

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru

Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie

Admis la susținere:

Șef departament ICG, conf. univ., dr.

_____ A. Taranenco

“ ” _____ 2025

**STUDIUL PRIVIND MODELAREA
PLANȘELOR DIN BETON ARMAT CU
GRINZI SECUNDARE FOLOSIND METODA
ELEMENTELOR FINITE**

Teză de master

Student: _____ Raș Sergiu, IS-2301M

Conducător: _____ Crețu Ion, conf. univ., dr.

Chișinău, 2025

REZUMAT

Raș, Sergiu. Studiu privind modelarea planșelor din beton armat cu grinzi secundare folosind metoda elementelor finite.

Studiul dat face referire la analiza de calcul a planșelor din beton armat cu grinzi secundare prin metoda elementelor finite cu ajutorul pachetului de calcul SCAD. Se mai include și calculul static a unei fâșii a plăcii de planșeu a unei grinzi secundare și una principală prin metoda analitică. Teza dată include modelarea în softul de calcul SCAD a 4 structuri de planșeu cu amplasarea elementelor finite dezaxate în 3 modele și unul standard cu amplasarea elementelor finite pe aceeași axă.

Analiza rezultatelor obținute prin metoda elementelor finite și compararea rezultatelor obținute aceluiași elemente (placă, grindă secundară, grindă principală) prin metoda analitică. Teza dată conține și calculul efectuat prin metoda elementelor finite cu includerea și folosirea în îmbinările nodurilor dintre elementele finite dezaxate, a instrumentului “element absolut rigid”, cu studierea datelor obținute și analiza comportării structurilor. Includerea tabelară a rezultatelor și raportate procentual.

Prima diferență va face referință dintre rezultatele obținute prin metoda analitică față de rezultatele metodei analitice. A doua diferență va compara rezultatele celor patru structuri de planșeu modelate în pachetul de calcul SCAD între ele, cu referință la primul model structural cu amplasarea elementelor finite pe aceeași axă.

Lucrarea conține, introducere, 4 capitole, concluzii, bibliografie și 2 anexe. Lucrarea conține 68 pagini (fără anexă), 48 figuri și 16 tabele. Bibliografia constă din 14 surse de referință. Teza cuprinde 2 anexe. Anexa A conține 1 pagină, cu 2 tabele. Anexa B conține 11 pagini și 20 figuri. În cadrul anexei sunt reprezentate tabele pentru determinarea unor coeficienți și figuri cu coloane numerice privind rezultatul studiului.

Cuvinte-cheie: element finit tip bară, placă de planșeu tip shell, grinzi principale, grinzi secundare, element absolut rigid.

SUMMARY

Raş, Sergiu. Study on Modeling Reinforced Concrete Slabs with Secondary Beams Using the Finite Element Method

This study focuses on the structural analysis of reinforced concrete slabs with secondary beams using the finite element method, carried out through the SCAD software package. It also includes the static calculation of a slab strip corresponding to both a secondary beam and a primary beam using the analytical method. The thesis involves modeling four slab structures in the SCAD software: three models with offset finite elements and one standard model with finite elements placed on

The analysis compares the results obtained through the finite element method with those obtained for the same structural elements (slab, secondary beam, primary beam) using the analytical method. The thesis also includes finite element calculations incorporating the use of the "rigid link element" tool to model the connections between offset finite elements, followed by an evaluation of the data obtained and an analysis of the structural behavior.

The results are presented in tables and expressed as percentages. The first difference highlighted refers to the comparison between the results obtained using the analytical method and those from the finite element method. The second difference compares the results of the four slab structures modeled in the SCAD software, with reference to the first structural model where finite elements are aligned on the same axis.

The thesis includes an introduction, four chapters, conclusions, a bibliography, and two appendices. It comprises 68 pages (excluding appendices), 48 figures, and 16 tables. The bibliography consists of 14 reference sources. The thesis includes two appendices: Appendix A, containing one page with two tables, and Appendix B, comprising 11 pages and 20 figures. The appendices feature tables for determining certain coefficients and figures with numerical columns presenting the study results.

Keywords: beam-type finite element, shell-type slab, primary beams, secondary beams, rigid link element.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1. ANALIZA METODELOR DE CALCUL ȘI MODELAREA PLĂCILOR DE PLANȘEU CU GRINZI SECUNDARE ÎN PACHETUL DE CALCUL SCAD	9
1.1. Instrucțiuni de modelare din punct de vedere a dezvoltatorilor pachetului de calcul SCAD. Utilizarea infinită a elementelor rigide.	13
2. DATE INIȚIALE STRUCTURĂ PLACĂ DE PLANȘEU DIN BETON ARMAT CU GRINZI SECUNDARE. METODE DE CALCUL.....	17
2.1. Descrierea modelelor de calcul a planșeului de beton armat cu grinzi secundare. Determinarea schemei de calcul, secțiunile elementelor și a acțiunilor.	17
3. METODA ANALITICĂ. CALCULUL ELEMENTELOR. (PLĂCĂ DE PLANȘEU, GRINDĂ SECUNDARĂ ȘI GRINDĂ PRINCIPALĂ).....	23
3.1. Placa de planșeu. Determinarea încărcărilor, acțiunilor, momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare.....	23
3.2. Calculul la rezistență a secțiunii plăcii.....	24
3.3. Grinda secundară. Determinarea încărcărilor, acțiunilor, momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare.....	26
3.4. Calculul la rezistență a secțiunii grinzii secundare.....	31
3.5. Grinda principală. Determinarea încărcărilor, acțiunilor, momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare.....	32
3.6. Calculul la rezistență a secțiunii grinzii principale.....	37
4. METODA ELEMENTELOR FINITE (MEF). REZULTATE OBȚINUTE CU AJUTORUL PACHETULUI DE CALCUL “SCAD”	39
4.1. Situația I de modelare a structurii de planșeu cu grinzi secundare	39
4.2. Situația II de modelare a structurii de planșeu cu grinzi secundare.....	41
4.3. Situația III de modelare a structurii de planșeu cu grinzi secundare	43
4.4. Situația IV de modelare a structurii de planșeu cu grinzi secundare	45
4.5. Rezultate privind secțiunea de armătură necesară în elemente.....	46
4.6. Săgeata plăcii de planșeu	61
4.7. Compararea rezultatelor utilizând Metoda Analitică și Metoda Elementului Finit.....	62
4.8. Compararea rezultatelor utilizând Metoda Elementului Finit.	68
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	75
BIBLIOGRAFIE	79

ANEXA A DETERMINAREA COEFICIENȚILOR α, β, a, b	81
ANEXA B DIAGrame ȘI VALORI, M_y, Q_z, W_z, A_s . STRUCTURI DE PLANȘEU DIN BETON ARMAT CU GRINZI SECUNDARE	82

INTRODUCERE

Planșeele din beton armat cu grinzi secundare sunt niște structuri formate din placa de planșeu neîntreruptă și un sistem de grinzi secundare cu mai multe deschideri egale, sprijinite pe grinzi principale. Actualitatea unor asemenea structuri la etapa actuală este destul de des întrebuițată în construcții civile și industriale. Având în vedere că în timpul actual sectorul construcțiilor în Republica Moldova este în permanentă schimbare, crește tot mai des necesitatea de construcții unde se pot aplica structuri de planșeu cu capacitatea portantă destul de ridicată și cât mai economic din punct de vedere a volumelor de materiale, având o secțiune cât mai redusă a elementelor portante.

Mai des, dacă e să se facă referire la municipii și orașe și cu o creștere continuă a numărului de mașini în rândul populației, apare necesitatea ridicării unor construcții civile, ca parcări de tip închis supraetajate, sau subterane. La asemenea construcții tot mai des sunt întrebuițate structuri de planșeu din beton armat cu grinzi secundare. La construcții industriale unde apare necesitatea deschiderilor celulelor de cadru cât mai mare este mult mai util și convenabil de utilizat asemenea structuri de planșeu.

Studiul dat are la bază studierea unor asemenea structuri utilizând metoda elementelor finite și pachetul de calcul SCAD. Pentru a înțelege mai mult comportarea acestor construcții la diferite deschideri și sarcini aplicate pe placa de planșeu, se pune în aplicare modelarea a unei structuri de planșeu cu grinzi secundare în ambele direcții, cu dimensiunea platformei 25.2(m) x 18(m), cu o deschidere în axe de 6.3(m) x 6(m), iar celulele grinzilor secundare având dimensiunile 2(m) x 2.1(m).

Această platformă este interpretată ca o structură tip planșeu de susținere pentru o construcție având destinația de parcare subterană, pe care mai poate circula și autospeciala de pompieri.

Scopul acestui studiu este de a identifica cel mai eficient model de calcul, prin metoda elementelor finite, cu ajutorul pachetului de calcul SCAD, în vederea obținerii reale a suprafeței secțiunii necesare de armătură, aplicând amplasarea elementelor finite dezaxate și utilizarea elementului absolut rigid în îmbinările nodurilor.

În pachetul de calcul SCAD, capitolul 4, modelarea acestei structuri are la bază următoarele obiective:

- Predimensionarea corectă a secțiunii elementelor finite, ținând cont de recomandările literaturii studiate. Capitolul 2 face referire la literatura consultată și indicații despre predimensionare.

- Aprecierea corectă a încărcărilor ce revin pe placa de planșeu, de care depinde și determinarea cât mai redusă a secțiunii elementelor finite, descrise în capitolul 3.
- Modelarea a patru structuri, descrise în capitolul 2, având fixate îmbinările dintre elementele finite tip bară și tip shell dezaxate. Capitolul 4 reprezintă tabelar rezultatele obținute și figuri ce indică diagrame ale momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare.
- Implementarea în îmbinările nodurilor dintre elemente a instrumentului “element absolut rigid”, capitolul 4.
- Analiza și compararea rezultatelor obținute prin metoda elementelor finite dintre cele 4 modele, având ca etalon modelul de calcul standard, cu amplasarea elementelor finite pe aceeași axa-centru de greutate. Aceste rezultate pot fi consultate în capitolul 4 și Anexa B.
- Determinarea celei mai avantajoase structuri de planșeu din beton cu grinzi secundare din punct de vedere a stabilității, capacității portante și economie.

Implementarea metodei analitice de calcul, propune următoarele obiective:

- Determinarea corectă a suprafeței de încărcare aplicabile pe placa de planșeu.
- Determinarea corectă a factorilor parțiali de acțiuni utile și permanente.
- Aplicarea combinațiilor în dependență de sarcini și acțiuni.
- Utilizarea coeficienților tabelari pentru suprafețe de încărcare aplicată pe placă sub formă triunghiulară și sarcini concentrate.
- Efectuarea calculului static nedeterminat a unei fâșii de planșeu, grindă secundară și grindă principală. Acest model de calcul este prezentat în capitolul 3.
- Compararea rezultatelor obținute prin metoda elementelor finite, cu rezultatele obținute prin metoda analitică, capitolul 4.

Pentru îndeplinirea obiectivelor descrise se folosesc doua ipoteze de calcul:

- Calculul static nedeterminat-metoda tradițională și anume metoda analitică.
- Metoda elementului finit, cu ajutorul pachetului de calcul SCAD.

Motiv pentru implementarea Metodei Analitice și Metoda Elementului Finit, fiind metodele cele mai tradițională și practice întrebuințate pe teritoriul Republicii Moldova servește:

1. Metoda Analitică este cea mai bine descrisă și des întâlnită metodă.
2. Accesul mult mai simplu la literatură și dezvoltată în multe normative, manuale, cercetări, de către autori renumiți.
3. Pachetul de calcul SCAD are la bază Metoda Elementului Finit și este cel mai întrebuințat soft pe teritoriul Republicii Moldova, fiind unul dintre cele mai cunoscute și utilizate softuri de către mulți ingineri locali.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

Prima metodă, metoda analitică.

Metoda analitică de calcul demonstrează rezultate similare cu cele obținute prin metoda elementului finit, dacă e să se facă referire la valorile momentelor încovoietoare pentru placă. Rezultatele obținute prin metoda elementului finit, privind valorile momentului încovoietor maxim $M_{1,max.,E_d}$ (câmpul 1), ale modelului structural din situația I, structura construită în pachetul de calcul SCAD cu fixarea elementelor pe aceeași axă, prezintă cele mai apropiate valori față de cele obținute prin metoda tradițională, diferența variază, cu valoare pozitivă, de 0.6%. Structurile de planșeu atribuite pentru situațiile II, III, IV constituie variații ale valorilor de la 6.8% până la 21.8%. Valorile cele mai mici sunt atribuite modelului din situația III. Valorile momentului încovoietor $M_{2,max.,E_d}$ (câmpul 2), repetă situația similară cu variații cuprinse între aproximativ 4% și 24%, valorile minime sunt redate pentru structura atribuită situației II. Valori minime redate de modelele structurale conform situațiilor II și III, sunt construite având amplasată placa la partea superiară a grinzilor.

Valorile forțelor tăietoare, obținute prin MEF la placa de planșeu, redau cu totul altă situație. Aceste valori sunt cu mult mai mici față de valorile obținute prin metoda analitică, diferența o constituie maxim 73.3%, $V_{B,max.,E_d}$ (reazemul B) situația II și minim 53.55%, $V_{B,max.,E_d}$ (reazemul A) situația III.

Aria secțiunii necesarului de armătură pentru placă și valorile obținute prin metoda analitică își atinge scopul parțial, față de rezultatele obținute prin MEF. Rezultatele redau media generală în câmpul plăcii și reazeme, o analiză și comparație față de cele ale modelelor structurale din situațiile I-IV este complicat de realizat. MEF redă salturi mari în punctele de sprijin ale plăcii pe nodurile coloanelor centrale ale structurilor de planșeu cu grinzi secundare, atât în câmp cât și în reazeme.

Ce ține de grinda secundară analizată în dependență de situațiile de calcul prin MEF, valorile momentelor încovoietoare diferă față de cele obținute prin metoda tradițională, având variații cu rezervă aproximativă 47% și depășiri de aproximativ 14%. Excepție considerabilă se observă la momentul încovoietor maximal pentru reazemul A, ceea ce se poate explica prin aplicarea aceleiași formule de calcul a metodei analitice atât la reazemul de capăt cât și la primul reazem intermediar.

Referitor la valorile forțelor tăietoare pentru grinda principală obținute prin MEF în mare parte sunt depășite în raport cu cele obținute prin metoda analitică, diferența constituind aproximativ de la 17%, până la 45%.

Valorile forțelor tăietoare obținute prin MEF, redau surplusuri începând de la 22.1%, situația IV, reazemul B și maxim 43.87%, pentru situația III, reazemul A.

Ce ține de aria secțiunii necesare obținute prin MEF constituie o rezervă în raport cu metoda analitică de 48.6% pentru câmpul 2, situația III și o depășire de 4.8%, situația IV, pentru reazemul B. Pentru reazemul A diferențele sunt mari.

Situație cu caz similar se observă și la grinzile principale în privința valorilor momentelor încovoietoare. Modelul cel mai avantajos se poate considera modelul atribuit situației II, cu valorile momentelor de la 29.6%, până la 7.2%, devierea se observă la același reazem A, având aceeași formulă de calcul a metodei analitice atât la reazemul de capăt cât și la primul reazem intermediar.

Valorile forțelor tăietoare pentru grinda principală obținute prin MEF majoritatea au depășiri în raport cu cele obținute prin metoda analitică, începând aproximativ de la 17%, până la 45%.

Suprafețele secțiunii necesare de armătură în element, MEF, au depășit rezultatele valorilor suprafețelor secțiunii necesare de armătură, metoda analitică. Modelul structural atribuit situației II are cele mai avantajoase valori cu o rezervă în marea majoritate de peste 36%.

Rezultă că, în urma comparațiilor efectuate ale rezultatelor obținute prin metoda tradițională de calcul față de metoda MEF, modelele structurale atribuite situațiilor II-III și anume acele modele având amplasată placa dezaxată, la partea superioară a grinzilor prezintă cele mai avantajoase valori și pot fi considerate cele mai economice din punct de vedere a volumelor materialului de oțel. Modelul atribuit situației I, cu amplasarea obișnuită a elementelor finite pe aceeași axă, dacă e să se facă referire la structuri de planșeu cu grinzi secundare ca și în cazul studiului dat, prezintă valorile cele mai mari și cele mai nefavorabile din punct de vedere economic.

Metoda elementului finit (MEF).

Compararea rezultatelor obținute a valorilor M_y , Q_z , W_z și $A_{s,nec}$. la cele patru structuri atribuite situațiilor I-IV, între ele, situația II, III, IV fiind comparate față de modelul situația I, demonstrează încă odată aceeași tendință.

Situația IV este cel care prezintă cele mai mici diferențe procentuale ale valorilor momentului încovoietor M_y , în toate cele 16 puncte ale structurii, comparativ cu situația I, având în general diferențe între 0% și 2,6%. Situația III are, în general, diferențe procentuale mai mari decât situația IV, însă mai mici decât situația II. Diferențele sunt de obicei în jur de 20%-40%. Modelul structural din situația II prezintă cele mai mari diferențe procentuale față de modelul structural din situația I, având diferențe de până la 164% la punctul 10.

Diferențele procentuale ale valorilor forței tăietoare Q_z , sunt mici în majoritatea punctelor. Situația IV prezintă cele mai mici abateri, cu diferențe între 0.12% și 0.19% în majoritatea cazurilor. Situația II și III au diferențe foarte apropiate față de modelul situației I, de obicei între 0.30% și 1.31%. Situației IV este cel mai apropiat de modelul situației I, cu cele mai mici diferențe procentuale.

Valorile deplasării plăcii, săgeata W_z , pentru modelele structurale din situațiile II, III și IV prezintă toate o tendință mai avantajoasă față de modelul situației I, deoarece valorile sunt mai puțin negative. Situația II arată are avantaj semnificativ comparativ cu situația I, diferențe de aproximativ 30-35%. Situația III la fel este mai avantajoasă față de situația I, dar cu diferențe procentuale puțin mai mici 29-30%. Situația IV înregistrează o diferență mai mică față de situația I, aproximativ 4%.

Situațiile II și III au o scădere semnificativă în privința secțiunii necesare de armătură longitudinală la partea inferioară, față de situația I, cu diferențe procentuale între -24.64% și -42.62% pentru majoritatea punctelor. Modelele structurale din situația II și III au cerințe mai mici de armătură comparativ cu situația I. Modelul situației IV prezintă o scădere mai mică față de modelul situației I, cu diferențe de la -3.62% la -6.55%.

Aria secțiunii necesare de armătură longitudinală $A_{s,nec}$, la partea superioară, pentru grinzi secundare, modelele situațiilor II, III și IV la fel au scăderi semnificative față de modelul situația I, cu diferențe cuprinse între -20.06% și -32.65%, pentru toate punctele de evaluare. Cele mai mari diferențe procentuale de scădere se observă la modelul situația II și III, iar modelul situația IV este ușor mai apropiată de situația I, în ceea ce privește utilizarea materialelor de armătură.

În cazul grinzilor principale se poate de interpretat că situațiile II și III prezintă diferențe față de situația I, având scăderi procentuale între -17.8% și -37.3%, cu o reducere a valorii pentru armătura necesară. Situația IV este asemănătoare cu situația I, având scăderi de -0.75% și -0.93%, această situație este cea mai apropiată de situația I în ceea ce privește necesarul de armătură.

Deducând cele expuse se poate de interpretat că, diferențele date indică faptul situațiilor II și III sunt mai economice decât modelul structural din situația I.

Majoritatea comparațiilor atât prin ipoteza de calcul metoda analitică cât și ipoteza MEF, demonstrează că modelele structurale care au amplasate placa de planșeu la partea superioară a grinzilor dau cele mai avantajoase rezultate.

Modelul structural atribuit situației II, având amplasate toate elementele finite într-o linie la partea superioară a grinzilor, iar îmbinările nodurilor dintre placă și grinzi secundare sunt efectuate cu ajutorul instrumentului “element absolut rigid”, în majoritatea cazurilor demonstrează cele mai avantajoase valori și poate fi considerat cel mai econom din punct de vedere a consumului materialului de oțel.

Se recomandă de efectuat și alte studii cu amplasarea elementelor finite dezaxate, având atribuite alte încărcări pe placa de planșeu și alte deschideri de cadru pentru a putea înțelege și depista cea mai avantajoasă structură.

În privința structurilor analizate în acest studiu de caz și în urma recomandărilor expuse de dezvoltatorii pachetului de calcul SCAD, descrise în capitolul 2, se poate de interpretat că la acest gen de planșee din beton cu grinzi secundare, având aplicate încărcări mari pe placă, este mai avantajos de modelat elementele finite dezaxate, iar îmbinările placă-grinzi secundare să se efectueze cu ajutorul instrumentului “element absolut rigid”.

BIBLIOGRAFIE

1. NCM F.02.02-2006. *Calculul, proiectarea și alcătuirea elementelor de construcții din beton armat și beton precomprimat*. Ch., 2006. Agenția construcții și dezvoltare a teritoriului Republicii Moldova.
2. РУКОВОДСТВО по проектированию бетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). Центральный Научно-Исследовательский и Проектно-Экспериментальный Институт промышленных зданий и сооружений Госстроя СССР. Научно-Исследовательский Институт Бетона и Железобетона Госстроя СССР. Москва стройиздат 1978.
3. И., И., УЛИИКИЙ, С. А. РИВКИНА, М., В., САМОЛЕТОВ, А., А., ДЫХОВИЧНЫМ, *Железобетонные конструкции*. Государственное издательство технической литературы УССР. Киев, 1957.
4. МОЗГОЛОВ, М. В., КОЗЛОВА, Е. В., *Модель комплекса SCAD из объемных конечных элементов: расчет железобетонных кессонных перекрытий*. Журнал Вестник Ниц “Строительство”, [citat Том 37, № 2, 2023].
Disponibil (22.09.24): <https://vestnik.estroy.ru/jour/article/view/317>.
5. МОЗГОЛОВ, М. В., КОЗЛОВА, Е. В., *Верификация моделей SCAD железобетонного кессонного перекрытия на основе аналитического метода расчета, учитывающего пролеты и жесткость конструкции. Стоительство и архитектура*. Журнал Вестник Белгородского Государственного Технологического Университета им. В.Г. Шухова, [citat Том 8, № 2, 2023].
Disponibil (28.09.24): <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/53583/view>.
6. СКОРУК, Л., *Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий. Архитектура и строительство*. Журнал Cadmaster, [citat CADmaster, № 3, 2004]. Disponibil (16.10.24): https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_23_scad.html.
7. SCADSOFT: *Теоретические основы. Использование бесконечно жестких вставок*.
Disponibil (24.10.24):
https://scadsoft.com/help/SCAD/Theory/ru/Theory1049_rtf/Using_stiff_inserts.htm.
8. SCADSOFT: *Теоретические основы. Жесткие тела*.
Disponibil (25.10.24):
https://scadsoft.com/help/SCAD/Theory/ru/Theory1049_rtf/Perfectly_Rigid_Bodies.htm
9. Л., Е., ЛИНОВИЧ., *Расчет и конструирование частей гражданских зданий*. Издательство «Будівельник». Киев, 1972.

10. В. Н., Байков, Э., Е., Сигалов., *Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебники для высших учебных заведений, 5-е издание.*, Стройиздат б 1991. 767 с., ил.
ISBN 5-274-01528-X.
11. NCM E.01.02:2019. *Acțiuni în construcții. Regulament privind stabilirea categoriilor de importanță a construcțiilor.* Ch., 2020. Ministerul economiei și infrastructurii. ICS 91.040.01.
12. SR EN 1992-1-1., Eurocod 2., *Proiectarea structurilor de beton.*, Partea 1-1., *Reguli generale și reguli pentru clădiri.* Standard Român. ICS 91.010.30;91.080.40., 2006, iunie.
13. SM SR EN 1990., Eurocod 0., *Bazele proiectării construcțiilor.*, *Ghid de utilizare.* Standard Moldovenesc. Chișinău., 2020.
14. Н. П., Блещик, Д., Д., Жуков., Д., Н., Лазовский., В., Г., Казачек., А., А., Кондратчик., Т., М., Пецольд., Н., А., Рак., В., В., Тур., И., М., Шуберт., *Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования.* Брест, БГТУ, 2003-380. 767 с., с илл.
ISBN 985-6584-59-0.