

Nowe rozwiązania zadania projektowania skręcanych konstrukcji cienkościennych otrzymane metodą SADSF

Ireneusz Markiewicz

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Mechaniki
ireneusz.markiewicz@tu.kielce.pl

Streszczenie. Praca przedstawia serię nowych rozwiązań konstrukcji cienkościennych, które zaprojektowano z wykorzystaniem aplikacyjnej wersji metody statycznie dopuszczalnych, nieciągłych pól naprężeń (SADSF) przy założeniu warunku wyrównanego wyteżenia w stanie granicznym.

Konstrukcje te bazują na profilu ceowym, są zbudowane z elementów płaskich i przeznaczone do przenoszenia obciążenia momentem skręcającym. W wyniku projektowania otrzymano przestrzenne rozmieszczenie i systemy połączeń ich elementów składowych, a także kształt i wymiary tych elementów.

Zaprojektowane konstrukcje mają dobre własności nośne w zakresie sprężystym, mogą być one nawet kilkanaście razy lepsze od własności ustrojów projektowanych sposobami tradycyjnymi czy intuicyjnymi.

SFORMUŁOWANIE I ROZWIĄZANIA ZADANIA PROJEKTOWANIA

Praca przedstawia trzy nowe i oryginalne rozwiązania zadania wstępnego wytrzymałościowego projektowania skręcanych konstrukcji cienkościennych, które bazują na profilu ceownika. Wykorzystano do ich otrzymania metodę statycznie dopuszczalnych nieciągłych pól naprężeń (ang. SADSF, [1,2]) rozwiązując zadanie, którego sformułowanie przedstawiono poglądowo na rys.1a. Danymi były jedynie granica plastyczności (σ_Y) materiału poszukiwanej konstrukcji oraz warunki brzegowe (rys. 1a): obciążenie graniczne siłami P przyłożonymi do brzegów S_p (redukują się one do momentów skręcających $M_Y=Ph$) i geometria tych brzegów (wymiar: e, L, h).

Warto zauważyć, że tak sformułowane zadania spotykane są we wstępnym etapie projektowania każdej nowej konstrukcji. W etapie tym – w przypadku ustrojów cienkościennych – rozstrzygają się zasadnicze własności nośne.

W ramach metody SADSF poszukuje się statycznie dopuszczalnego, nieciągłego i granicznego pola naprężeń, które - na podstawie wniosków z twierdzenia o dolnej ocenie nośności granicznej - utożsamia się z projektowaną konstrukcją.

Zakłada się przy tym, że budowane pola przestrzenne składają się z fragmentów pól płaskich, a linie nieciągłości naprężeń są odcinkami prostych co powoduje, że stany naprężenia w każdym obszarze są jednorodne.

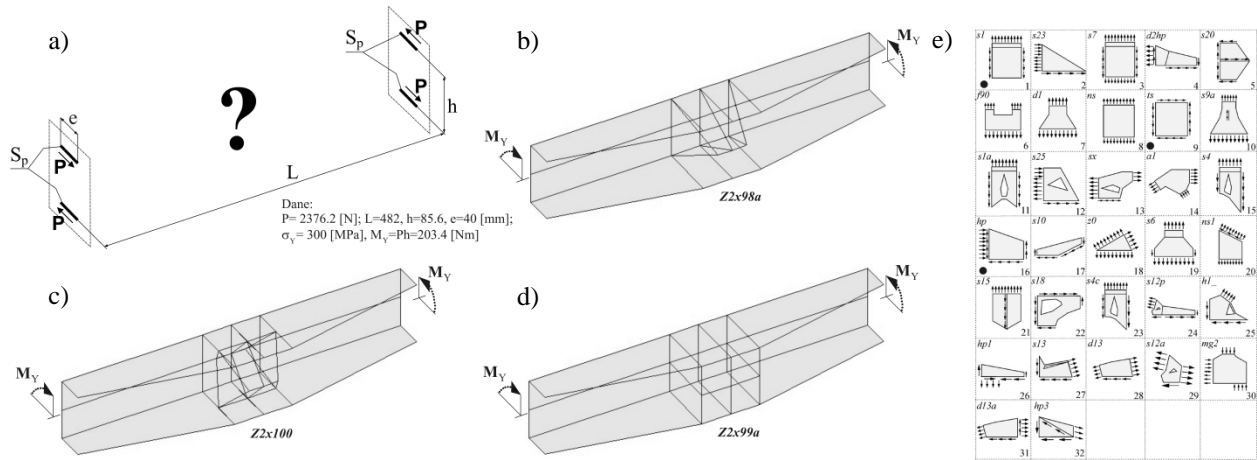
Podejmowanie bezpośredniego konstruowania i rozwiązywania takich pól prowadzi do bardzo trudnych problemów z nieznaną dyskretyzacją, nieliniowych i zawierających osobliwości [1]. Dla podziałów zakładanych dowolnie rozwiązania na ogół nie istnieją [1].

Trudności te są omijane w ramach, konstruowanej specjalnie dla inżynierów, aplikacyjnej wersji metody SADSF [1,2]. Polega ona na łączeniu, z zachowaniem danych warunków brzegowych i równań równowagi, gotowych rozwiązań bibliotecznych, które są dostarczane projektantowi wraz z oprogramowaniem.

W pracy wykorzystano najbardziej dziś zaawansowany pakiet SADSFaM [2], który jest ukierunkowany na projektowanie konstrukcji cienkościennych i pozwala na projektowanie nawet bardzo złożonych ustrojów tej klasy. Pakiet wykorzystuje warunek plastyczności Treski. Pola biblioteczne tego pakietu, bez naniesionych linii nieciągłości naprężeń, przedstawiono na rys.1c.

Przyjęte kryterium projektowania - warunek wyrównanego wyteżenia w stanie granicznym - prowadzi do rozwiązań niejednoznacznych. Na rys.1b-d pokazano trzy wybrane rozwiązania postawionego zadania. Zostały one otrzymane poprzez połączenie w odmiennych układach jedynie trzech pól bibliotecznych, które oznaczono na rys. 1c kropkami. Z otrzymanych rozwiązań można wybierać te, które spełniają dodatkowe kryteria związane na

przykład z kosztami wykonania czy wytrzymałością. Ta wielość możliwych rozwiązań jest więc korzystna z praktycznego punktu widzenia.



RYSUNEK 1. Ilustracja sformułowania i rozwiązania zadania projektowania oraz biblioteka pakietu SADSFaM

- a) poglądowe sformułowanie zadania projektowania [2];
 b,c,d) kontury pól statycznie dopuszczalnych, które w pełni definiują poszukiwane konstrukcje;
 e) pola biblioteczne pakietu SADSFaM [2], bez naniesionych linii nieciągłości naprężeń.

Znalezione pola (rys. 1b-d) określają otrzymane konstrukcje w sposób kompletny. Określają nie tylko ich strukturę tj. liczbę, przestrzenne usytuowanie i system wzajemnych połączeń elementów składowych ale także przybliżony kształt i wymiary tych elementów [2]. Oddziaływania pomiędzy polami bibliotecznymi pokazują także miejsca gdzie należy elementy połączyć spoinami.

Tak zaprojektowane konstrukcje przenoszą założone obciążenie z dominacją stanów błonowych i mają dzięki temu dużą sztywność i dobre własności nośne. Gdyby usunąć z nich którykolwiek element lub spoinę to nośność może się zmniejszyć nawet kilkadziesiąt razy. Bowiem rozpatrywana w pracy klasa konstrukcji charakteryzuje się tym, że nawet niewielka zmiana parametrów strukturalnych (detali konstrukcyjnych) czy warunków brzegowych może powodować radykalne zmiany własności wytrzymałościowych (np. [2]). Dlatego z dużą ostrożnością należy do ich projektowania stosować metody wykorzystujące iteracyjne poprawianie, w tym powszechnie obecnie używane metody optymalizacji topologicznej.

Metoda SADSF iteracji nie stosuje, od projektanta wymaga jedynie znajomości statyki i ma możliwość szerokich praktycznych zastosowań.

SPRĘŻYSTE WŁASNOŚCI ZAPROJEKTOWANYCH KONSTRUKCJI

Metoda SADSF dotyczy jedynie stanu granicznego i zakres sprężysty, zwykle eksploatacyjny, nie jest w niej w ogóle ujmowany. Jednak wyniki analiz MES, którym poddano kilkadziesiąt zaprojektowanych konstrukcji cienkościennych [3], pokazały w nich m.in.: zachowywanie małych deformacji i dominację stanów błonowych, stosunkowo dobre wyrównanie wyężenia wzdłuż brzegów swobodnych oraz relatywnie niskie koncentracje naprężenia. Dotychczas przypadku negatywnego nie stwierdzono, a dodatkowo wykazano, że zaprojektowane ustroje mogą mieć własności nośne kilkanaście razy lepsze od własności ustrojów projektowanych sposobami tradycyjnymi lub intuicyjnie.

Takie też własności stwierdzono dla prezentowanych w pracy rozwiązań.

LITERATURA

1. W. Bodaszewski and W. Szczepiński, *Kształtowanie elementów konstrukcji metodą nieciągłych pól naprężeń* (BEL Studio, 2005; PWN, 2006).
2. W. Bodaszewski, *Analizy statyczne i kształtowanie brył cienkościennych* (BEL Studio, 2013).
3. I. Markiewicz, *Badania własności konstrukcji zaprojektowanych metodą SADSF* (MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY M47, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2013).