrukcji, jakie się ujawniają podczas ich pracy w zakresie liniowo-sprężystym, za [22] przedstawimy teraz rozkłady naprężeń zredukowanych w modelu konstrukcji z rysunku 1.2, otrzymane przy pomocy MES. Rozkłady te (rys. 1.4) porównamy następnie z rozkładami określonymi dla modelu w postaci zwykłego ceownika (rys. 1.5), zaprojektowanego bez korzystania z metod, które są w książce omawiane.

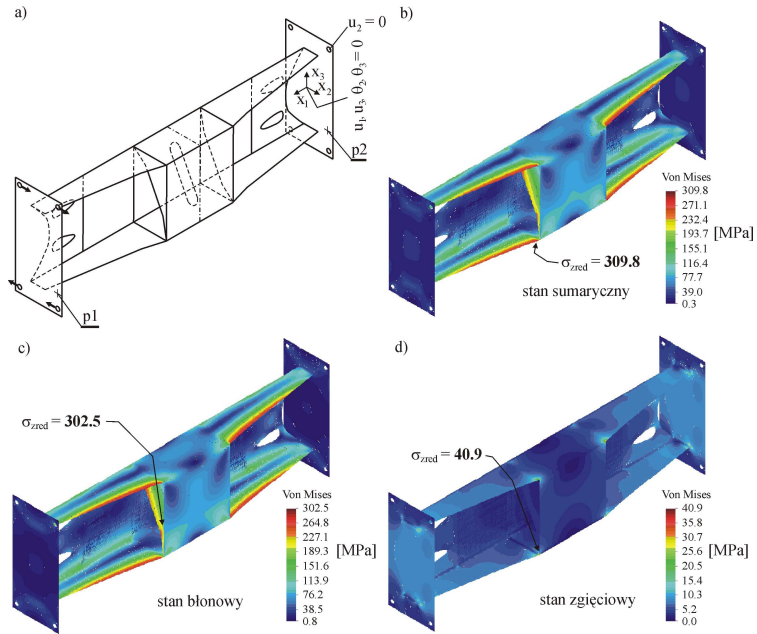
W obliczeniach MES zakładano, że obydwa modele są obciążone momentem skręcającym o wartości równej połowie wartości granicznej określonej dla konstrukcji z rysunku 1.2 oraz, że są one wykonane z materiału, którego granica plastyczności wynosi: $\sigma_{pl} = 300$ MPa.

Przyjmowane podczas analiz warunki brzegowe (takie same w obydwu przypadkach) oraz schematy badanych modeli przedstawiono na rysunkach 1.4a i 1.5a, natomiast na rysunkach b), c), d) podano obliczone dla nich rozkłady naprężeń zredukowanych, określonych według Hubera-Misesa, odpowiednio, dla stanu sumarycznego oraz stanów składowych: błonowego i zgięciowego.

Kontury modelu z rysunku 1.4a prawie dokładnie odpowiadały otrzymanym z rozwiązania zadania kształtowania (rys. 1.2); jedynie w okolicach załomów zostały one wygładzone krzywymi poprowadzonymi na zewnątrz brzegów wyjściowych, aby nie zmniejszać założonej nośności granicznej. W konstrukcji modelu zwykłego ceownika (1.5a) założono natomiast, że grubości jego pólki i średnika są identyczne jak w modelu z rysunku 1.4a, zaś szerokość pólki przyjęto jako stałą i równą największej szerokości pólki tego modelu. Wymagało to niewielkiego powiększenia szerokości przepon p_1 i p_2 .

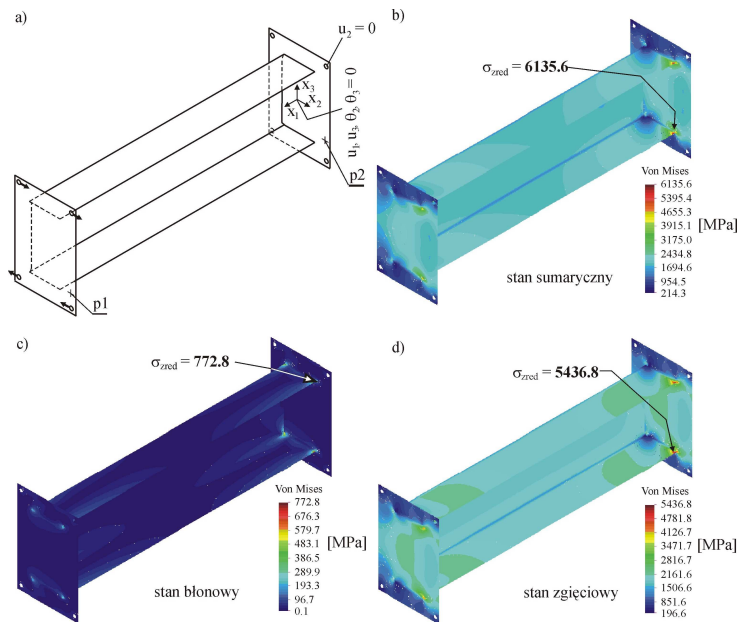
W przypadku rozwiązania z rysunku 1.4 widoczne jest m.in., że:

- przyłożone obciążenie jest przez tę konstrukcję przenoszone z dominacją stanu błonowego, co oznacza dobre wykorzystanie własności nośnych użytego materiału; stwierdzamy tu na przykład, że:



Rys. 1.4

Wyniki analiz MES dla modelu ukształtowanej konstrukcji z rysunku 1.2



Rys. 1.5

Wyniki analiz MES dla modelu konstrukcji w postaci zwykłego ceownika

- największe naprężenia zredukowane dla tego stanu są ponad *siedmiokrotnie* większe od analogicznych, ale odnotowanych dla stanu zgięciowego ($302,5/40,9 \approx 7,4$);
- naprężenie zredukowane od stanu zgięciowego przyjmuje nieznaczne wartości i jedynie lokalnie osiąga ~ 40 MPa;
- rozkład sumarycznego naprężenia zredukowanego jest prawie identyczny jak rozkład od stanu błonowego.
- sumaryczne naprężenie zredukowane wykazuje dobre wyrównanie wzdłuż brzegów swobodnych półek;
- największe sumaryczne naprężenia zredukowane w półkach i elemencie ukośnym są prawie identyczne ($\sim 309,8$ w półkach i $\sim 303,3$ w elemencie ukośnym); poziom tych naprężeń świadczy o stosunkowo niskich koncentracjach naprężenia.

Z kolei dla przypadku analiz zwykłego ceownika (rys. 1.5), w którym nawet struktura nie została dobrana do obciążenia, stwierdzamy że:

- przyłożone obciążenie jest przenoszone z dominacją stanu zgięciowego; tutaj widoczne jest m.in., że:
 - największe naprężenie zredukowane od stanu zgięciowego jest około *siedmiokrotnie* większe od największego naprężenia w stanie błonowym ($5436,8/772,8 \approx 7$); naprężenie zredukowane od stanu błonowego jest niewielkie i jedynie lokalnie osiąga wartości dochodzące do $\sim 772,8$ MPa;
 - rozkład sumarycznego naprężenia zredukowanego jest prawie identyczny jak rozkład od stanu zgięciowego;
- największe sumaryczne naprężenie zredukowane jest prawie *dwudziestokrotnie* większe od analogicznego naprężenia w konstrukcji ukształtowanej ($6135,6/309,8 \approx 19,8$); i tylokrotnie należałoby zmniejszyć obciążenie rozważanego modelu, aby otrzymać w nim poziom wyteżenia, jaki występuje w konstrukcji ukształtowanej.

Należy zaznaczyć, że wybór pokazanego przykładu obliczeń MES został dokonany głównie dlatego, by pozostać przy omówionej już konstrukcji z rysunku 1.2. Tak założono, mimo że jej przypadek jest jednym z gorzej ilustrujących własności, jakie wykazują ukształtowane konstrukcje w stadium pracy sprężystej. Wynika to z faktu, że większość jej elementów płaskich jest zginana w swoich płaszczyznach (por. rys. 6.31). W zakresie sprężystym wywołuje to tendencję do wykształcania się osi zginania. Nie ma w niej zatem (jak w wielu innych (por. [22])) obszarów niezłe wyrównanego wyteżenia; są tylko izolynie $\sigma_{\text{tez}} = \text{const}$ prawie równoległe do brzegów swobodnych. Efekty uzyskiwanych zmian własności nośnych są jednak dobrze widoczne.

1.4. Cel i zakres opracowania

Do tej pory ukazało się kilkaset publikacji oraz siedem monografii książkowych, w części lub w całości poświęconych metodzie SADSF, w tym jedna w języku angielskim [29]. Ostatnia z nich [5] została wydana w 2005 roku i jako pierwsza przedstawiała matematycznie kompletne podstawy metody, realizujące je algorytmy oraz atrakcyjne zastosowania. Ta książka do niej nawiązuje.

Od tego czasu udało się podjąć kilka nowych idei charakterystycznych dla zagadnień podstawowych metody, rozbudować bibliotekę gotowych rozwiązań szczególnych (w których ukryte są zadania z nieznaną dyskretyzacją) oraz znaleźć wiele oryginalnych rozwiązań pól złożonych, także skomplikowanych.

Jest to obszerny materiał badawczy, jednak autor zdecydował się na inną niż dotąd koncepcję jego opracowania. W tej chwili bardziej potrzebna niż monografia wydaje się być pozycja adresowana bezpośrednio do inżynierów zwłaszcza, że osiągnięty stan oprogramowania i innych ułatwień wykorzystania metody na to pozwala.

Książka jest więc poświęcona wyłącznie zastosowaniom, w tym współczesnej, w pełni oprogramowanej, wersji aplikacyjnej metody SADSf. Jej głównym celem jest pokazanie, jak łatwa jest ona w użyciu, chociaż może rozwiązywać nawet przestrzenne zadania z nieznanym rozmieszczeniem materiału, i że taką pozostaje również w przypadkach konstrukcji złożonych, które inżynier spotyka w praktyce.

Dlatego omówienia zagadnień podstawowych, które przedstawiono w rozdziale 2, ograniczono do minimum niezbędnego tylko do rozumienia wersji aplikacyjnej.

Spośród zależności matematycznych pozostawiono jedynie najprostsze równania równowagi oraz transformacje układów współrzędnych, które są potrzebne do opisu rozmieszczenia pól biblioteczných w przestrzeni.

Obszernie omówiono natomiast projektowanie struktur brył cienkościennych, które jest kluczowe do rozumienia pracy rozważanej klasy konstrukcji, a równocześnie jest jeszcze prostsze od wersji aplikacyjnej metody SADSf. Przedstawiono je w rozdziale 3. Pozwala ono ujmować najważniejszą dla brył cienkościennych relację: *obciążenie–struktura*. Przez strukturę rozumie się zbiór parametrów, które opisują liczbę, rozmieszczenie oraz system połączeń elementów składowych takich brył, w odróżnieniu od zbioru parametrów geometrycznych, które mają dużo mniejszy wpływ na ich sztywność oraz wytrzymałość.

Należy mocno zaznaczyć, że analogicznie na zmiany struktury reagują konstrukcje zbudowane z profili cienkościennych. Są one w istocie powłokami walcowymi (walce, których kierownice mają postać łamanych) i tylko stosowanie do ich analiz co najmniej modelu powłokowego prowadzi do poprawnych wyników.

Okazuje się, że projektowanie struktur nie wymaga znajomości rzeczywistego pola naprężeń i deformacji, ani nawet pola statycznie dopuszczalnego, a w przypadku brył cienkościennych zbudowanych z elementów płaskich, tylko badania istnienia stanów równowagi błonowej całkowych oddziaływań na elementy przy danych konkretnie obciążeniach brzegowych.

Zadania kształtowania brył cienkościennych przy pomocy współczesnej wersji aplikacyjnej metody SADSf przedstawiono w rozdziałach 5 ÷ 7. Pokazane tam rozwiązania zostały otrzymane korzystając ze wspomnianego już pakietu SADSfAM. Mimo dużego znaczenia, jakie ma ten pakiet dla powstania książki, nie jest on omawiany. Koncentrujemy się głównie na przekazaniu treści merytorycznych uważając, że szczegóły związane z wykorzystaniem ułatwień, jakie wnosi oprogramowanie, mogłyby rozpraszać uwagę czytelnika.

Autor starał się tak dobrać przykłady, by nie tylko ilustrowały wersję aplikacyjną metody, ale były ciekawe konstrukcyjnie i czasem zaskakiwały odmiennością wniosków od uzyskiwanych w ramach teorii uproszczonych (np. Własowa). Dlatego przedstawiono między innymi całą serię konstrukcji belek cienkościennych o powierzchniach otwartych, a mimo to bardzo sztywnych i wytrzymałych na skręcanie.

Duża liczba przytoczonych przykładów ma służyć przede wszystkim sprawnemu posługiwaniu się metodą. Jednak w skrajnym przypadku mogą być one potraktowane nawet jako zbiór rozwiązań gotowych do wykorzystania, z których można wybrać potrzebne do rozwiązania konkretnych zadań praktycznych. Naturalnie, jeśli otrzymane kontury wydają się zbyt skomplikowane, to można je upraszczać. Żeby nie zmniejszyć zakładanej

nośności granicznej należy to czynić przez dodawanie materiału na zewnątrz konturów otrzymanych z rozwiązania.

Z kolei, jeśli wykorzystywane będą choćby analizy statyczne, to powstawać będą przynajmniej konstrukcje bez błędów zasadniczych.

Sporo uwagi poświęcono także kształtowaniu ustrojów bardzo złożonych, które zostały pokazane głównie na przykładach konstrukcji nawiązujących do ram nośnych samochodów ciężarowych, obciążonych momentem skręcającym (rozdział 7). Są tu najpierw konstrukcje klasyczne, ze zginanymi podłużnicami i skręcanymi poprzeczkami. Podczas rozwiązywania zadań kształtowania okazało się jednak, że tak być nie musi i można skonstruować nawet takie skręcane globalnie ramy, których żaden element skręcany nie jest; wszystkie ich belki poprzeczne (traktowane jako powłoki) są zginane.

Pokazano również przykłady kształtowania kratownic płaskich i przestrzennych.

W omówieniach przykładów założono, że głównym sposobem przekazywania treści są rysunki i ich krótkie opisy. Okazało się, że natrafia się wtedy na bariery techniczne, związane z pracochłonnością, które udało się pokonać tylko częściowo. Do przedstawienia wersji aplikacyjnej metody SADSf muszą to być rysunki jeszcze trudniejsze niż w monografii [5]. Tam zamieszczone (por. rys. 1.2) dobrze ilustrują kształt, wymiary oraz zewnętrzne obciążenia, ale – w przypadkach bardziej złożonych – nie można z nich odczytać, jak konkretne pola zostały zbudowane. Konieczne są jeszcze co najmniej rysunki (por. np. rys. 4.2), które pokażą, jakie jest przestrzenne rozmieszczenie składowych pól bibliotecznych i ich wzajemne oddziaływanie, co umożliwi ich identyfikację oraz sprawne ogarnięcie istotnych szczegółów bez żmudnego studiowania opisów. Są to rysunki skomplikowane, ale nadal pozostają proste koncepcyjnie. Chodzi o to, by inżynier sam tę prostotę zobaczył na realnych przykładach; bowiem tylko przykłady, mające znaczenie praktyczne, są w stanie przekonać do poznania metody i jej stosowania.

Z powodu trudności z rysunkami autor zrezygnował z zamiaru przedstawiania podjętych zadań tylko na przykładach nowych, pokazywanych po raz pierwszy. Potrzebne było sięgnięcie także po rozwiązania z wcześniejszych publikacji, ale wyłącznie własne, także z monografii [5], do których część rysunków była już wykonana przy pomocy edytorów graficznych.

A jednak, mimo przyjętych ułatwień, nakład pracy, niezbędny do przygotowania książki, wciąż pozostawał wielki. Programistyczny także, bo pakiet SADSfAM ma dziś kilkadziesiąt tysięcy linii kodu źródłowego. Tej żmudnej pracy nie sposób było jednak nie podjąć mając na drugiej szali wyjątkowe własności współczesnej wersji aplikacyjnej metody SADSf oraz unikatowe możliwości jej praktycznych zastosowań, na które środowisko inżynierów długo oczekiwało, i które przez kilkadziesiąt lat były spoiwem dla pracy renomowanych zespołów badawczych (por. zestawienie literatury) w kraju i za granicą.

Z książki, oprócz konstruktorów, mogą korzystać również studenci wyższych lat wydziałów mechanicznych i budowlanych politechnik. Jest to chyba jedyna pozycja w literaturze, która dotyczy metod inżynierskich, właściwych wstępnej fazie projektowania brył cienkościennych, a równocześnie metod dobrze uzasadnionych w podstawowych twierdzeniach mechaniki i wyposażonych w sprawne oprogramowanie.