

GRAVIS

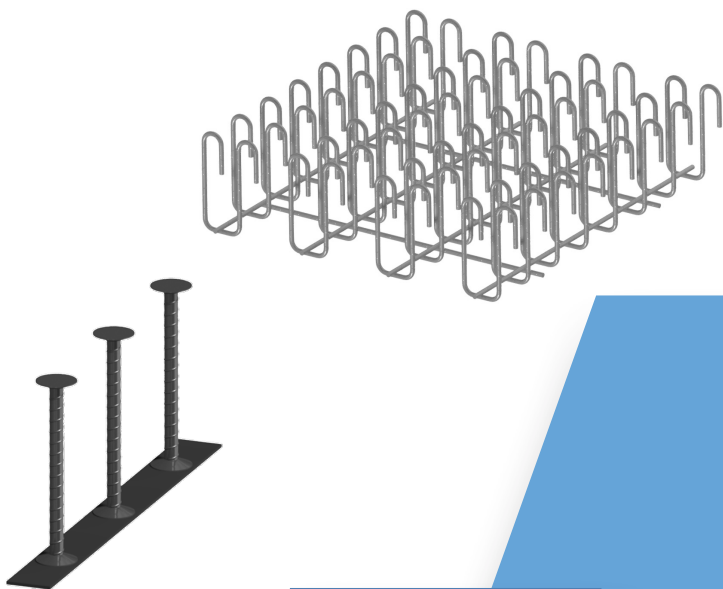
amazing strength

GRAVIS Wissenswelt

Heft 3: Bemessungsansatz GRAVIS

Durchstanzbemessung von
GRAVIDUR PAN
und GRAVIDUR DKA

Prof. Dr. Albin Kenel und Dr. Stefan Lips



Inhalt

Zusammenfassung	3
Bemessungsansatz	3
Konstruktive Durchbildung	5
Validierung	5
Literatur	9

Zusammenfassung

Der Ansatz von GRAVIS für die Durchstanzbemessung enthält einzelne Abweichungen gegenüber der Norm SIA 262:2025 [1]. Diese Abweichungen wurden anhand von Durchstanzversuchen aus der Literatur validiert und bieten ein vergleichbares Sicherheitsniveau wie bei Platten ohne Durchstanzbewehrung. Die Abweichungen betreffen folgende Punkte:

- Der Faktor 2.0 (k_{sys}) in Gleichung (70) der SIA 262:2025 wird in Abhängigkeit des Durchstanzsystems erhöht. Folgende Werte werden verwendet: GRAVIDUR PAN: $k_{sys} = 2.5$, GRAVIDUR DKA: $k_{sys} = 3.0$
- Für die Berechnung des Widerstandsanteils der Durchstanzbewehrung wird der Durchstanzbewehrungsgehalt verwendet.
- Bei GRAVIDUR PAN Bügelkörben wird in der Bemessung die Durchstanzbewehrung innerhalb der Grenzen von 0.25 – 1.0 d_v berücksichtigt.

Bemessungsansatz

Die Bemessung erfolgt grundsätzlich gemäss SIA 262:2025 [1]. Allerdings können aufgrund strengerer konstruktiver Bedingungen und infolge genauerer Kenntnisse der Wirkungsweise der Systeme einzelne Parameter angepasst werden.

Der Nachweis der Betondruckdiagonale wird gemäss der Gleichung (70) der SIA 262:2025 erbracht. Jedoch wird der Faktor 2.0 als k_{sys} definiert.

$$V_{RdCC} = k_{sys} \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

(1)

wobei bei GRAVIDUR PAN $k_{sys} = 2.5$ und bei GRAVIDUR DKA $k_{sys} = 3.0$ ist. Die restlichen Faktoren werden gemäss SIA 262:2025 bestimmt.

Für den Nachweis gegenüber Versagen im Bereich der Durchstanzbewehrung erfolgt in Anlehnung der Gleichung (66) der SIA 262:2025.

$$V_{Rdcs} = V_{Rdc} + V_{Rds}$$

(2)

wobei V_{Rdc} wie bei Platten ohne Durchstanzbewehrung bestimmt wird. Der Anteil der Durchstanzbewehrung ergibt sich aus:

$$V_{Rds} = k_e \cdot A_{sw} \cdot \sigma_{sd}$$

(3)

wobei k_e und σ_{sd} gemäss Gleichung (57) bzw. Gleichung (69) der SIA 262:2025 bestimmt wird.

Die anrechenbare Fläche der Durchstanzbewehrung A_{sw} wird bei GRAVIDUR DKA Doppelkopfanker anhand eines fiktiven Bewehrungsgehaltes bestimmt:

$$A_{sw} = n_r \cdot \eta_{sw} \cdot A_{sw,i}$$

(4)

wobei n_r die Anzahl Leisten und $A_{sw,i}$ die Querschnittsfläche eines Ankers ist.

Der Wert η_{sw} berücksichtigt die anteilmässige Kraftverteilung der ersten und zweiten Ankerreihe und ist definiert als:

$$\eta_{sw} = \frac{d_v}{s_0 + s_1/2}$$

(5)

wobei s_0 der Ankerabstand zwischen der Auflagerkante und der ersten Ankerreihe, s_1 der Abstand zwischen den Ankerreihen und d_v die Schubwirksame statische Höhe ist.

Dieses Vorgehen ergibt gegenüber der Norm SIA 262:2025 in der Regel etwas konservativere Tragwiderstände. Jedoch erlaubt dies einen grösseren Toleranzbereich beim Einbau der Ankerleisten.

Bei GRAVIDUR PAN Bügelkörben wird die anrechenbare Fläche der Durchstanzbewehrung A_{sw} anhand des Bewehrungsgehaltes bestimmt.

$$A_{sw} = \rho_{sw} \cdot A_c$$

(6)

wobei ρ_w der Durchstanzbewehrungsgehalt und A_c die Fläche in Bereich von $0.25d_v$ bis $1.0d_v$ von der Auflagerkante ist. Die Versuchsauswertung zeigt, dass bei Bügelkörben die normativen Grenzen ($0.35d_v$ bis $1.0d_v$) zu sehr konservativen Werten führt. Mit der Anpassung der Grenzen, kann dieser Umstand etwas entschärft werden.

Der Nachweis für das Durchstanzen ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs erfolgt gemäss SIA 262:2025.

$$V_{Rdout} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v,out} \cdot u_{out}$$

(7)

wobei $d_{v,out}$ die Schubwirksame Höhe und u_{out} der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb der Durchstanzbewehrung ist k_r und τ_{cd} werden wie beim Durchstanzen ohne Durchstanzbewehrung bestimmt.

Andere Versagensmechanismen werden durch die konstruktive Durchbildung vermieden.

Konstruktive Durchbildung

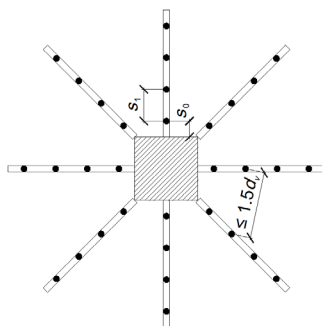
Bei den GRAVIDUR PAN gelten für die in diesem Dokument dargestellten Bemessung keine verschärften Verlegebedingungen. Allgemein ist bei den GRAVIDUR PAN Körben darauf zu achten, dass in jedem Verankerungshaken mindestens ein Bewehrungsstab liegt. Der Abstand zwischen der Auflagerkante und dem ersten Bügel darf maximal die Bügelteilung des entsprechenden Korbes betragen.

Bei den GRAVIDUR DKA gelten für die Anwendung der in diesem Dokument dargestellten Bemessung folgende Bedingungen:

- Der planmässige radiale Abstand zwischen der Auflagerkante und der ersten Reihe der Doppelkopfanker muss $s_o = 0.375 d_v$ betragen.
- Der planmässige radiale Abstand zwischen der Auflagerkante und der zweiten Reihe der Doppelkopfanker ($s_o + s_i$) darf nicht grösser als $1.125 d_v$ sein.
- Die Einbautoleranz für die radiale Distanz zwischen der Auflagerkante und der ersten Reihe der Doppelkopfanker beträgt $\Delta_{stol} = \pm 0.075 d_v$. Somit muss der radiale Abstand zwischen der Auflagerkante und der ersten Reihe der Doppelkopfanker $0.30 d_v \leq s_o \leq 0.45 d_v$ betragen.

Bei der Anwendung von GRAVIDUR PAN und GRAVIDUR DKA mit GRAVIDUR CAP Stahlpilzen gelten ebenfalls die vorgängig genannten konstruktiven Bedingungen. Jedoch ist anstelle der Stützenkante die Achse des Steges des Randprofiles anzusetzen. Vereinfachend kann auch die Randprofilkante auf der Pilzinnenseite angesetzt werden. Falls der erforderte Abstand s_o zu Konflikten der Durchstanzbewehrung mit dem Flansch des Randprofiles führt, darf die Durchstanzbewehrung bündig mit dem Flanschrand verlegt werden.

a)



b)

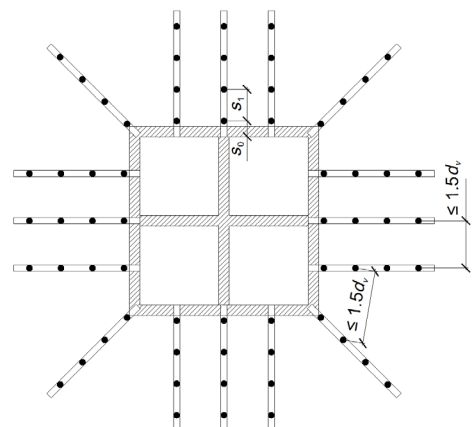


Bild 1: Anordnung der Doppelkopfanker bei 1) der Stütze und b) beim Stahlpilz

Validierung

Zur Validierung wurden 53 Versuche mit Bügelbewehrung und 36 Versuche mit Doppelkopfanker aus der Literatur [4-23] ausgewertet. Die Auswertung erfolgte mit Materialkennwerte auf Mittelwertniveau, charakteristischem Niveau und auf Bemessungsniveau. Dabei wurden die Materialkennwerte folgendermassen bestimmt:

$$\tau_{cm} = 0.3 \cdot \sqrt{f_{cm}}$$

(8)

$$f_{bm} = 2 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3}$$

(9)

$$f_{ck} = f_{cm} - 4 \text{ N/mm}^2$$

(10)

Die Differenz von 4 N/mm² ist strenger als gemäss Gleichung (6) der Norm SIA 262:2025 und ist darin begründet, dass die Streuung bei Laborversuchen kleiner ist als auf der Baustelle [24]. Bei der Auswertung wurden $\eta_{fc} = 1.0$ und $\eta_t = 1.0$ verwendet.

$$\tau_{ck} = 0.3 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (11)$$

$$f_{bk} = 2 \cdot 0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3} \quad (12)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (13)$$

$$\tau_{cd} = 0.3 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} = 0.3 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1.5} \quad (14)$$

$$f_{bd} = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} = \frac{1.4 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{1.5} \quad (15)$$

$$f_{sk} = (f_{sm} - 20 \text{ N/mm}^2) \quad (16)$$

Für Laborversuche – mit Bewehrungsstahl aus einer Charge – beträgt die Differenz zwischen Mittelwert und charakteristischem Wert 20 N/mm² [25].

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{f_{sk}}{1.15} \quad (17)$$

Die angegebenen 5%-Fraktilwerte wurden entsprechend SN EN 1990:2002 [26] unter Annahme einer Normalverteilung mit V_x bekannt bestimmt.

Der Vergleich der experimentellen Tragwiderstände mit den auf Mittelwertniveau berechneten Tragwiderständen (Bild 2) zeigt, dass ein hohes Sicherheitsniveau erreicht wird. Die Mittelwerte sind bei Doppelkopfkankern wie auch bei den Bügeln grösser als 1.0. Die geringen Variationskoeffizienten von 12.6% bzw. 9.9% zeigen zudem, dass die grundlegenden Modellannahmen sehr gut passen.

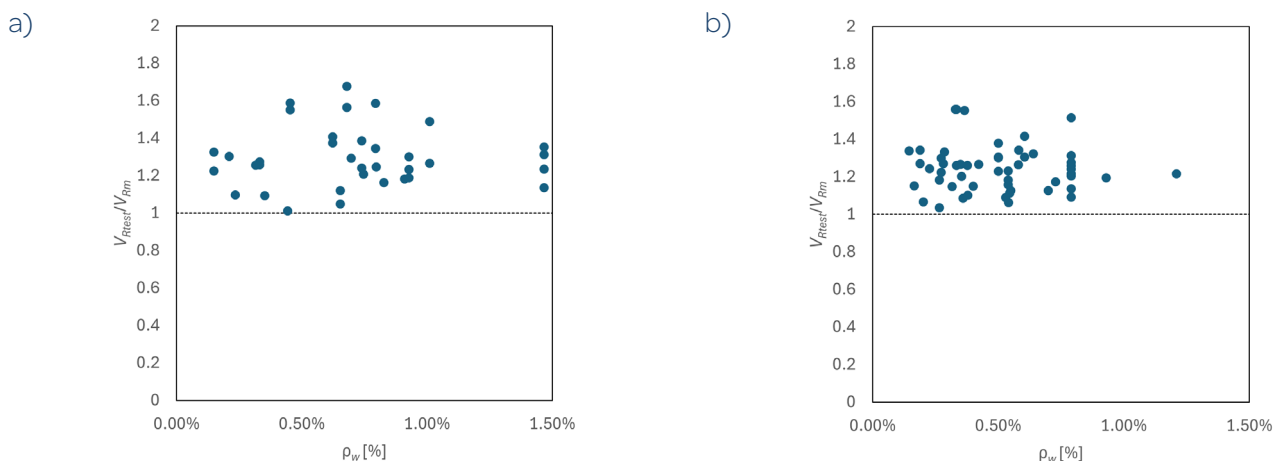


Bild 2: Darstellung des Verhältnisses der experimentellen Tragwiderstände zu den auf Mittelwertniveau berechneten Tragwiderständen; dargestellt in Abhängigkeit des Durchstanzbewehrungsgehalts für a) Doppelkopfkanker und b) Bügel.

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Verhältnisse der experimentellen Tragwiderstände zu den auf Mittelwertniveau berechneten Tragwiderständen.

	Doppelkopfanker	Bügel
#	36	53
Mittelwert	1.30	1.24
Standardabweichung	0.164	0.123
COV	12.6%	9.9%
5%-Fraktilwert	1.03	1.04
Minimalwert	1.01	1.04
Maximalwert	1.68	1.56

Der Vergleich der experimentellen Tragwiderstände mit den auf charakteristischem Niveau berechneten Tragwiderständen (Bild 3) zeigt, dass ein hohes Sicherheitsniveau erreicht wird. Die 5%-Fraktilwerte sind bei Doppelkopfankern wie auch bei den Bügeln grösser als 1.0. Die geringen Variationskoeffizienten von 12.4% bzw. 11.0% zeigen zudem, dass die grundlegenden Modellannahmen sehr gut passen.

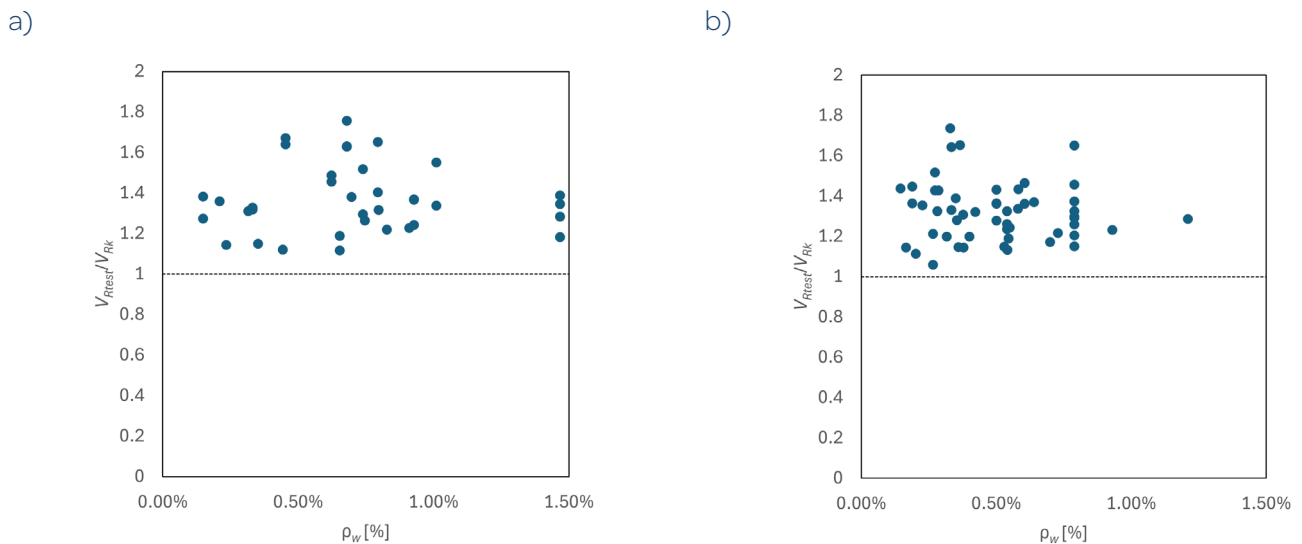


Bild 3: Darstellung des Verhältnisses der experimentellen Tragwiderstände zu den auf charakteristischem Niveau berechneten Tragwiderständen; dargestellt in Abhängigkeit des Durchstanzbewehrungsgehalts für a) Doppelkopfanker und b) Bügel.

Tabelle 2: Statistische Auswertung der Verhältnisse der experimentellen Tragwiderstände zu den auf charakteristischem Niveau berechneten Tragwiderständen.

	Doppelkopfanker	Bügel
#	36	53
Mittelwert	1.37	1.32
Standardabweichung	0.170	0.146
COV	12.4%	11.0%
5%-Fraktilwert	1.09	1.08
Minimalwert	1.12	1.06
Maximalwert	1.76	1.74

Der Vergleich der experimentellen Tragwiderstände mit den auf Bemessungsniveau berechneten Tragwiderständen (Bild 4) zeigt, dass ein hohes Sicherheitsniveau erreicht wird. Die Mittelwerte sind mit 1.79 und 1.71 sehr hoch.

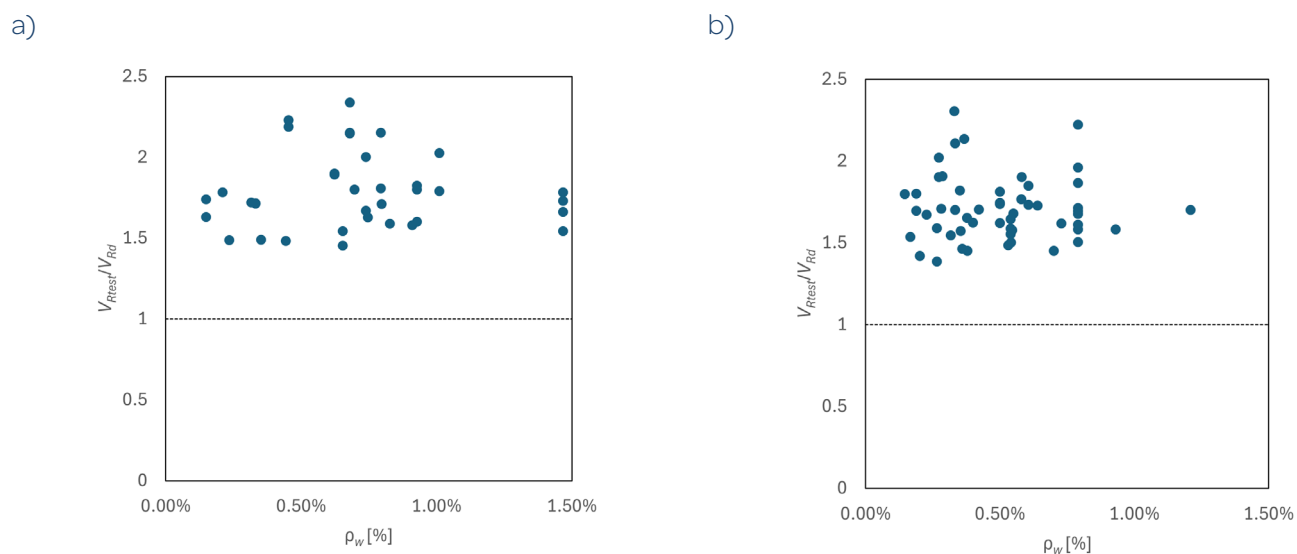


Bild 4: Darstellung des Verhältnisses der experimentellen Tragwiderstände zu den auf Bemessungsniveau berechneten Tragwiderständen; dargestellt in Abhängigkeit des Durchstanzbewehrungsgehalts für a) Doppelkopfanker und b) Bügel.

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Verhältnisse der experimentellen Tragwiderstände zu den auf Bemessungsniveau berechneten Tragwiderständen.

	Doppelkopfanker	Bügel
#	36	53
Mittelwert	1.79	1.71
Standardabweichung	0.233	0.199
COV	13.1%	11.6%
5%-Fraktilwert	1.40	1.38
Minimalwert	1.45	1.39
Maximalwert	2.34	2.31

Diese Versuchsauswertung zeigt, dass mit den vorgängig beschriebenen Angaben ein ausreichendes Sicherheitsniveau, mindestens so hoch wie bei Durchstanzen ohne Durchstanzbewehrung, erreicht werden kann.

Literatur

- [1] SIA 262:2025, Betonbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2025, 116 pp.
- [2] fib Model Code 2020, Model Code for Concrete Structures, Fédération internationale du béton, 2023, 748 pp.
- [3] Siburg, C.; Ricker, M., «Zur Durchstanzbemessung von Einzelfundamenten», Beton- und Stahlbetonbau, V. 108, Heft 9, pp. 641–653.
- [4] Andersson, J. L., Punching of Concrete Slabs with Shear Reinforcement, Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1963.
- [5] Beutel, R., Durchstanzen schubbewehrter Flachdecken im Bereich von Innenstützen, Dissertation, RWTH Aachen, 2003, 267 pp.
- [6] Birkle, G., Punching of Flat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layout, Dissertation, University of Calgary, 2004, 217 pp.
- [7] Chana, P. S., Desai, S. B., Design of shear reinforcement against punching, The Structural Engineering, Vol. 70, 1992, pp. 159-164.
- [8] Chana, P. S., A prefabricated shear reinforcement system for flat slabs, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, Vol. 99, 1993, pp. 345-358.
- [9] Einpaul, J., Brantschen F., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Performance of Punching Shear Reinforcement under Gravity Loading: Influence of Type of Detailing, ACI Structural Journal, V. 113, No. 4, 2016, pp. 827-838.
- [10] Einpaul, J., Punching strength of continuous flat slabs, Thèse N° 6928, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2016, 209 pp.
- [11] Elstner, R. C., Hognestad, E., Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs, ACI Materials Journal, Vol. 53-2, 1956, pp. 29-58.
- [12] Etter, S., Heinzmann, D., Jäger, T., and Marti, P., Versuche zum Durchstanzverhalten von Stahlbetonplatten, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2009, 64 pp.
- [13] Hegger, J., Häusler, F., Ricker, M., Zur maximalen Durchstanztragfähigkeit von Flachdecken, Beton - und Stahlbetonbau, Vol. 102, 2007, pp. 770-777.
- [14] Ladner, M., Untersuchungsbericht Durchstanzversuche an Flachdeckenausschnitten, 1998 38 pp.
- [15] Lips, S., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Experimental Investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs, ACI Structural Journal, V. 109, No. 6, 2012, pp. 889-900.
- [16] Marti, P., Pralong, J., Thürlimann, B., Schubversuche an Stahlbeton-Platten, Institut für Baustatik und Konstruktion, Nr. 7305-2, 1977, 123 pp.
- [17] Marzouk, H. and Jiang, D., Experimental Investigation on Shear Enhancement Types for High-Strength Concrete Plates, ACI Structural Journal, Vol. 94, 1997, pp. 49-58.
- [18] Oliveira, D. R., Melo, G. S., and Regan, P. E., Punching Strengths of Flat Plates with Vertical or Inclined Stirrups, ACI Structural Journal, Vol. 97, 2000 pp. 485-491.
- [19] Regan, P. E. Samadian, F., Shear Reinforcement against punching in reinforced concrete flat slabs, The Structural Engineer, 2001, pp. 24-31.
- [20] Seible, F., Ghali, A., Dilger, W. H., Preassembled shear reinforcing units for flat plates, ACI Journal, Proceedings 77, No. 1, 1980, pp. 28-35.
- [21] Stein, T., Ghali, A., and Dilger, W. H., Distinction between Punching and Flexural Failure Modes of Flat Plates, ACI Structural Journal, Vol. 104, 2007, pp. 357-365.
- [22] Tolf, P., Plattjocklekens inverkan på betongplattors hållfasthet vid genomstansning. Försök med cikulära plattor, Royal Institute of Technology, Dep. of Structural Mechanics and Engineering, Bulletin 146, 1988, 64 pp.
- [23] Vollum, R. L., Abdel-Fattah, T., Eder, M., Elghazouli, A.Y., Design of ACI-type punching shear reinforcement to Eurocode 2, Magazine of Concrete Research, 62-01, 2010, pp. 3-16.
- [24] Reineck, H. H., Kuchma, D. A., Kim, K. S., Marx, S., Shear Database for Reinforced Concrete Members without Shear Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 100, No. 2, March-April 2003, pp. 240-249.
- [25] JCSS Probabilistic Model Code; Part 3: Material Properties, 2020, 41 pp.
- [26] SN EN 1990:2002, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2002, 77 pp.

GRAVIS

amazing strength



GRAVIS AG
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.ch



www.gravis.ch

