



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSTEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**RAUDBETOONPLAATIDE TEOREETILISE
LÄBISURUMISKANDEVÕIME ARVUTAMINE ERINEVATE
ARVUTUSMEETODITEGA NING VÕRDLEMINE
KATSETULEMUSTEGA**

**CALCULATION OF CONCRETE SLABS FOR THEORETICAL
PUNCHING SHEAR RESISTANCE WITH DIFFERENT CALCULATION
METHODS AND COMPARISON WITH TEST RESULTS**

EA 60LT

Üliõpilane: Triin Adamson

Juhendaja: Lektor Johannes Pello

Tallinn, 2017

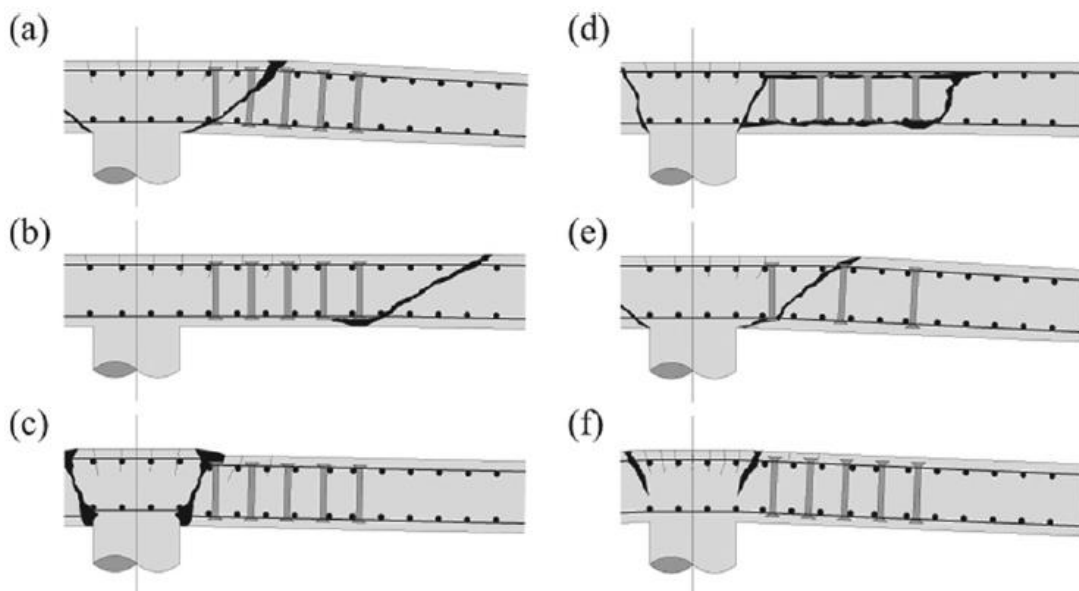
KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli arvutada erinevate armeeringutega raudbetoonplaatide teoreetilised läbisurumiskandevõimed koondatud koormusele, kasutades erinevaid arvutusmeetodeid, ning võrrelda saadud tulemusi omavahel ning katsetulemustega.

Katsetamisel kasutati kaheksanurkse kujuga raudbetoonplaate, mida järk-järguliselt koormati betoonpostiga. Katse vältel mõõdeti plaatidele kinnitatud mõõtekelladega plaadi ja posti vertikaalseid deformatsioone. Katsed peatati pärast plaadi kandevõime kaotuse tuvastamist ning plaadid lõigati keskelt pooleks, et reaalne purunemispilt jäädvustada fotole.

Läbisurumiskandevõimed arvutati antud töös Eurokoodeks 2-e, Model Code 2010 ning ACI318-14 (*American Concrete Institute*) järgi, ning arvutustes kasutati betooni ja armatuurterase tugevusnäitajate keskmisi mõõdetud näitajaid.

Nagu ka antud töös katsetatud plaatide puhul oli näha, siis praktikas esineb valdavalt kolme tüüpi plaadi purunemist läbisurumisel: läbisurumine põikarmatuuriga piirkonnas (skeem 15 (a)), väljaspool põikarmatuuriga piirkonda (skeem 15 (b)) ning vahetult toe (posti) juures (skeem 15 (c)). Plaadi purunemine aga võib toimuda ka korruga nii posti lähedal kui väljaspool põikarmatuuriga piirkonda (skeem 15 (d)), aga ka põikarmatuuri vahelises piirkonnas (skeem 15 (e)). Samuti võib hoopis määravaks saada paindele purunemine (skeem 15 (f)) [3].



Skeem 15. Plaatide võimalikud purunemispildid

Põikarmatuuri lisamine suurendab läbisurumiskandevõimet aga teatud hetkest alates põikjõukandevõime oluliselt enam ei muutu, kuna purunemistüüp muutub (purunemine toimub betooni purunemisega).

Varasemad katsed [2] on näidanud, et ACI peaks andma kõige konservatiivsemad tulemused, sest antud meetod jätab arvutustest välja armeerimisteguri ρ ja plaadi kasuskõrguse mõju.

Model Code 2010 peaks kõige lähedasemad tulemused andma, kuna antud meetod võtab arvesse ka plaadi pöördumisnurka. Koormamisel hakkavad arenema plaadis radiaal- ja tangentsiaalsuunalised praod, mis oluliselt vähendavad plaatide jäikust, misjärel hakkab neid oluliselt mõjutama plaadi armeerimistegur ρ . Madala ρ ja väikese plaadi kasuskõrguse d korral esinevad plaadis suured deformatsioonid. Seetõttu sobib plaadi pöördnurka ψ -d kasutada plaadi deformatsioonide iseloomustamiseks koormamisel. Model Code'i järgi väheneb betooni vastupanu läbisurumisele kaudselt plaadi pöördnurga suurenemisega (kriitilise praod avanemislaiuse suurenemisega). Seepärast peaks Model Code andma ka täpsemad tulemused.

Model Code 2010 arvutusmeetod erineb teistest antud töös käsitlevatest meetoditest ka selle poolest, et arvutustes võetakse arvesse ka betooni täitematerjali suurust. Täitematerjali suuruse mõju läbisurumiskandevõimele võtab arvesse Model Code 2010 põikarmatuurita plaadi läbisurumiskandevõime arvutuses. Valemitest (2.1), (2.7) ja (2.8) saab välja lugeda, et suurema täitematerjali kasutamine annab suurema põikarmatuurita plaadi põikjõukandevõime. Varasemad katsed on näidanud ka, et väiksema täitematerjaliga plaadi läbisurumisel jäävad plaadi deformatsioonid väiksemaks võrreldes suurema täitematerjali kasutamisega [2].

Erinevalt teistest antud töös käsitletavatest meetoditest, hõlgab ACI plaadi kasuskõrguse ja armeerimisteguri mõju plaadi läbisurumiskandevõimele. Kuigi antud töös uuritud plaadid olid üldiselt sama paksusega, siis katsed on näidanud, et läbisurumiskandevõime väheneb plaadi paksuse suurendamisel, ühes sellega vähenevad ka deformatsioonid purunemisel [2].

Kuigi Model Code 2010 kasutab mitut lähendust, siis antud töös saadud tulemuste põhjal võib järeldada, et kolme esimese taseme lähendustega saadud tulemused jäävad sarnaseks, suureneb vaid ajakulu tulemuste saamiseks. Sealjuures saadi peaaegu kõigi lähendustega tulemused tagavara kahjuks, mille selgituseks võib vaid oletada, et piirkond, millel paiknev põikarmatuuri hulk arvutustes arvesse võetakse (0,65 kordse kasuskõrguse laiuses), on liiga optimistlikult valitud.

Kokkuvõtvalt näitasid arvutused, et Eurokoodeksi standardikohane arvutus andis kõige konservatiivsemad tulemused ehk tulemused olid tagavara kasuks enamasti. Model Code 2010-ga seevastu saadi üldiselt suuremad kandevõimed. Antud töö tulemuste põhjal võib öelda, et Eurokoodeks 2-e järgi arvatud põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime piiramine 1,5 kordse põikarmatuurita plaadi kandevõimega on põhjendatud, kuna vastasel korral võib teoreetiline kandevõime olla tagavarakahjuks. Samas ei võimalda arvutuslikule läbisurumiskandevõimele sellise piiri seadmine arvutustes arvesse võtta efektiivsete põik-armeeringutega saavutatavaid kandevõime suurendamisvõimalusi.

SUMMARY OF MASTER'S THESIS

The aim of this Master's thesis was to calculate different concrete slabs for punching shear resistance with different calculation methods and compare the results with each other and test results.

Tests were carried out on octagonal slabs and the load was applied step by step with a concrete column. During the test, slab's and column's vertical deflections were measured with measurement gauges. The application of loads was stopped after the failure of slabs which then were cut by sawing into two halves in order to take photographs of the internal cracking.

The punching strengths in this Master's thesis are calculated with Eurocode 2, Model Code 2010 and ACI 318-14 (American Concrete Institute), and the average measured strengths of concrete and steel were used in calculations.

This work showed that three potential failure modes govern: punching within the shear-reinforced area, punching outside the shear-reinforced zone and failure of the concrete close to the column. Additionally, other failure modes, such as delamination or failure between the transverse reinforcement can occur. Also, the flexural capacity can govern.

Punching strength increases with using shear-reinforcement in a slab, however, at one point the failure mode changes (failure occurs due to the crushing of the concrete).

Previous tests [2] have shown that ACI should give the most conservative results, because the reinforcement ratio ρ and the effective depth of a slab is not taken into account.

In theory, Model Code 2010 should give the most precise results, because the rotation angle of a slab is taken into account. When slab is loaded, radial and tangential cracks start to develop in slab, and slab stiffness reduces. After that, slab stiffness is mostly influenced by the reinforcement ratio ρ . Slabs with low reinforcement ratios and small effective depths have larger deformations. For this reason, slab rotation angle ψ is suitable for describing slab's deformation. In Model Code 2010, concrete capacity to punching is reduced by increasing ψ (increasing the opening of the critical crack). Therefore, this method should give more precise results.

Unlike other methods, Model Code 2010 concrete aggregate size is also taken into account. As seen in formulas (2.1), (2.7) and (2.8), larger aggregate sizes increase the punching shear

resistance of slabs without the shear-reinforcement. Previous tests have also shown that slabs with smaller aggregate sizes have smaller deformations when punching occurs [2].

Although different levels of approximation are used in Model Code 2010, based on the results of this Master's thesis, it can be said that calculations with all three approximations gave similar results. In fact, almost all approximations predicted higher strengths than the punching force was. This could be explained by assuming that the shear-reinforcement area which is taken into account in calculations is chosen too optimistically.

Overall, calculations showed that Eurocode 2 gave the most conservative values for strengths and the strength prediction was mostly safe. However, Model Code 2010 overall gave higher punching strengths which could lead to potentially unsafe slab design. Based on the results of this Master's thesis it can be said that Eurocode 2's standard method of limiting punching shear resistance to 1,5 times the punching shear resistance of a slab without the shear reinforcement is reasonable, otherwise theoretical punching shear strength might be higher than the real punching force. On the other hand, in some cases this limitation might predict significantly lower strengths than the real punching capacity is, when effective shear-reinforcement is used.