



Doctoral Thesis

Methode der finiten Elemente und Plastizitätstheorie zur Bemessung von Stahlbetonscheiben

Author(s):

Despot, Zoran

Publication Date:

1995

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001576149> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

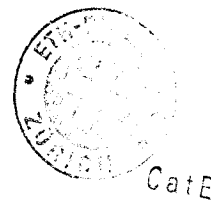
This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**Methode der finiten Elemente und Plastizitätstheorie
zur Bemessung von Stahlbetonscheiben**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Zoran Despot
Dipl. Bauingenieur (Zagreb)
geboren am 12. März 1963
aus Kroatien



Angenommen auf Antrag von :

Prof. Dr. E. Anderheggen, ETH Zürich, Referent
Prof. Dr. N. Bicanic, Univ. of Glasgow, Koreferent
Prof. T. Vogel, ETH Zürich, Koreferent

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine neue Methode zur Bemessung der Bewehrung von Stahlbetonscheiben aufgrund von Tragsicherheitsanforderungen erörtert. Die neue Bemessungsmethode fügt zwei Konzepte auf eine neue Art zusammen : die Methode der finiten Elementen (FEM) und die einfache Plastizitätstheorie.

Nach der Darstellung der Grundlagen der Scheibentheorie und der FE-Modellierung des Tragwerks werden die verwendeten, nach der Free-Formulation Theorie entwickelten dreieckigen und viereckigen Scheibenelemente beschrieben. Um eine bessere numerische Effizienz des Programms zu erzielen, wird zur Lösung des Gleichungssystems das auf dem 'Minimum Degree' Algorithmus basierende direkte Lösungsverfahren angewendet. Anschliessend werden die Grundlagen der einfachen Plastizitätstheorie, wie Theorie des plastischen Potentials, Grenzwertsätze und Einspielsatz in Kürze erläutert.

Die neue Bemessungsmethode basiert auf zwei Grundideen. Die erste besteht darin, die einzelnen finiten Elemente als Bemessungseinheiten zu betrachten, die von ihren Elementknotenkräften belastet werden. Die Fliessbedingung wird dementsprechend nicht für die Elementspannungen sondern für die Elementknotenkräfte aufgestellt. Die Elementknotenkräfte und die Elementspannungszustände werden mit Hilfe von verallgemeinerten integralen Spannungsgrössen in Verbindung gebracht, was die Bildung der linearisierten Fliessbedingung eines finiten Scheibenelementes ermöglicht. Zuletzt wird die Abschätzung der dabei entstandenen Fehler mittels eines neu eingeführten, sogenannten Maschenparameters erörtert.

Die zweite Grundidee besteht in der Anwendung des Einspielsatzes der Plastizitätstheorie für die Optimierung der Bewehrung, was die Entwicklung der neuen elastisch-plastischen Methode zur optimalen Bewehrungsbemessung ermöglicht. Nach der Formulierung der Optimierungsaufgabe und Erläuterungen zur physikalischen Grundlage der neu entwickelten Methode wird der Algorithmus des verwendeten klassischen Simplexverfahrens zur linearen Programmierung dargestellt. Anschliessend wird der Lösungsvorgang erörtert, wobei die Kriterien für die Wahl der fiktiven plastischen Verzerrungen, welche Eigenspannungszuständen verursachen, im Vordergrund stehen. Diese Eigenspannungszustände ermöglichen die Umlagerung der inneren Kräfte und damit eine Reduktion der Bewehrung ohne die Traglast der betrachteten Stahlbetonscheibe zu beeinflussen, was aus dem statischen Grenzwertsatz folgt.

Die Anwendung der neuen Bemessungsmethode ist dann am Beispiel einer Rahmenecke und einer grossen Wandscheibe mit einer Öffnung dargestellt.

Die neue Bemessungsmethode ist in ein speziell dafür entwickeltes interaktives Computerprogramm eingebettet, womit dem projektierenden Ingenieur ein Werkzeug zur Verfügung gestellt wird, welches ihm in enger Zusammenarbeit mit dem Computer eine rationale Gestaltung der Bewehrung von Stahlbetonscheiben ermöglicht.

Abstract

In this work a new design method for reinforced-concrete walls to ensure structural safety against collapse is treated. The new design method brings in a novel way two concepts together : the finite element method and the simple theory of plasticity.

After the presentation of the fundamentals of the theory of plane stress and modelling of structures by FEM the three and four noded finite elements used are presented, which are based on the Free-Formulation theory. In order to achieve better numerical efficiency of the program a special linear solver based on the "minimum degree algorithm" is implemented. Furthermore the fundamentals of the simple theory of plasticity, that is the theory of plastic potential and limit theorems, are briefly explained.

The new design method is based on two ideas. The first one regards the finite element as a dimensioning unit, which is loaded by its element nodal forces. Therefore, the yield condition is established not for the element stresses but for the element nodal forces. The element nodal forces and element stress states are related through the generalised integral stresses, which makes the formulation of the linearised yield condition of the finite element possible. Finally, the estimate of the resulting error is discussed by using a newly introduced mesh parameter.

The second idea consists of using the shakedown theorem of the theory of plasticity for optimisation of reinforcement, which permits the development of the new elasto-plastic method for the optimal plastic reinforcement design. After the formulation of the optimisation problem and the presentation of the physical fundamentals of the new method, the algorithm of the classical simplex method used for the linear programming is presented. Then the solution procedure is discussed, whereby the criteria for choosing fictitious plastic strains, which produce self-equilibrating stress states are emphasized. The self-equilibrating stress states make possible the redistribution of internal forces and thus the reduction of reinforcement weight, which according to the lower bound theorem of the plasticity theory has no effect on the collapse load of the reinforced concrete wall.

The application of the new design method is demonstrated in two examples. They consist of a knee joint and a deep beam with an opening.

The new design method is implemented in a specially developed interactive computer program. This provides a software tool which supports the structural engineer to design the reinforcement of walls in a rational way.