

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jakše, M. 2013. Program za dimenzioniranje AB prereza na osno - upogibno in strižno obremenitev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bratina, S.): 85 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jakše, M. 2013. Program za dimenzioniranje AB prereza na osno - upogibno in strižno obremenitev. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bratina, S.): 85 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
SMER OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

MITJA JAKŠE

**PROGRAM ZA DIMENZIONIRANJE AB PREREZA NA
OSNO - UPOGIBNO IN STRIŽNO OBREMENITEV**

Diplomska naloga št.: 487/SOG

**RC SECTION DESIGN SOFTWARE FOR THE
CALCULATION OF AXIAL - BENDING AND SHEAR
STRENGTH**

Graduation thesis No.: 487/SOG

Mentor:
doc. dr. Sebastjan Bratina

Predsednik komisije:
doc. dr. Tomo Cerovšek

Član komisije:
izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

Ljubljana, 03. 06. 2013

IZJAVE

Podpisani Mitja Jakše izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Program za dimenzioniranje AB prereza na osno-upogibno in strižno obremenitev«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 15. 05. 2013

Mitja Jakše

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	006.77:624.012.45(043.2)
Avtor:	Mitja Jakše, gradbeni tehnik
Mentor:	doc. dr. Sebastjan Bratina
Naslov:	Program za dimenzioniranje AB prereza na osno-upogibno in strižno obremenitev
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	85 str., 2 pregl., 111 sl., 77 en., 3 pril.
Ključne besede:	Računalniški program, armirani beton, evrokod, Visual C#, .NET

Izvleček:

V diplomski nalogi predstavimo lasten računalniški program za dimenzioniranje dvojno armiranega betonskega prereza na osno-upogibno in strižno obremenitev v mejnih stanjih nosilnosti. Program je izdelan v programskem jeziku Visual C#®. Pri določanju mejne osno-upogibne odpornosti AB prereza upoštevamo predpostavko o ravnih prečnih prerezih, upoštevamo kompatibilnost deformacij armature in okoliškega betona na medsebojnem stiku, natezno nosilnost betona v računu pa zanemarimo. Sovisnost med napetostmi in deformacijami v betonu upoštevamo skladno z delovnim diagramom tlačnega betona, podanega s parabolo in premico, sovisnost med napetostjo in deformacijo armature pa z idealiziranim bilinearnim antisimetričnim diagramom za jeklo za armiranje. Pri analizi osne in upogibne odpornosti betonskega dela prereza le-tega razdelimo na podpreze in lamele. Program omogoča izračun minimalne oziroma simetrične količine vzdolžne armature. Pri določanju strižne odpornosti AB prečnega prereza upoštevamo strižno nosilnost nerazpokanega dela betonskega prereza, trenje med zrni agregata vzdolž strižne razpoke in moznični učinek vzdolžne natezne armature v strižni razpoki. V kolikor omenjeni prispevki ne zadoščajo za prevzem strižne obremenitve, dokaz strižne odpornosti prereza izvedemo na podlagi modela ravninskega paličja, ki ga sestavljajo natezni pas, tlačna razpora v betonu in strižna armatura. Primernost in uporabnost razvitega računalniškega programa prikažemo na treh različnih računskih primerih.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	006.77:624.012.45(043.2)
Autor:	Mitja Jakše, construction technician
Supervisor:	Assoc. Prof. Sebastjan Bratina, Ph. D.
Title:	Concrete section analysis software for calculating axial-bending and shear strength
Document type:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Scope and tools:	85 p., 2 tab., 111 fig., 77 eq., 3 ann.
Key words:	Software, reinforced concrete, Eurocode, Visual C#, .NET

Abstract

The thesis presents a computer program for the design of a double-reinforced concrete section to axial-bending and shear strength in ultimate limit states. The program is developed in Visual C#[®] programming language by the author of this thesis. When defining the maximum axial-bending resistance of RC section the following factors are taken into consideration: the assumption of straight cross-sections and the compatibility of contact deformation of the reinforcement with the surrounding concrete. However, the tensile load of concrete in the account is ignored. Interdependency between stress and strain in concrete is considered according to the stress-strain diagram of concrete cylinder test, given by a parabola and a straight line. The interdependency between the stress and the reinforcement deformation is considered according to an idealized antisymmetric bilinear diagram for reinforcement steel. In the analysis of axial and bending resistance of the concrete cross-section the latter is divided into subsections and panels. The program allows the calculation of the minimum quantity and symmetrical quantity of longitudinal reinforcement. In determining the shear resistance of RC cross-section the following factors are considered: the shear bearing capacity of the non-cracked concrete section, the friction between the grains of the aggregate along the shear cracks, and the dowel effect of longitudinal tensile reinforcement in the shear crack. If the contributions mentioned are not sufficient to bear shear load, shear resistance sectional proof is performed based on the model of planar truss consisting of tensile zone, compressive tie in concrete, and shear reinforcement. Adequacy and applicability of the developed computer program is illustrated in three different computational cases.

ZAHVALA

Zahvaljujem se profesorju doc. dr. Sebastjanu Bratini, da me je sprejel pod svoje mentorstvo, za potrpežljivost in spodbujanje ter vodenje pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre družini, ki me je podpirala vsa ta leta študija, puncu, ki me je spodbujala pri delu, kolegom za pomoč tekom študija in prijateljem, ki mi stojijo ob strani.

KAZALO

STRAN ZA POPRAVKE	iii
IZJAVE	iv
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	v
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	vi
ZAHVALA	vii
1 UVOD	1
2 PREDSTAVITEV PROGRAMA	2
2.1 Programski jezik Visual C#®	2
2.2 Združljivost programa	3
2.3 Namestitev programa	3
2.4 Pravni poduk	3
3 TEORETIČNE OSNOVE	5
3.1 Evrokodi	5
3.2 Materialne karakteristike	7
3.2.1 Beton	7
3.2.2 Jeklo za armiranje	10
3.3 Prečni prerez AB elementa	15
3.3.1 Podprerezi in lamele	15
3.3.2 Izris podpreza	20
3.4 Deformacije in napetosti	22
3.4.1 Mejne deformacijske ravnine	22
3.4.2 Velika in mala ekscentričnost	23
3.4.3 Deformacije v značilnih točkah	24
3.4.4 Napetost betona v <i>i</i> -ti lameli prereza	26
3.4.5 Napetost v armaturi	26
3.4.6 Račun osno-upogibne odpornosti prereza	27
3.5 Račun potrebne armature	30
3.5.1 Račun vzdolžne armature	30
3.5.2 Določitev optimalne količine vzdolžne armature	31

3.5.3	Strižna armatura	34
3.6	Interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti AB prereza	38
3.6.1	Konstruiranje diagrama	38
3.6.2	Ugotavljanje nosilnosti prereza s pomočjo interakcijskega diagrama	39
4	UPORABNIŠKI PRIROČNIK	40
4.1	Uvod	40
4.2	Podatki o naslovu in izdelovalcu projekta	42
4.3	Podatki o elementu	42
4.3.1	Definiranje geometrije prereza	42
4.3.2	Lega armature	43
4.3.3	Material	44
4.3.4	Notranje sile	44
4.4	Dimenzioniranje elementa	44
4.4.1	Glavna/vzdolžna armatura	44
4.4.1.1	Deformacije betona in jekla, vrednosti točk na diagramu deformacij in odpornost prereza	45
4.4.1.2	Minimalna armatura	46
4.4.1.3	Potrebna armatura	46
4.4.1.4	Optimalna armatura	46
4.4.1.5	Deformacije pri optimalni armaturi	47
4.4.1.6	Dejanska armatura	48
4.4.2	Strižna/prečna armatura	49
4.4.2.1	Izbira strižne armature	49
4.4.2.2	Projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature	50
4.4.2.3	Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese prerez s strižno armaturo	50
4.4.2.4	Največja projektna prečna sila, ki jo lahko prenese nosilec in je omejena s porušitvijo tlačne razpore	50
4.4.2.5	Minimalna strižna armatura	51
4.4.2.6	Dejanska strižna armatura	51
4.4.2.7	Dodatna vzdolžna armatura	51
4.4.2.8	Maksimalna razdalja med stremeni	51
4.5	Izračun	51
4.6	Status	52
4.7	Grafika	52

4.7.1	Prečni prerez	52
4.7.2	Seznam	53
4.7.3	Diagram deformacij in napetosti	54
4.7.4	Interakcijski diagram	55
4.7.5	Izris armature v prerezu	56
4.8	Shranjevanje prerezov	58
4.9	Ukazi v glavnem meniju programa	58
4.10	Izpis rezultatov izračuna	60
5	RAČUNSKI PRIMERI	63
5.1	Pravokotni prečni prerez	63
5.1.1	Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza	63
5.1.2	Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza	65
5.1.3	Dimenzioniranje strižne armature prereza	70
5.1.4	Izris armature prereza in vnos prereza v bazo	71
5.2	»T« prečni prerez	73
5.2.1	Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza	73
5.2.2	Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza	74
5.2.3	Dimenzioniranje strižne armature prereza	75
5.3	»I« prečni prerez	77
5.3.1	Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza	77
5.3.2	Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza	79
5.3.3	Dimenzioniranje strižne armature prereza	79
6	ZAKLJUČEK	81
7	ZGOŠČENKA S PROGRAMOM	82
VIRI		83

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.5.1: Nabor robnih deformacij pri določanju optimalne količine armature pri dvojno armiranem AB prerezu	33
Preglednica 3.6.1: Oznake točk in pripadajoče vrednosti deformacij na interakcijskem diagramu	39

KAZALO SLIK

Slika 2.1.1: Ogrodje .NET (Microsoft, Moving Java Applications to .NET, 2005), (Chapter 1: Introduction to .NET, 2006)	2
Slika 2.4.1: O programu	4
Slika 3.1.1: Sestava evrokoda (Beg in Pogačnik, 2009)	6
Slika 3.2.1: Velikosti preizkušancev (CEN, SIST EN 12390-1:2001 Preskušanje strjenega betona - 1. del: Oblika, mere in druge zahteve za vzorce in kalupe, 2001, str. 4, 5).	7
Slika 3.2.2: Smeri nanašanja napetosti in smeri deformacij (Fischinger, 2006)	8
Slika 3.2.3: Diagram $\sigma-\epsilon_{1,2,3}$ (Fischinger, 2006)	8
Slika 3.2.4: Oblika porušenega preizkušanca (SIST, SIST EN 12390-3 Preskušanje strjenega betona - 3. del: Tlačna trdnost preskušancev, 2009, str. 8).	9
Slika 3.2.5: Delovni diagram tlačnega betona (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 38)	9
Slika 3.2.6: Trdnostne in deformacijske lastnosti betona (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 32)	10
Slika 3.2.7: Proporcionalni preizkušaneč oziroma epruveta pred testom (SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 30)	11
Slika 3.2.8: Preizkušaneč po testu (SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 30)	12
Slika 3.2.9: Dejanski diagram jekla (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 42)	13
Slika 3.2.10: Računski diagram jekla, (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 43)	14
Slika 3.3.1: Različne oblike prečnih prerezov, sestavljenih iz podprezov	15
Slika 3.3.2: Razdelitev prečnega prereza na podpreze in lamele	15
Slika 3.3.3: Izhodišče koordinatnega sistema prečnega prereza	16
Slika 3.3.4: Geometrijski podatki j -tega podpreza	16
Slika 3.3.5: Izhodišče koordinatnega sistema v težišču prereza	17
Slika 3.3.6: Razdelitev podpreza na lamele	18
Slika 3.3.7: Lamela	18
Slika 3.3.8: Sprememba širine in povprečna širina i -te lamele	19
Slika 3.3.9: Oddaljenost težišča i -te lamele j -tega podpreza od težišča skupnega prečnega prereza	20
Slika 3.3.10: Definiranje podpreza s štirimi točkami	20
Slika 3.4.1: Potek deformacij in napetosti po prerezu ter prikaz sil	22
Slika 3.4.2: Mejne deformacijske ravnine AB prereza (Beg in Pogačnik, 2009, str. 2-44)	23
Slika 3.4.3: Velika ekscentričnost osno-upogibne obremenitve	23
Slika 3.4.4: Mala ekscentričnost tlačne osne sile	24
Slika 3.4.5: Robni deformaciji	24
Slika 3.4.6: Zasuk deformacijske ravnine	24
Slika 3.4.7: Deformacija betona na mestu zgornje armaturne ravnine	25
Slika 3.4.8: Deformacija betona v težišču prereza	25
Slika 3.4.9: Deformacija betona na spodnjem robu prereza	25
Slika 3.4.10: Določitev napetosti betona v srednji točki i -te lamele	26
Slika 3.4.11: Določitev napetosti v zgornji in spodnji armaturi	27
Slika 3.4.12: Sile v AB prerezu pri osno-upogibni obremenitvi	28
Slika 3.4.13: Prispevek i -te lamele k odpornosti tlačne cone betona	28

Slika 3.4.14: Prispevek zgornje in spodnje armature k odpornosti AB prereza	29
Slika 3.4.15: Skupna odpornost AB prereza pri osno-upogibni obremenitvi	29
Slika 3.5.1: Mehanizem ravninskega paličja (Fischinger, 2006)	35
Slika 3.6.1: Interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti AB prereza	38
Slika 4.1.1: Izgled programa z vpisanimi podatki in izvedenim izračunom	40
Slika 4.1.2: Shematični prikaz poteka dela s programom	41
Slika 4.2.1: Naslov izračuna in izdelovalec	42
Slika 4.3.1: Pozicija, element in oznaka prereza	42
Slika 4.3.2: Definiranje prečnega prereza	42
Slika 4.3.3: Izris prečnega prereza glede na vnos	43
Slika 4.3.4: Lega zgornje in spodnje armature ter prikaz geometrijskih karakteristik prečnega prereza	43
Slika 4.3.5: Izbira kvalitete betona in jekla za armiranje ter varnostnih faktorjev za material	44
Slika 4.3.6: Projektne obremenitve v obravnavanem prerezu	44
Slika 4.4.1: Dimenzioniranje glavne/vzdolžne armature	45
Slika 4.4.2: Izbrane robne deformacije v betonu in armaturi, vrednosti deformacij v značilnih točkah prereza in prikaz osno-upogibne odpornosti AB prereza	46
Slika 4.4.3: Minimalna količina vzdolžne armature za nosilce oziroma stebre	46
Slika 4.4.4: Potrebna količina vzdolžne armature	46
Slika 4.4.5: Optimizacija armature	47
Slika 4.4.6: Izpis rešitev za celotni nabor deformacijskih ravnin	47
Slika 4.4.7: Optimalna količina vzdolžne armature	47
Slika 4.4.8: Deformacije pri optimalni armaturi	48
Slika 4.4.9: Izbira dejanske vzdolžne armature	48
Slika 4.4.10: Dimenzioniranje strižne/prečne armature	49
Slika 4.4.11: Izbira razdalje med stremeni, naklon stremen in števila stremen v eni ravnini	50
Slika 4.4.12: Projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature	50
Slika 4.4.13: Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez s strižno armaturo	50
Slika 4.4.14: Največja projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB nosilec in je omejena s porušitvijo tlačne razpore	50
Slika 4.4.15: Minimalna strižna armatura	51
Slika 4.4.16: Dejanska strižna armatura	51
Slika 4.4.17: Dodatna vzdolžna natezna armatura	51
Slika 4.4.18: Maksimalna razdalja med stremeni	51
Slika 4.5.1: Gumb za izvršitev izračuna	51
Slika 4.6.1: Izpis opozorila v primeru napačnega ali izpuščenega vnosa v oknu »Status«	52
Slika 4.6.2: Izpis v primeru pravilnega vnosa vseh potrebnih podatkov za izračun v oknu »Status«	52
Slika 4.7.1: Izris prečnega prereza	53
Slika 4.7.2: Drsnik za premik slike v vodoravni smeri	53
Slika 4.7.3: Drsnik za spremembo merila slike prereza	53
Slika 4.7.4: Preglednica s podatki računa osno-upogibne odpornosti betonskega dela prečnega prereza	54
Slika 4.7.5: Diagram deformacij in napetosti	55
Slika 4.7.6: Drsnika za spreminjanje prikaza deformacij in napetosti po prerezu	55
Slika 4.7.7: Interakcijski diagram	56
Slika 4.7.8: Drsnik za spreminjanje merila interakcijskega diagrama	56
Slika 4.7.9: Vris armature v prečni prerez	57
Slika 4.7.10: Ukazi risanja v programu	57

Slika 4.7.11: Vrstica pomoči za izbrani ukaz, koordinate miškega kazalca in gumb za izbris prečnega prereza	58
Slika 4.8.1: Dodajanje prereza v bazo	58
Slika 4.8.2: Ukazi za urejanje prerezov	58
Slika 4.9.1: Ukazi v glavnem meniju	58
Slika 4.9.2: Status o shranjevanju projekta	59
Slika 4.9.3: Tisk projekta	59
Slika 4.9.4: Predogled tiskanja	60
Slika 4.10.1: Izpis izračuna v predogledu tiska	62
Slika 5.1.1: Pravokotni prerez	63
Slika 5.1.2: Zavihek »Podatki prereza«	64
Slika 5.1.3: Izris prereza v zavihku »Slika prereza«	64
Slika 5.1.4: Rezultati računa v zavihku »Glavna/vzdolžna armatura«	65
Slika 5.1.5: Rezultati računa v zavihku »Glavna/vzdolžna armatura« za dvojno armiran prerez	66
Slika 5.1.6: Rezultati optimizacije dvojne armature	67
Slika 5.1.7: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«	68
Slika 5.1.8: Preglednica v zavihku »Seznam«	68
Slika 5.1.9: Potek deformacij in napetosti v betonu v zavihku »Diagram ϵ in σ «	69
Slika 5.1.10: Interakcijski diagram v zavihku »Interakcijski diagram«	70
Slika 5.1.11: Račun strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«	71
Slika 5.1.12: Slika prereza z vrisano armaturo v zavihku "Risanje"	72
Slika 5.1.13: Vnos prereza v bazo	72
Slika 5.2.1: Slika »T« prečnega prereza	73
Slika 5.2.2: Podajanje geometrije za »T« prerez v tabelo »Definiranje prereza«	73
Slika 5.2.3: Slika prereza v zavihku »Slika prereza«	74
Slika 5.2.4: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«	75
Slika 5.2.5: Dimenzioniranje strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«	76
Slika 5.3.1: Slika »I« prečnega prereza	77
Slika 5.3.2: Podajanje geometrije »I« prereza v tabeli »Definiranje prereza«	77
Slika 5.3.3: Slika »I« prečnega prereza v zavihku »Slika prereza«	78
Slika 5.3.4: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«	79
Slika 5.3.5: Dimenzioniranje strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«	80

1 UVOD

V diplomski nalogi se ukvarjamo z dimenzioniranjem armature v armiranobetonskih (v nadaljevanju AB) prečnih prerezih, ki so obremenjeni z osno silo, prečno silo in/ali upogibnim momentom. Pri dimenzioniranju upoštevamo pravila in načela v skladu s standardom Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe. Pri določanju mejne osno-upogibne odpornosti AB prereza upoštevamo predpostavko o ravnih prečnih prerezih, upoštevamo kompatibilnost deformacij armature in okoliškega betona na medsebojnem stiku, natezno nosilnost betona v računu pa zanemarimo. Sovisnost med napetostmi in deformacijami tlačno obremenjenega betonskega dela prereza upoštevamo v skladu z delovnim diagramom tlačnega betona, podanega s parabolo in premico, ki je namenjen dimenzioniranju prečnih prerezov, sovisnost med napetostjo in deformacijo armature pa z idealiziranim bilinearnim antisimetričnim diagramom za jeklo za armiranje. Pri tem moramo vsaj v eni točki prečnega prereza zagotoviti mejno deformacijo in sicer bodisi mejno deformacijo jekla za armiranje in/ali pa mejno tlačno deformacijo betona. Pri mali ekscentričnosti tlačne osne sile pa moramo zagotoviti mejno tlačno deformacijo betona.

Pri določanju strižne odpornosti AB prečnega prereza upoštevamo strižno nosilnost nerazpokanega dela betonskega prereza, trenje med zrni agregata vzdolž strižne razpoke in možnični učinek vzdolžne natezne armature v strižni razpoki. V kolikor omenjeni prispevki ne zadoščajo za prevzem strižne obremenitve, dokaz strižne odpornosti prereza izvedemo na podlagi modela ravninskega paličja, ki ga sestavljajo natezni pas, tlačna razpora v betonu in strižna armatura.

V okviru diplomske naloge smo izdelali računalniški program za dimenzioniranje AB prečnih prerezov linijskih elementov na osno-upogibno in strižno obremenitev v mejnih stanjih nosilnosti (MSN). Pri tem smo izdelali tudi navodila za uporabo programa. Menimo, da se lahko takšen računalniški program uporablja tudi kot učni pripomoček, saj olajša študij pri konstrukcijsko usmerjenih predmetih. Program namreč omogoča uporabniku, da se natančno seznanijo z napetostnim in deformacijskim stanjem v prečnem prerezu, z integracijo napetosti v tlačno obremenjenem delu betonskega prereza, ki se izvede s pomočjo razdelitve prereza na lamele, z računom odpornostne osne sile in upogibnega momenta prereza ter z računom potrebne količine vzdolžne in strižne armature. Program torej omogoča dimenzioniranje enojno simetričnega prečnega prereza, načeloma poljubne oblike, ki ga sestavimo iz poljubnega števila podprerezov trapezne oblike. Vsak podprez lahko dodatno razdelimo še na poljubno število lamel s konstantno višino. Program lahko uporabljamo samostojno ali pa kot dodatek k drugim programom, ki so namenjeni projektiranju, analizi in dimenzioniranju konstrukcij.

V programu je združeno znanje, pridobljeno pri več predmetih med študijem gradbeništva, ter znanje programiranja. Sama vsebina diplomske naloge je razdeljena na sedem poglavij. V drugem poglavju je predstavljen programski jezik, v tretjem teoretične osnove o materialnih karakteristikah, definiranje prereza, deformacije in napetosti, dimenzioniranje ter interakcijski diagram, v četrtem je predstavljen uporabniški priročnik, v petem računski primeri, v šestem poglavju so podani zaključki, v sedmem pa se nahaja zgoščanka s programom.

2 PREDSTAVITEV PROGRAMA

Program za dimenzioniranje vzdolžne in strižne armature AB prečnega prereza se imenuje »AB Prerez_v101.exe«. Program je izdelan v programskem jeziku Visual C#[®], ker menimo, da je uporabljen programski jezik lažje razumljiv od nekaterih drugih in omogoča široko paleto uporabe.

2.1 Programski jezik Visual C#[®]

Programski jezik Visual C#[®] je eden izmed jezikov, ki jih je razvil Microsoft[®]. Ta jezik predstavlja kombinacijo Visual Basic[®], C++[®] in Java[®]. Je objektno usmerjen programski jezik, objekte predstavljajo združeni postopki in podatki, s katerimi delamo, njihovo združitev omogočajo metode, ki so potrebne za operiranje s temi podatki.

Leta 1999 je Anders Hejlsberg, programer in sistemski arhitekt v Microsoftu[®], zbral skupino za izdelavo novega programskega jezika, ki je sprva imel ime »Cool«, krajše za »C-like Object Oriented Language«. Ko je bilo leta 2000 javno predstavljeno ogrodje .NET, so ga preimenovali v Visual C#[®]. Znak # so povzeli iz glasbene stroke, kjer pomeni pol tona višje. S tem so nakazali, da gre za novejšo različico programskega jezika C, kot je to pri C++[®], kjer znak ++ pomeni povečaj za 1.

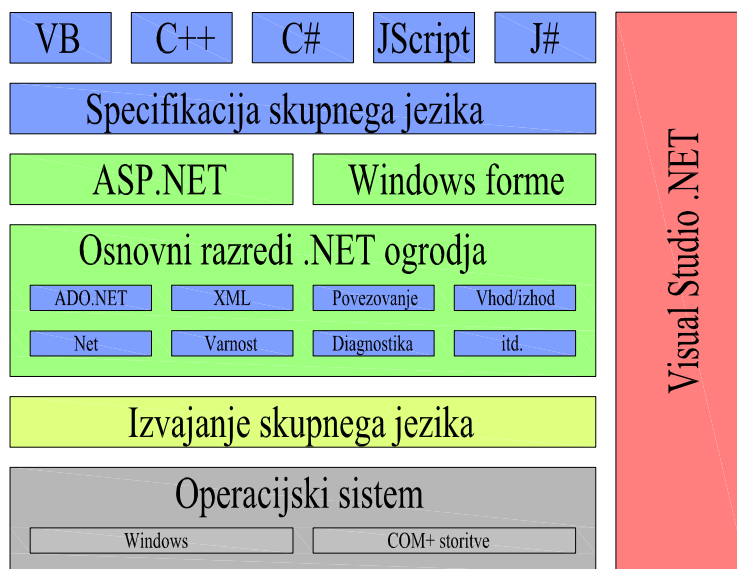
Kljub svoji starosti je eden izmed novejših programskih jezikov, ki se z leti dograjuje. Jezik temelji na .NET okolju, ki je bilo prav tako razvito s strani Microsoft[®] in v osnovi deluje na Microsoft[®] Windows[®] okolju. .NET je ogrodje (Slika 2.1.1), v katerem so shranjene najpogostejše funkcije, knjižnice, itd. – kot so branje, pisanje, risanje, delo z bazami, XML[®], itd. – ki se izvajajo v okolju Windows[®]. To ogrodje vsebuje kodo funkcij, ki jih lahko programer enostavno prikliče ter uporablja in mu jih ni potrebno pisati, ne glede na programski jezik.

(Microsoft, Technical Recognition Awards, 2010-2012)

(Microsoft, msdn, Anders Hejlsberg, 2011)

(Microsoft, News Center, 2001)

(Baskar, 2012)



Slika 2.1.1: Ogrodje .NET (Microsoft, Moving Java Applications to .NET, 2005), (Chapter 1: Introduction to .NET, 2006)

2.2 Združljivost programa

Program »ABPrerez_v101.exe« deluje v okolju Microsoft® Windows® XP ali v novejšem sistemu z .NET 3.5 ali novejšim okoljem. Testiran je bil na več sistemih, preverjeno deluje na:

- Windows® XP, SP3, .NET 3.5
- Windows® Vista® Home, SP1, .NET 3.5
- Windows® 7 Professional, 32bit, SP1, .NET 4.0
- Windows® 7 Professional, 64bit, SP1, .NET 4.0
- Windows® 7 Ultimate, SP1, .NET 3.5

2.3 Namestitev programa

V kolikor na svojem operacijskem sistemu nimamo nameščenega okolja .NET 3.5 ali novejšega, ki je nujen za delovanje programa, ga lahko namestimo s priložene zgoščenke ali prenesemo s spletnega mesta:

<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=21>

Programa »ABPrerez_v101.exe«, ki ima delovno oznako v101, ni potrebno namestiti preko inštalacijskega postopka (Setup), ampak ga le prenesemo, oziroma kopiramo izvršilno datoteko (ABPrerez_v101.exe) na svoj hranilni medij. Ko želimo program uporabiti, enostavno zaženemo datoteko »ABPrerez_v101.exe«.

Ko želimo shraniti rezultate računa, program preveri, ali je vzpostavljena internetna povezava. V kolikor povezava obstaja, program omogoči shranitev rezultatov računa kot projekt, sicer shranitev ni možna. Program ob shranitvi pošlje avtorju programa za potrebe statistike podatke o uporabniku in rezultate računa z vsemi izvedenimi prerezi/elementi.

2.4 Pravni poduk

Uporaba programa je mogoča pod naslednjimi pogoji, na katere uporabnik pristaja in pod katerimi ima pravico do brezplačnega prenosa in brezplačne uporabe programa:

- da je uporabnik seznanjen, da je program v fazi preizkušanja in razvoja ter da uporabnik uporablja program na lastno odgovornost ter se odpoveduje vsakršnim zahtevkom z naslova odškodninske in obligacijske odgovornosti avtorja programa za škodo, ki bi nastala zaradi napak v sistemu in/ali programu;
- da se uporabnik programa strinja, da program pošilja podatke o uporabniku in izračunu avtorju programa za potrebe statistične obdelave podatkov, vključno z izračunom celotnega projekta z vsemi izvedenimi prerezi/elementi, s čimer avtor programa pridobiva podatke, ki jih ima pravico brezplačno uporabiti za razvoj oziroma izpopolnjevanje programa;
- da avtor programa ne odgovarja za delo, pravilnost izvedenih izračunov in natančnost podatkov, saj uporabnik uporablja program na lastno odgovornost ob zavedanju dejavnikov tveganja, ki so posledica dejstva, da je program v fazi preizkušanja in razvoja;
- da je program iz razloga, ker je v fazi preizkušanja in razvoja, dovoljeno uporabljati le kot informativni izračun in nikakor ne v projektantske ali kakršne koli druge poslovne namene, še zlasti pa ne za izdelavo načrtov, potrebnih v postopkih pridobivanja gradbenih dovoljenj in podobno;
- da avtor programa ne odgovarja za morebitne računalniške viruse, ki nastanejo kot rezultat prenosov s spleta ali presnemavanja programa s spletnih mest ali prenosnih medijev (zgoščenk, usb ključev, itd.);

- da uporabnik ne bo kakorkoli posegal ali poskusil posegati v programsko in/ali izvorno kodo programa z namenom in/ali posledico, da se programu spremeni delovanje, onemogoči delovanje, odtuji kodo ali dele kode in podobno;
- da za vsebino podatkov, vnesenih v program, odgovarja uporabnik sam;
- avtor ne prevzema nobene odgovornosti za kakršnekoli napake, probleme itd. povezane s tem programom, pri čemer vse morebitne uporabnike opozarja, da glede na fazo razvoja programa obstaja možnost napak v njegovem delovanju in vsakokratnemu uporabniku priporoča, da informativni izračun, pridobljen s tem programom, dodatno preveri.

Navedeno sporočilo se nahaja v programu v oknu »O programu«, kot ga prikazujemo na sliki 2.4.1.



Slika 2.4.1: O programu

3 TEORETIČNE OSNOVE

Pri projektiranju konstrukcij se moramo držati načel in pravil, navedenih v evrokodih. V diplomskem delu obravnavamo AB elemente, zato se moramo opreti na evrokod 2, del 1-1: Projektiranje betonskih konstrukcij (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005). V nadaljevanju najprej podrobneje predstavimo standard evrokod, nato materialne karakteristike betona in jekla za armiranje, definiramo prečni prerez, deformacije in napetosti ter predstavimo enačbe, ki jih potrebujemo pri računu armature. Kljub temu da v tem diplomskem delu posebej ne omenjamo pravil za detajliranje armature in elementov, jih pri dimenzioniranju AB elementa ne smemo izpustiti.

3.1 Evrokodi

Leta 1975 se je komisija Evropske skupnosti odločila za sprejetje programa na področju gradbeništva. Cilj je bil, da se odstranijo ovire pri trgovanju in uskladijo tehnične specifikacije. Pripravila so se tehnična pravila za projektiranje gradbenih objektov, ki so bila sprva alternativa drugim pravilom, sčasoma pa naj bi jih v celoti nadomestila. Razvoj evrokodov je trajal 15 let in v osemdesetih letih je bila izdana prva generacija evrokodov (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 12).

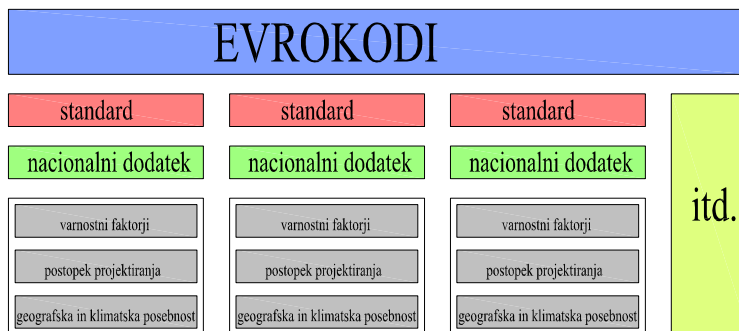
Evrokodi obsegajo standarde, ki so sestavljeni iz naslednjih delov:

EN 1990	Evrokod:	Osnove projektiranja
EN 1991	Evrokod 1:	Vplivi na konstrukcije
EN 1992	Evrokod 2:	Projektiranje betonskih konstrukcij
EN 1993	Evrokod 3:	Projektiranje jeklenih konstrukcij
EN 1994	Evrokod 4:	Projektiranje sovprežnih jeklenih in betonskih konstrukcij
EN 1995	Evrokod 5:	Projektiranje lesenih konstrukcij
EN 1996	Evrokod 6:	Projektiranje zidanih konstrukcij
EN 1997	Evrokod 7:	Geotehnično projektiranje
EN 1998	Evrokod 8:	Projektiranje potresno odpornih konstrukcij

(CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 12).

Sprva so bili evrokodi izdelani kot predstandardi, ki so imeli poizkusno obdobje, ter so bili alternativa obstoječim predpisom. Od 1. 1. 2008 pa je v Sloveniji postala uporaba evrokodov obvezna, vendar, v kolikor pride do primera, ki ga evrokodi ne vsebujejo, se lahko uporabijo drugi načini, za katere pa je potrebno dokazati, da je stopnja zanesljivosti vsaj takšna, kot jo zahtevajo evrokodi.

Evrokod sestoji iz več standardov (Slika 3.1.1), ki pokrivajo več smeri projektiranja. Znotraj standarda se nahaja nacionalni dodatek za vsako posamezno državo. V nacionalnem dodatku najdemo podatke o velikosti varnostnih faktorjev, o izbiri postopka projektiranja ter posebnosti glede na geografske in klimatske lege (Beg in Pogačnik, 2009, str. predgovor). Evrokodi dovoljujejo, da se vrednosti varnosti izbirajo glede na članico skupnosti.



Slika 3.1.1: Sestava evrokoda (Beg in Pogačnik, 2009)

Dimenzioniranje betonskih konstrukcij pokriva Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1, del: Splošna pravila in pravila za stavbe in Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1, del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek.

Betonske konstrukcije dimenzioniramo po metodi mejnih stanj. Ločimo mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. Dimenzioniranje AB prereza temelji na metodi mejnega stanja nosilnosti (MSN), kjer upoštevamo mehanizme porušitve, projektne trdnosti uporabljenih materialov in ustrezne konstitucijske zakone.

V mejnem stanju uporabnosti (MSU) pa preverjamo napetosti v betonu in armaturi, povese konstrukcije in širine razpok. V mejnem stanju uporabnosti upoštevamo, da je sovisnost med deformacijami in napetostmi linearna.

V diplomski nalogi in v razvitem programu se osredotočimo le na analizo AB prereza v mejnem stanju nosilnosti pri osno-upogibni in strižni obremenitvi.

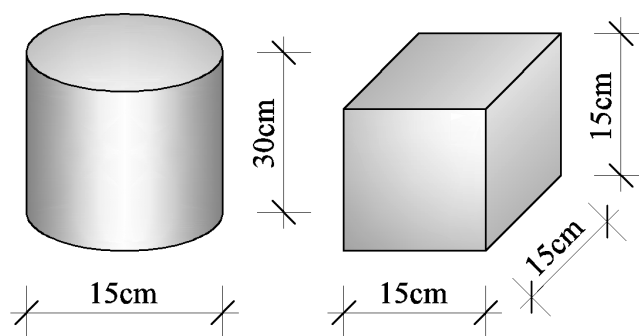
3.2 Materialne karakteristike

V gradbeništvu je večina konstrukcij armiranobetonskih, kjer dele konstrukcije sestavljata armatura in beton. Za dimenzioniranje elementa moramo poznati mehanske lastnosti betona in jekla za armiranje, zato v nadaljevanju predstavimo njune značilne mehanske lastnosti.

3.2.1 Beton

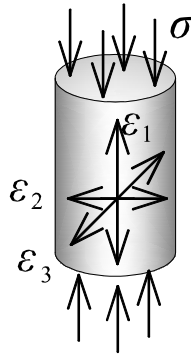
Beton je material, ki je sestavljen iz več komponent, zato ga uvrščamo med kompozite. Njegove lastnosti se s časom spreminjajo. Sestavljen je iz kamnitih zrn agregata različnih frakcij, cementnega kamna, hidratiranega cementa, vode in por. Betonska mešanica vsebuje okoli 15 % cementa, 21 % vode, 3 % zraka, 30 % drobne frakcije agregata, 31 % grobega agregata. Razmerje med količino vode in količino cementa imenujemo vodocementni faktor, ki v idealnih razmerah znaša $v/c = 0,38$. Ob stiku cementa z vodo se prične proces hidratizacije. To je dolgotrajen kemijski proces, kjer se molekule vode povežejo z molekulami cementa. Tako se betonu s staranjem povečuje trdnost (Žarnić, 2005, str. 110).

Pri dimenzioniranju AB prereza moramo poznati trdnostni razred uporabljenega betona. Določa ga karakteristična tlačna trdnost preizkušanca po 28 dnevih v MPa, določena z enoosnim tlačnim preizkusom. Skladno s standardom EN 206-1: 2003 sta osnovna preizkušanca valj in kocka. Valj ima premer 15 cm in višino 30 cm, kocka pa dimenzije stranic 15 cm (CEN, SIST EN 12390-1:2001 Preskušanje strjenega betona - 1. del: Oblika, mere in druge zahteve za vzorce in kalupe, 2001, str. 4, 5). Preizkušanca prikazujemo na sliki 3.2.1.



Slika 3.2.1: Velikosti preizkušancev (CEN, SIST EN 12390-1:2001 Preskušanje strjenega betona - 1. del: Oblika, mere in druge zahteve za vzorce in kalupe, 2001, str. 4, 5).

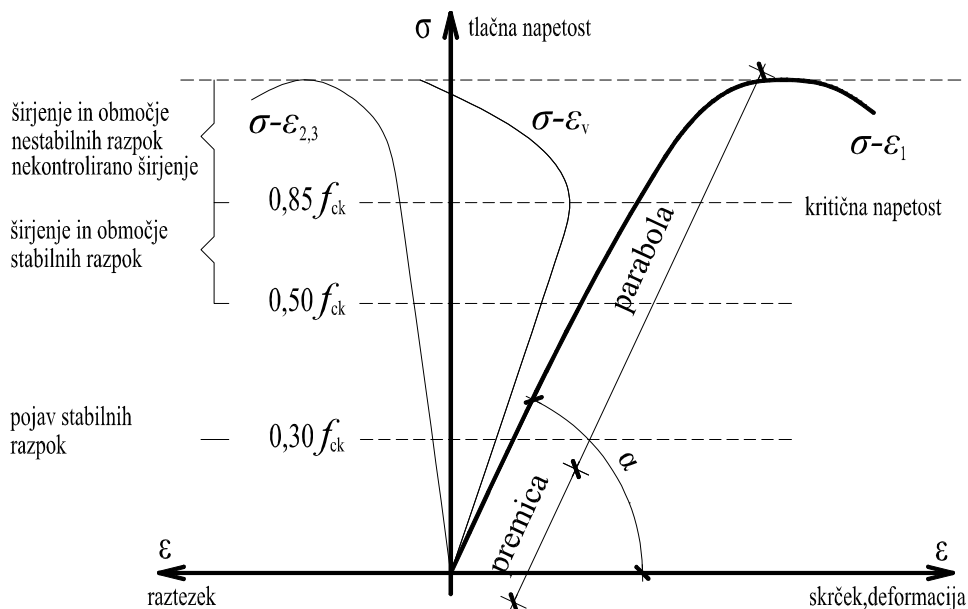
Med preizkusom na preizkušane nanašamo centrično tlačno obremenitev. Ko beton tlačimo, se delci izrivajo, kar privede do pojava nateznih napetosti v prečni smeri in posledično do nastanka razpok. Pri tem se material mehča, zaradi tega se betonu zmanjša togost. Na sliki 3.2.2 prikazujemo napetostno in deformacijsko stanje v vzorcu med enoosnim tlačnim preizkusom.



Slika 3.2.2: Smeri nanašanja napetosti in smeri deformacij (Fischinger, 2006)

Pri tem z ε_1 označimo osno deformacijo, z $\varepsilon_{2,3}$ označimo prečni deformaciji v eni in drugi smeri, z ε_V pa volumensko deformacijo, kjer velja $\varepsilon_V = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$.

Rezultate preizkusa predstavimo v obliki zveze med napetostjo in deformacijami (Slika 3.2.3).

Slika 3.2.3: Diagram $\sigma - \varepsilon_{1,2,3}$ (Fischinger, 2006)

V začetku preizkusa je odnos med napetostjo σ in osno deformacijo ε_1 linearen. Velja zveza:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_1, \quad (3.1)$$

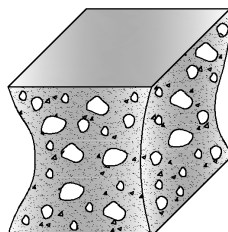
kjer je E elastični modul betona, določen s $\text{tg}\alpha$, kjer je α kot, ki ga oklepa linearni del diagrama z osjo deformacije.

$$E = \text{tg}\alpha \quad (3.2)$$

Zaradi prekomernega razrivanja delcev se pojavijo v prečni smeri natezne deformacije, prav tako se zaradi osne sile volumen preizkušanca zmanjša. Nastanejo stabilne razpoke.

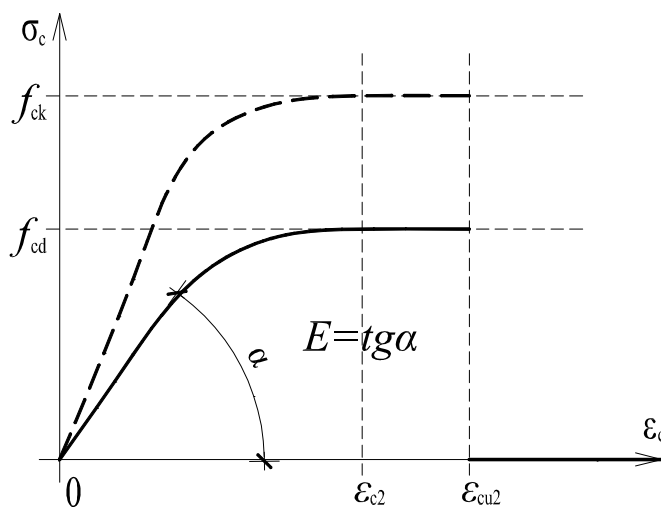
S povečevanjem obtežbe se pojavijo nove razpoke. Pri obtežbi v velikosti med 75 % in 85 % mejne obtežbe pride do burnih reakcij v betonu, širjenje razpok je hitro in nestabilno. Odnos $\sigma - \varepsilon_1$ postane izrazito nelinearen. Raztezek v prečni smeri se hitro povečuje, prav tako se povečuje volumen preizkušanca (Fischinger, 2006).

Tlačne obremenitve postanejo tako velike, da preizkušavec razrinejo v prečni smeri, kar privede do porušitve. Pri tem nastane tipična oblika preizkušanca v obliki peščene ure (Slika 3.2.4).



Slika 3.2.4: Oblika porušenega preizkušanca (SIST, SIST EN 12390-3 Preskušanje strnjenege betona - 3. del: Tlačna trdnost preskušancev, 2009, str. 8).

Pri dimenzioniranju AB prečnih prerezov pa uporabljamo idealizirano zvezo med tlačno napetostjo in osno deformacijo. Zvezo imenujemo delovni diagram betona v tlaku, ki je podana s parabolo in premico. Diagram prikazujemo na sliki 3.2.5.



Slika 3.2.5: Delovni diagram tlačnega betona (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 38)

Na sliki 3.2.5 je f_{ck} karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na valju, f_{cd} pa je projektna vrednost tlačne trdnosti betona.

Sovisnost med napetostjo in deformacijo zapišemo z naslednjimi izrazi:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= -f_{cd} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{|\varepsilon_c|}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right) \right] && \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ \sigma_c &= -f_{cd} && \text{za } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \\ \sigma_c &= 0 && \text{za } \varepsilon_c > \varepsilon_{cu2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Pri tem je n eksponent, ki je za betone običajnih trdnosti kar enak 2 (Slika 3.2.6), ε_{c2} je tlačna deformacija betona pri doseženi največji napetosti, ε_{cu2} pa je mejna tlačna deformacija betona. Odvisnost omenjenih spremenljivk od trdnostnega razreda betona prikazujemo na sliki 3.2.6.

Trdnostni razredi betona														Analični izraz / Pojasnilo	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ (5 % fraktila)
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$ (95 % fraktila)
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)^{0.3}]$ (f_{cm} v MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	glej sliko 3.2 $\varepsilon_{c1}(\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0.31} < 2.8$
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	glej sliko 3.2 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu1}(\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	glej sliko 3.3 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c2}(\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0.53}$
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	glej sliko 3.3 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	za $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	glej sliko 3.4 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c3}(\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	glej sliko 3.4 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu3}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

Preglednica 3.1: Trdnostne in deformacijske lastnosti betona

Slika 3.2.6: Trdnostne in deformacijske lastnosti betona (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 32)

Za beton trdnostnega razreda C25/30 so materialne karakteristike sledeče: $f_{ck} = 25$ MPa = 2,5 kN/cm², $f_{ck,kocka} = 30$ MPa, $\varepsilon_{c2} = -2,0$ ‰ in $\varepsilon_{cu2} = -3,5$ ‰. Projektno tlačno trdnost betona izračunamo na sledeč način:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa} = 1,67 \text{ KN/cm}^2, \quad (3.4)$$

kjer je γ_c varnostni faktor za beton in je enak 1,5 (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 28).

3.2.2 Jeklo za armiranje

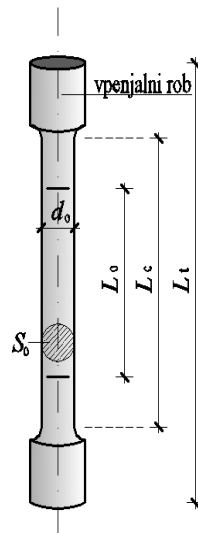
Pri pridobivanju jekla najprej potrebujemo železo, ki ga s koksom, z apnencem in dodatki vstavimo v plavž, kjer se pri temperaturi 1100 °C vpihuje zrak. Koks reagira s kisikom, kar privede do izločanja železa iz rude. Pri tem temperatura naraste na 3000 °C, ki tali železo. Železo, ki ga iz plavža vlivamo v ingote imenujemo grodelj. Osnovna surovina za jeklo je beli grodelj, ki ima vezan ogljik kot železov karbid. Beli grodelj vstavimo v konverter, kjer skozi odprtine vpihuje vroč zrak, ki povzroča izgorevanje ogljika. Na koncu procesa vlijemo jeklo v ingote, iz katerih se v livarni in valjarni izdelujejo različni polizdelki. Gladke in rebraste palice za armaturo se izdelujejo z vročim valjanjem, spiralne rebraste palice pa z naknadnim hladnim preoblikovanjem (Žarnić, 2005, str. 142, 143).

Za izračun potrebne armature je treba izbrati kvaliteto jekla, to je natezna trdnost, določena z enosnim nateznim preizkusom na preizkušancu.

S standardnim enosnim nateznim preizkusom določimo natezno trdnost jekla in zvezo med napetostjo in deformacijami. Po ISO 6892-1:2010 osnovni preizkušavec imenujemo epruveta (Slika 3.2.7). Epruveta je proporcionalni preizkušavec, kjer je L_t dolžina celotnega preizkušanca, L_c je dolžina epruvete, L_0 je razdalja med oznakama na preizkušancu, S_0 je površina prečnega prereza preizkušanca, d_0 pa je premer prereza preizkušanca. Navedene dimenzije so določene pred obremenitvijo. Pri tem velja:

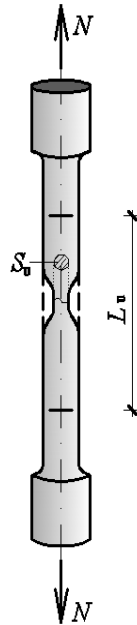
$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0} \quad (3.5)$$

(SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 44).



Slika 3.2.7: Proporcionalni preizkušavec oziroma epruveta pred testom (SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 30)

Preizkušavec vstavimo v napravo ter ga centrično natezno obremenimo. Enosni natezni preizkus je najenostavnejša metoda za določitev osnovnih parametrov materiala. Preizkus izvajamo pri konstantni temperaturi 20 °C. Na sliki 3.2.8 prikazujemo preizkušavec po obremenitvi. Pri tem z N označimo osno silo, z L_u razdaljo med oznakama na preizkušancu po obremenitvi, površino prečnega prereza preizkušanca po obremenitvi pa z S_u (SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 44).



Slika 3.2.8: Preizkušaneec po testu (SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010 Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi, 2010, str. 30)

Normalno napetost, ki jo označimo s σ , definiramo z enačbo (3.6), specifično spremembo dolžine ε_l z enačbo (3.7), kjer je ΔL sprememba dolžine preizkušanca, specifično spremembo premera preizkušanca ε_p pa definiramo z enačbo (3.8). Pri tem je Δd sprememba premera preizkušanca.

$$\sigma = \frac{N}{S_0}, \quad (3.6)$$

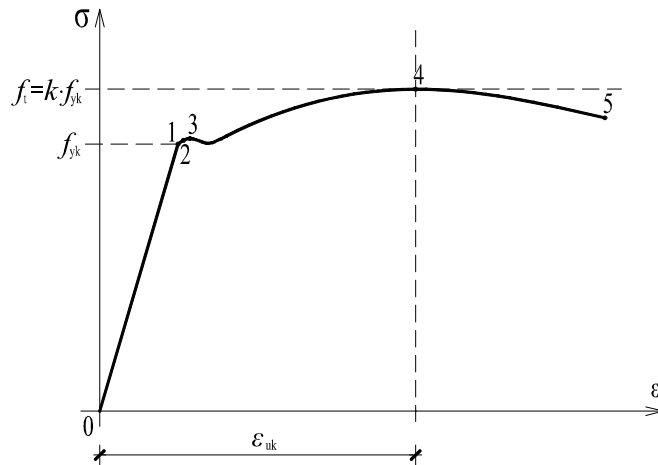
$$\varepsilon_l = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad (3.7)$$

$$\Delta L = L_u - L_0,$$

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3.8)$$

Ker govorimo o enosnem nateznem preizkusu, v nadaljevanju deformacijo ε_l nadomestimo z ε oziroma z ε_s .

Medsebojno odvisnost med vzdolžno normalno napetostjo in vzdolžno specifično spremembo dolžine prikažemo z $\sigma - \varepsilon$ diagramom na sliki 3.2.9.



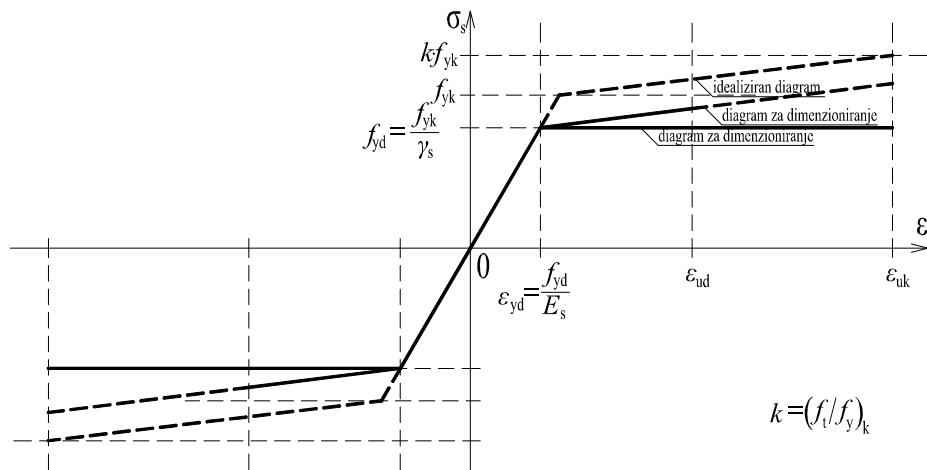
Slika 3.2.9: Dejanski diagram jekla (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 42)

V nadaljevanju podrobneje opišemo posamezne dele diagrama:

- Med točkama »0« in »1« diagram poteka po premici, napetost narašča premo sorazmerno z raztezkom. To območje imenujemo linearno elastično območje. V kolikor v tem delu napetost zmanjšamo, se preizkušavec povrne v prvotno obliko. Točka »1« označuje mejo proporcionalnosti, od tu naprej se linearnost izgubi, vendar je obnašanje preizkušanca še vedno elastično.
- Med točkama »1« in »2« je območje nelinearne elastičnosti. Točka »2« označuje mejo elastičnosti. Od tu naprej se deformacije ohranjajo in začne se plastično tečenje.
- Točka »3« označuje mejo tečenja. Od tu naprej material ne nudi več odpora nadaljnji obremenitvi. Material v tem delu plastično teče.
- Med točkama »3« in »4« je območje plastičnega tečenja in utrujanja. Po začetnem hitrem naraščanju deformacij nad mejo tečenja (nad točko »3«) se material ponovno začne upirati obremenitvi. Tu deformacija raste le, če povečujemo napetost. Ta pojav imenujemo utrditev materiala.
- V točki »4« v materialu dosežemo največjo napetost, ki jo imenujemo natezna trdnost materiala. Od tu naprej se material ne da več obremenjevati in napetost se manjša, deformacija pa se povečuje.
- Med točkama »4« in »5« nazivna napetost pada, deformacija pa se povečuje, vse dokler se v točki »5« preizkušavec ne poruši.

(Srpčič, 2003, str. 303, 304)

Za dimenzioniranje uporabljamo računski diagram, ki predstavlja idealizirano sovisnost med napetostjo in deformacijo jekla za armiranje v nategu in tlaku. Prikazujemo ga na sliki 3.2.10.



Slika 3.2.10: Računski diagram jekla, (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 43)

Na sliki 3.2.10 je f_{yk} karakteristična meja elastičnosti, $f_{tk} = k \cdot f_{yk}$ je karakteristična natezna trdnost armature, ε_{uk} je karakteristična deformacija armature pri največji obremenitvi, E_s pa modul elastičnosti. Dimenzioniranje temelji na projektnih vrednostih: f_{yd} , f_{td} in $\varepsilon_{ud} = 0,90 \varepsilon_{uk}$. Pri tem sovisnost med napetostjo in deformacijo zapišemo z naslednjimi izrazi:

$$\begin{aligned} \sigma_s &= E_s \cdot \varepsilon_s & 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd} & \quad (3.9) \\ \sigma_s &= f_{yd} & \varepsilon_{yd} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud} & \\ \sigma_s &= E_s \cdot \varepsilon_s & -\varepsilon_{yd} \leq \varepsilon_s \leq 0 & \\ \sigma_s &= -f_{yd} & -\varepsilon_{ud} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd} & \end{aligned}$$

V enačbah (3.9) upoštevamo vodoravno zgornjo vejo diagrama. Za armaturo razreda S500 B so materialne karakteristike sledeče: $f_{yk} = 50 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, $E_s = 200 \text{ GPa}$ in $\varepsilon_{uk} = 50 \text{ ‰}$. Projektno tlačno in natezno trdnost armature izračunamo na sledeč način:

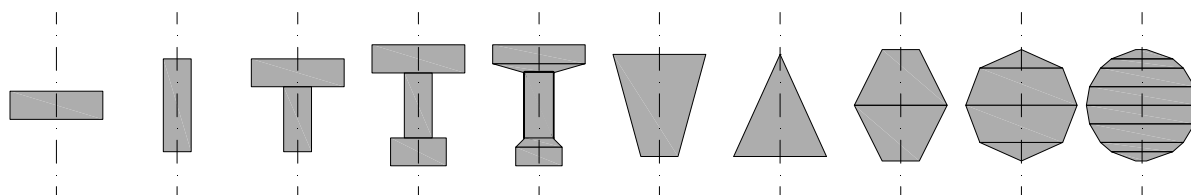
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,7 \text{ MPa} = 43,47 \text{ KN/cm}^2, \quad (3.10)$$

kjer je γ_s varnostni faktor za jeklo in je enak 1,15 (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 28).

3.3 Prečni prerez AB elementa

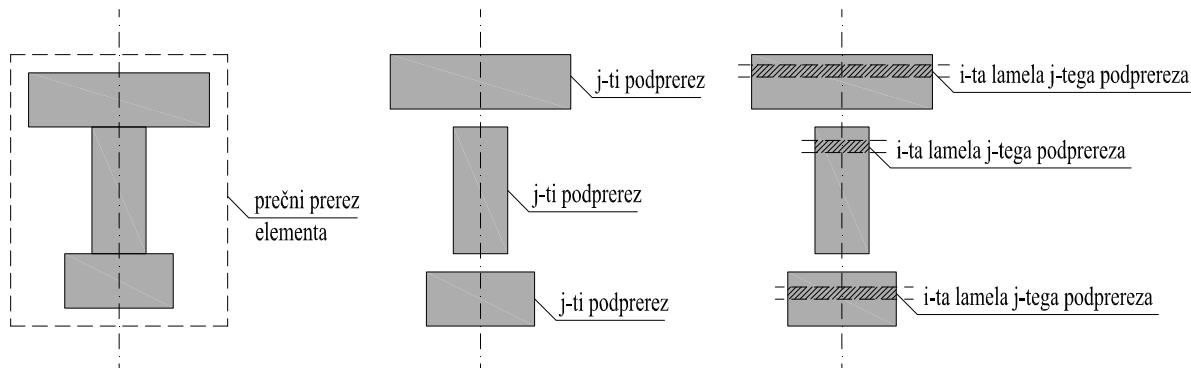
Prečni prerez AB elementa je sestavljen iz betonskega dela prereza, ki je lahko načeloma poljubne oblike, ter iz vzdolžne in prečne armature. Pri analizi prereza na osno-upogibno obremenitev vsako vzdolžno armaturo obravnavamo točkovno, saj je prečni prerez posamezne armaturne palice majhen v primerjavi z velikostjo celotnega prereza. Obravnavamo prečne prereze, ki so enojno simetrični okoli ene (vertikalne) osi, pri tem lahko prerez poljubne oblike sestavimo s pomočjo podprerezov pravokotne oziroma trapezne oblike.

Na sliki 3.3.1 prikazujemo različne oblike prečnih prerezov, sestavljenih iz podprerezov.



Slika 3.3.1: Različne oblike prečnih prerezov, sestavljenih iz podprerezov

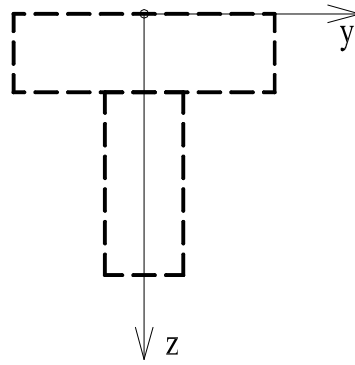
Pri analizi napetostnega in deformacijskega stanja v betonskem delu prečnega prereza, ki je pri osno-upogibni obremenitvi razpokan, posamezne podprereze nadalje delimo še na lamele, kot to prikazujemo na sliki 3.3.2. Pri tem z indeksom j označimo številko podprereza ($j = 1, \dots, n$), kjer je n število vseh podprerezov, z indeksom i pa številko lamele v j -tem podprerezu ($i = 1, \dots, m_j$). Pri tem je m_j število lamel v j -tem podprerezu.



Slika 3.3.2: Razdelitev prečnega prereza na podprereze in lamele

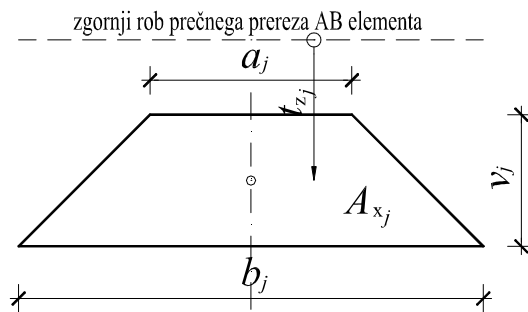
3.3.1 Podprerezi in lamele

Na sliki 3.3.3 prikazujemo izhodišče koordinatnega sistema. Postavimo ga na zgornji rob prečnega prereza. Podprereze podajamo v smeri pozitivne koordinate z , to pomeni od zgoraj navzdol. Pri tem predpostavimo, da so vsi podprerezi simetrični glede na navpično os z .



Slika 3.3.3: Izhodišče koordinatnega sistema prečnega prereza

Za vsak podprez trapezne oblike definiramo naslednje geometrijske podatke: širino na zgornjem robu a_j , širino na spodnjem robu b_j , višino v_j , oddaljenost težišča od zgornjega roba t_{z_j} in površino podpreza A_{x_j} . Prikazujemo jih na sliki 3.3.4.

Slika 3.3.4: Geometrijski podatki j -tega podpreza

Zaradi upoštevanja simetrije prereza okrog navpične osi moramo pri določitvi lege težišča posameznega podpreza izračunati le oddaljenost v smeri navpične osi (koordinatna os z).

Površino j -tega podpreza in oddaljenost centra višine podpreza od zgornjega roba prereza izračunamo z izrazi:

$$A_{x_j} = \left(\frac{a_j + b_j}{2} \right) \cdot v_j, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.11)$$

$$t_{z_j} = \frac{v_j}{2} + \sum_{j=1}^n v_{j-1} \quad [\text{cm}] \quad (3.12)$$

Statični moment j -tega podpreza pa izračunamo z izrazom:

$$S_{y_j} = A_{x_j} \cdot t_{z_j} \quad [\text{cm}^3] \quad (3.13)$$

Skupno višino prečnega prereza h , njegovo površino A_x in statični moment S_y dobimo kot vsoto prispevkov posameznih podprezov in sicer:

$$h = \sum_{j=1}^n v_j, \quad [\text{cm}] \quad (3.14)$$

$$A_x = \sum_{j=1}^n A_{xj}, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.15)$$

$$S_y = \sum_{j=1}^n S_{yj} \quad [\text{cm}^3] \quad (3.16)$$

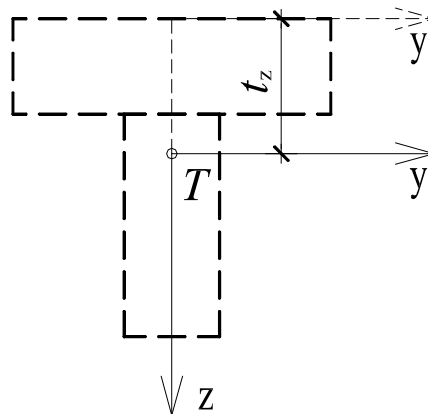
Težišče skupnega prečnega prereza označimo s $T(t_y, t_z)$. Lego težišča določata koordinati t_y in t_z , ki ju določimo z izrazoma:

$$t_y = 0 \text{ in} \quad [\text{cm}] \quad (3.17)$$

$$t_z = \frac{S_y}{A_x} \quad [\text{cm}]$$

Ker je prečni prerez simetričen glede na navpično os z , je razumljivo, da je vrednost koordinate t_y enaka 0.

Za nadaljnje izračune izhodišče koordinatnega sistema z zgornjega roba prestavimo v težišče prečnega prereza, kot to prikazujemo na sliki 3.3.5. Tudi obremenitev prereza učinkuje v njegovem težišču.



Slika 3.3.5: Izhodišče koordinatnega sistema v težišču prereza

V nadaljevanju določimo še oddaljenost zgornjega oziroma spodnjega roba prečnega prereza od težišča T in sicer:

$$zg = -t_z \text{ in} \quad [\text{cm}] \quad (3.18)$$

$$sp = zg + h \quad [\text{cm}]$$

Predpostavimo, da vzdolžna armatura prečnega prereza leži v dveh ravninah, ki sta vzporedni s koordinatno osjo y . Zgornja ravnina leži bližje zgornjemu robu, spodnja pa bližje spodnjemu. Pri tem z la' označimo oddaljenost zgornje ravnine od zgornjega roba, z la pa oddaljenost spodnje od spodnjega roba. Oddaljenost armaturnih ravnin od težišča prereza T izračunamo z izrazoma:

$$z_{s1} = zg + la' \text{ in} \quad [\text{cm}] \quad (3.19)$$

$$z_{s2} = sp - la \quad [\text{cm}]$$

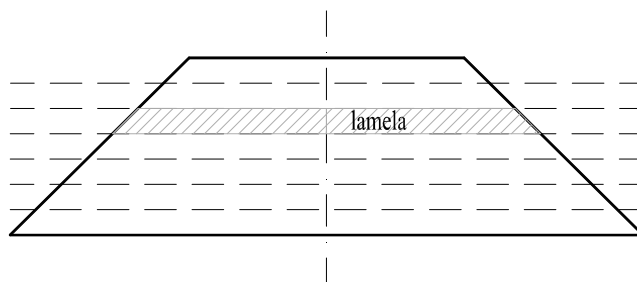
Pri dimenzioniranju prečnega prereza na osno-upogibno obremenitev moramo v mejnih stanjih nosilnosti dokazati, da je odpornost oziroma nosilnost prereza večja od njegove obremenitve. To formalno zapišemo kot:

$$N_{Rd} \geq N_{Ed} \text{ in} \quad (3.20)$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

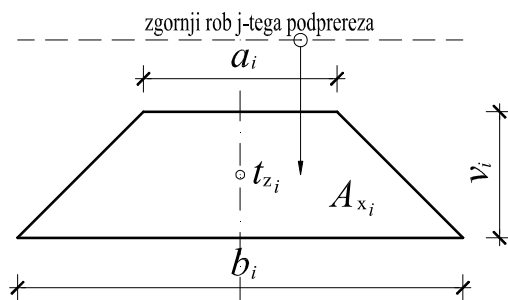
kjer sta N_{Ed} in M_{Ed} projektne vrednosti osne in upogibne obremenitve prereza zaradi delovanja zunanje obtežbe, N_{Rd} in M_{Rd} pa sta pripadajoči projektne odpornosti razpokanega prečnega prereza, ki ju zagotovimo z ustrezno izbiro betonskega prereza in vzdolžne armature.

Odpornost razpokanega prečnega prereza izračunamo z integracijo normalnih napetosti po betonskem delu prereza in armaturi. Zaradi numeričnega reševanja podprereze razdelimo na lamele, kot prikazujemo na sliki 3.3.6. Čim tanjša je lamela, tem manjša je napaka pri numeričnem računu. Vendar pa s prevelikim številom lamel preobremenimo sistem in povečamo čas računa. Glede na ugotovitve med testiranjem izračunov priporočamo, da je za prečne prereze običajnih dimenzij (npr. do višine enega metra) število lamel kar enako višini podprereza v centimetrih oziroma ne večje od trikratnika višine podprereza.



Slika 3.3.6: Razdelitev podprereza na lamele

Podobno kot pri podprerezu sedaj definiramo še geometrijske količine i -te lamele j -tega podprereza. Prikazujemo jih na sliki 3.3.7.



Slika 3.3.7: Lamela

Z a_i in b_i označimo širino i -te lamele na zgornjem oziroma spodnjem robu, v_i je njena višina, t_{z_i} je oddaljenost centra višine i -te lamele od zgornjega roba podprereza, A_{x_i} pa je površina i -te lamele.

V kolikor j -ti podprez razdelimo na m_j enakih lamel, je višina posamezne lamele določena z enačbo:

$$v_i = \frac{v_j}{m_j} \quad [\text{cm}] \quad (3.21)$$

Ker so vse lamele enakih višin, velja:

$$v_1 = v_2 = \dots = v_i = \dots = v_{m_j} \quad [\text{cm}] \quad (3.22)$$

Spremembo širine i -te lamele p_i definiramo z enačbo:

$$p_i = \frac{b_j - a_j}{m_j} \quad [\text{cm}] \quad (3.23)$$

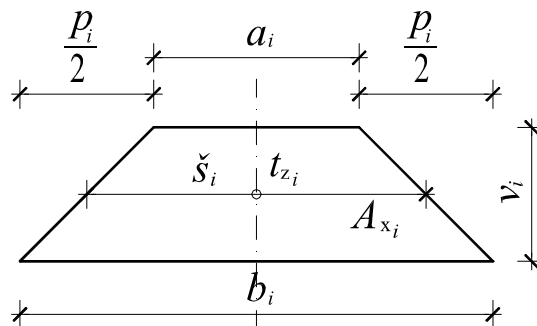
Širino i -te lamele na zgornjem oziroma spodnjem robu izračunamo z enačbama:

$$a_i = a_j + (i - 1) p_i \quad [\text{cm}] \quad (3.24)$$

$$b_i = a_i + p_i \quad [\text{cm}]$$

Povprečna širina lamele \check{s}_i pa je (Slika 3.3.8):

$$\check{s}_i = \frac{b_i + a_i}{2} \quad [\text{cm}] \quad (3.25)$$



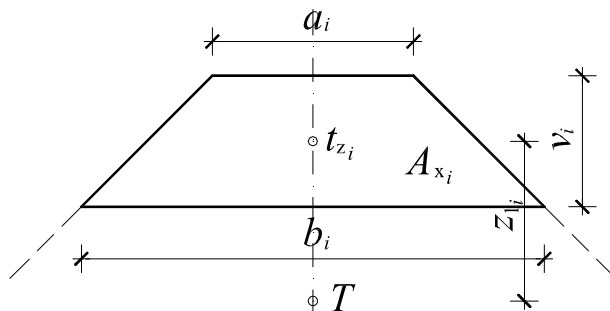
Slika 3.3.8: Sprememba širine in povprečna širina i -te lamele

Sedaj lahko določimo še površino i -te lamele:

$$A_{x_i} = \check{s}_i \cdot v_i \quad [\text{cm}^2] \quad (3.26)$$

Razdaljo med težiščem oziroma centrom višine i -te lamele, ki leži v j -tem podprezu, in težiščem skupnega prečnega prereza T izračunamo z enačbo (Slika 3.3.9):

$$z_{1i} = z_g + \sum_{j=1}^{i-1} v_j + (i - 1)v_i + \frac{v_i}{2} \quad [\text{cm}] \quad (3.27)$$

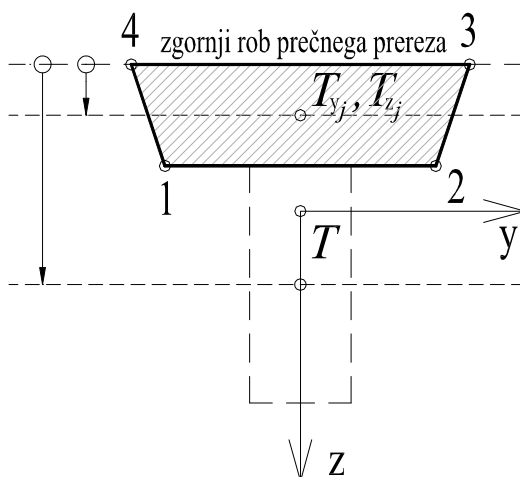


Slika 3.3.9: Oddaljenost težišča i -te lamele j -tega podprereza od težišča skupnega prečnega prereza

S tem smo definirali prerez poljubne oblike, ki je simetričen okoli ene (vertikalne) osi, ter sestavljen iz poljubnega števila podprerezov. V nadaljevanju predstavimo račun deformacij in napetosti po prerezu.

3.3.2 Izris podprereza

Za izris prereza potrebujemo koordinate vozlišč vseh podprerezov, ki sestavljajo obravnavan AB prečni prerez (Slika 3.3.10).



Slika 3.3.10: Definiranje podprereza s štirimi točkami

Koordinate posameznih vozlišč j -tega podprereza izračunamo s pomočjo naslednjih izrazov:

Točka 1:

$$\begin{aligned} y_{1j} &= T_{y_j} - \frac{b_j}{2} \\ z_{1j} &= T_{z_j} + \frac{v_j}{2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Točka 2:

$$\begin{aligned} y_{2j} &= T_{y_j} + \frac{b_j}{2} \\ z_{2j} &= T_{z_j} + \frac{v_j}{2} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Točka 3:

$$\begin{aligned}y_{3j} &= T_{y_j} + \frac{a_j}{2} \\z_{3j} &= T_{z_j} - \frac{v_j}{2}\end{aligned}\tag{3.30}$$

Točka 4:

$$\begin{aligned}y_{4j} &= T_{y_j} - \frac{a_j}{2} \\z_{4j} &= T_{z_j} - \frac{v_j}{2}\end{aligned}\tag{3.31}$$

Pri tem sta T_{y_j} in T_{z_j} koordinati sredinske točke j -tega podprereza. Izračunamo ju z enačbama:

$$\begin{aligned}T_{y_j} &= 0 \text{ in} \\T_{z_j} &= zg + \frac{v_j}{2} + \sum_{\bar{j}=1}^n v_{j-1}\end{aligned}\tag{3.32}$$

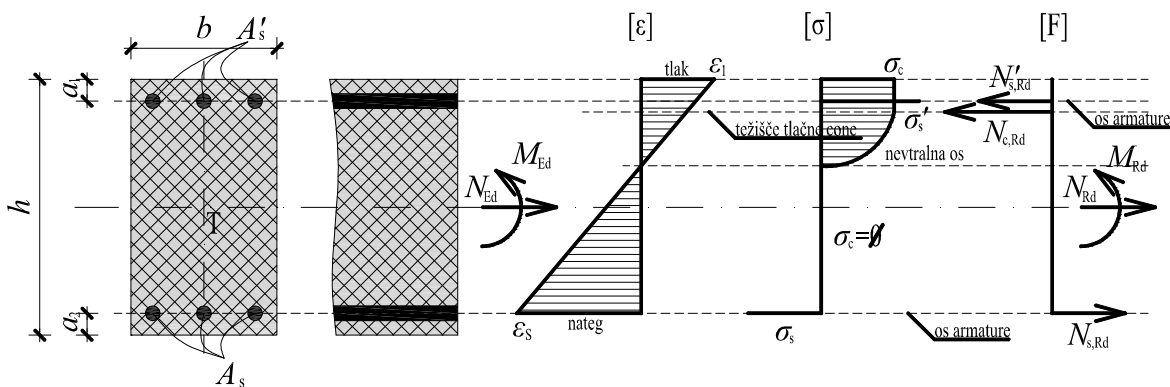
3.4 Deformacije in napetosti

Pri analizi napetostnega in deformacijskega stanja v prečnem prerezu upoštevamo naslednje predpostavke:

- Bernoulli-Navierova hipotezo, ki določa, da deformacije po prerezu potekajo linearno ter da ravni prečni prerez pred deformiranjem ostane raven tudi po deformiranju,
- sovisnost med napetostjo in deformacijo v betonu in armaturi upoštevamo skladno z idealiziranimi konstitutivnimi zakoni oziroma s t.i. delovnimi diagrami,
- natezno nosilnost betona zanemarimo,
- stik med betonom in armaturo se ne poruši, kar pomeni, da so deformacije betona in armature na medsebojnem stiku enake,
- vsaj v eni točki prečnega prereza moramo zagotoviti mejno deformacijo in sicer bodisi mejno deformacijo jekla za armiranje in/ali pa mejno tlačno deformacijo betona. Pri mali ekscentričnosti tlačne osne sile pa moramo zagotoviti mejno tlačno deformacijo betona.

(Beg in Pogačnik, 2009, str. 2-44)

Na sliki 3.4.1 prikazujemo potek vzdolžnih deformacij in napetosti po razpokanem AB prečnem prerezu, ki je obremenjen z osno silo in upogibnim momentom.

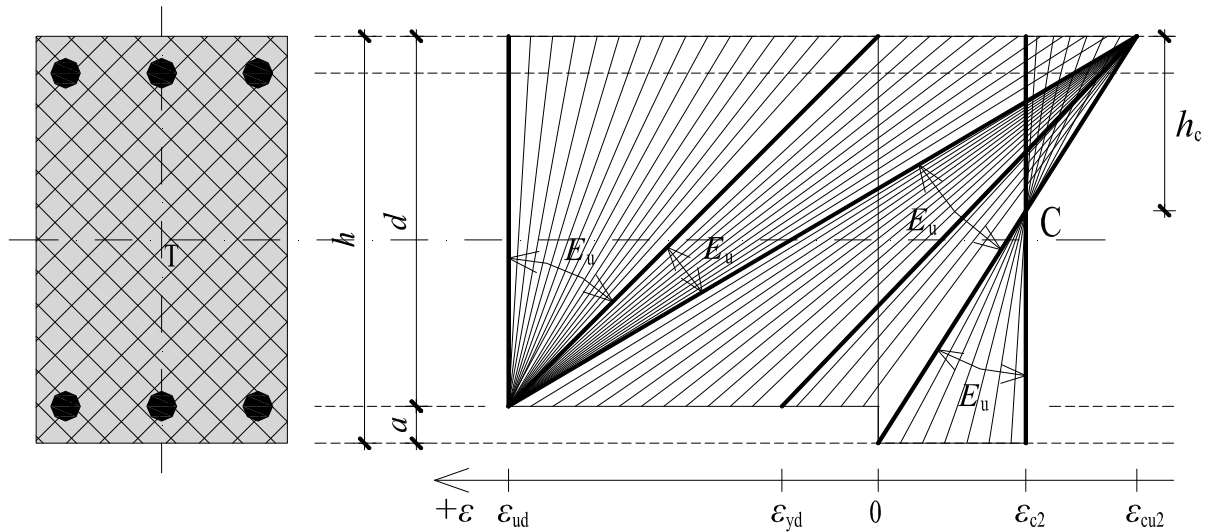


Slika 3.4.1: Potek deformacij in napetosti po prerezu ter prikaz sil

Potek deformacijske ravnine določata robni deformaciji in sicer tlačna deformacija ε_1 na tlačno obremenjenem robu betonskega prereza ter natezna deformacija ε_s na mestu vzdolžne natezno obremenjene armature. S pomočjo znanih sovisnosti med deformacijami in napetostmi v betonu oziroma armaturi lahko določimo tudi potek napetosti po tlačno obremenjenem delu betonskega prereza ter napetosti v spodnji oziroma zgornji armaturi. Z integracijo napetosti po ustrezni površini izračunamo odpornost tlačno obremenjenega betona $N_{c,Rd}$, ter odpornosti tlačno oziroma natezno obremenjene armature $N'_{s,Rd}$ in $N_{s,Rd}$ (Slika 3.4.1).

3.4.1 Mejne deformacijske ravnine

O mejni deformacijski ravnini govorimo takrat, ko vsaj v eni točki prečnega prereza zagotovimo mejno deformacijo. To pomeni, da lahko na tlačno obremenjenem robu betonskega prereza zagotovimo mejno tlačno deformacijo betona ε_{cu2} , lahko pa na mestu vzdolžne natezno obremenjene armature zagotovimo mejno deformacijo armature ε_{ud} . Pri mali ekscentričnosti tlačne osne sile pa moramo v točki C, ki se nahaja na oddaljenosti h_c od zgornjega roba, zagotoviti tlačno deformacijo betona pri največji napetosti ε_{c2} . Na sliki 3.4.2 prikazujemo nabor mejnih deformacijskih ravnin, ki izpolnjujejo zgoraj navedene pogoje.



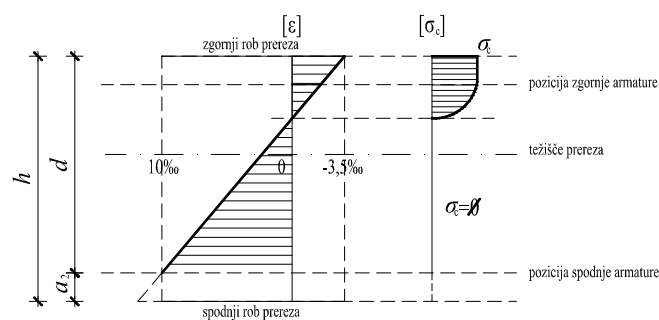
Slika 3.4.2: Mejne deformacijske ravnine AB prereza (Beg in Pogačnik, 2009, str. 2-44)

Lego točke C določa razdalja h_c , ki je:

$$h_c = \left(1 - \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2}}\right) \cdot h \quad [\text{cm}] \quad (3.33)$$

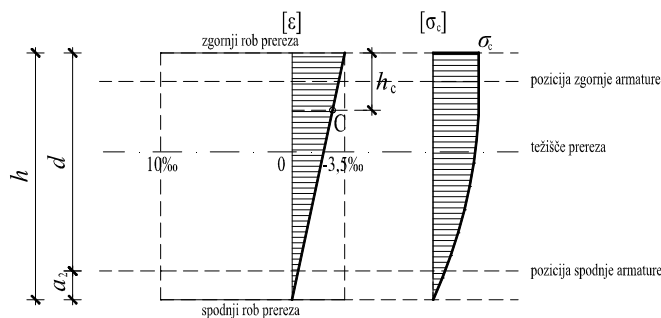
3.4.2 Velika in mala ekscentričnost

O veliki ekscentričnosti osno-upogibne obremenitve govorimo takrat, ko je del prereza tlačno obremenjen, del pa natežno. Nevtralna os, kjer je deformacija enaka 0, leži v prerezu. Potek vzdolžnih deformacij in napetosti po prečnem prerezu v primeru velike ekscentričnosti prikazujemo na sliki 3.4.3. Na tlačno obremenjenem robu betonskega prereza je zagotovljena mejna tlačna deformacija betona $\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu2} = -3,5\text{‰}$, na mestu vzdolžne natežno obremenjene armature pa mejna deformacija armature $\varepsilon_s = \varepsilon_{ud} = 10\text{‰}$.



Slika 3.4.3: Velika ekscentričnost osno-upogibne obremenitve

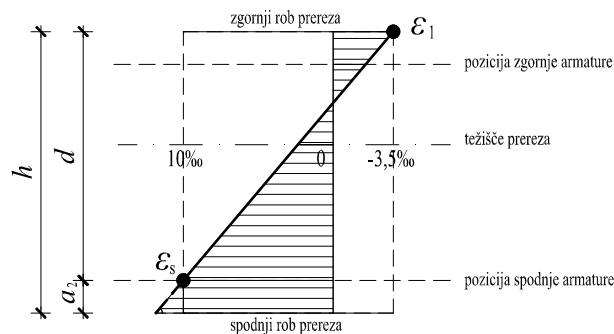
O mali ekscentričnosti osno-upogibne obremenitve pa govorimo takrat, ko je celoten prezek tlačno obremenjen (lahko tudi natežno), to pomeni, da nevtralna os leži izven prereza. Potek normalnih deformacij in napetosti po prerezu v primeru male ekscentričnosti tlačne osne sile pa prikazujemo na sliki 3.4.4. Na zgornjem robu betonskega prereza je zagotovljena mejna tlačna deformacija betona $\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu2} = -3,5\text{‰}$, na spodnjem robu pa je vzdolžna deformacija $\varepsilon_2 = 0\text{‰}$. V točki C, ki je na oddaljenosti h_c od zgornjega roba, je tlačna deformacija enaka deformaciji betona pri največji napetosti $\varepsilon_{c2} = -2,0\text{‰}$.



Slika 3.4.4: Mala ekscentričnost tlačne osne sile

3.4.3 Deformacije v značilnih točkah

Na sliki 3.4.5 prikazujemo mejno deformacijsko ravnino za primer velike ekscentričnosti osno-upogibne obremenitve. Izbrani robni deformaciji sta $\varepsilon_1/\varepsilon_s = -3,5/10$ ‰.

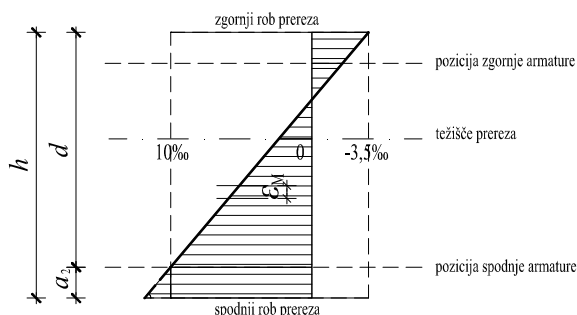


Slika 3.4.5: Robni deformaciji

Z ε_M označimo zasuk deformacijske ravnine (Slika 3.4.6), ki ga izračunamo z izrazom:

$$\varepsilon_M = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_1}{h - a_2} \quad (3.34)$$

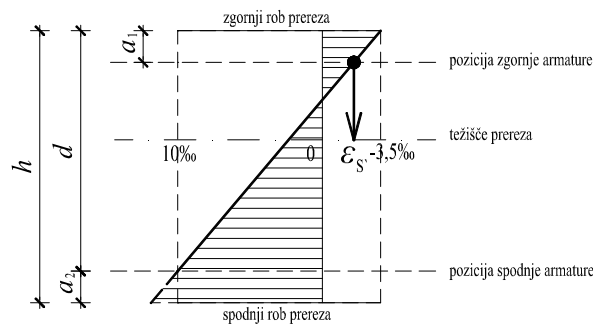
Pri tem je a_2 oddaljenost spodnje (natezno obremenjene) armaturne ravnine od spodnjega roba.



Slika 3.4.6: Zasuk deformacijske ravnine

Deformacijo betona ε_s' na mestu zgornje (tlačno obremenjene) armaturne ravnine (Slika 3.4.7), ki leži na oddaljenosti a_1 od zgornjega roba, izračunamo z izrazom:

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_1 + \varepsilon_M \cdot a_1 \quad (3.35)$$

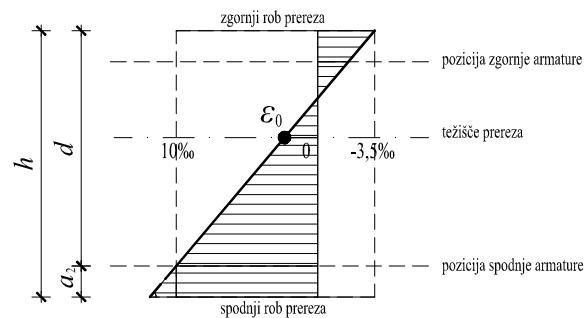


Slika 3.4.7: Deformacija betona na mestu zgornje armaturne ravnine

Vzdolžno deformacijo v težišču prereza ε_0 (Slika 3.4.8) izračunamo z izrazom:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 - \varepsilon_M \cdot zg, \quad (3.36)$$

kjer je zg oddaljenost zgornjega roba od težišča AB prereza. Velja $zg < 0$.

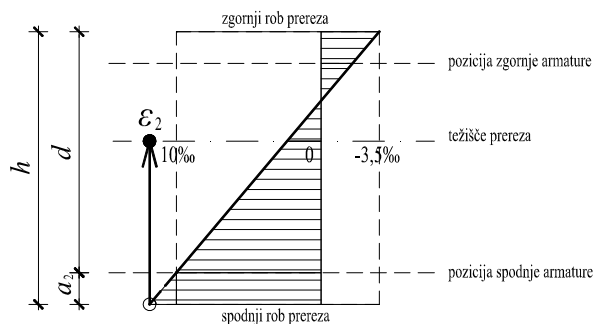


Slika 3.4.8: Deformacija betona v težišču prereza

Deformacijo betona na spodnjem robu prereza ε_2 (Slika 3.4.9) pa izračunamo s pomočjo enačbe:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_0 + \varepsilon_M \cdot sp, \quad (3.37)$$

kjer je sp oddaljenost spodnjega roba od težišča prečnega prereza.



Slika 3.4.9: Deformacija betona na spodnjem robu prereza

Deformacija betona v točki C, označimo jo z ε_{hc} , pa je podana z izrazom:

$$\varepsilon_{hc} = \varepsilon_1 + \varepsilon_M \cdot h_c \quad (3.38)$$

Deformacijo betona v srednji točki i -te lamele izračunamo s pomočjo izraza:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_0 + z_{1i} \cdot \varepsilon_M \quad (3.39)$$

Pri tem je z_{1i} oddaljenost srednje točke i -te lamele od težišča skupnega prečnega prereza.

3.4.4 Napetost betona v i -ti lameli prereza

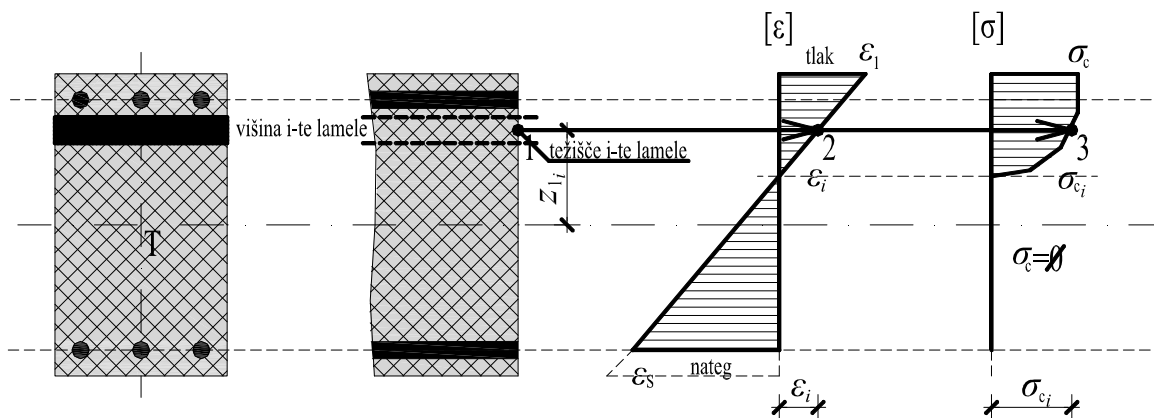
Na podlagi znane deformacije betona v srednji točki i -te lamele ε_i lahko s pomočjo delovnega diagrama betona v tlaku, podanega s parabolo in premico, izračunamo pripadajočo napetost σ_{ci} . Uporabimo naslednje izraze, ki veljajo za tlačno obremenjeni del betonskega prečnega prereza:

$$\sigma_{ci} = -f_{cd} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{|\varepsilon_{ci}|}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right) \quad 0 \leq \varepsilon_{ci} \leq \varepsilon_{c2} \quad (3.40)$$

$$\sigma_{ci} = -f_{cd} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_{ci} \leq \varepsilon_{cu2}$$

$$\sigma_{ci} = 0 \quad \varepsilon_{ci} > \varepsilon_{cu2}$$

Na sliki 3.4.10 prikazujemo tlačno deformacijo ε_i in pripadajočo napetost σ_{ci} v i -ti lameli.



Slika 3.4.10: Določitev napetosti betona v srednji točki i -te lamele

3.4.5 Napetost v armaturi

Ob upoštevanju predpostavke o kompatibilnosti deformacij betona in armature na medsebojnem stiku iz mejne deformacijske ravnine določimo deformacijo v betonu na mestu spodnje oziroma zgornje armaturne ravnine. Napetost v armaturi določimo na podlagi idealizirane sovisnosti med deformacijo in napetostjo, ki je podana v obliki antisimetričnega bilinearnega diagrama in sicer po enačbah:

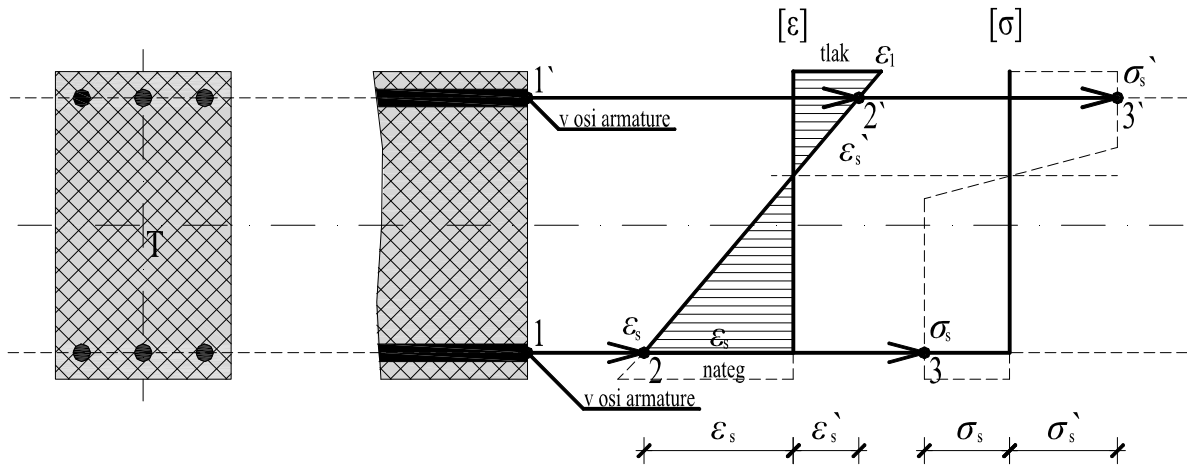
$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd} \quad (3.41)$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad -\varepsilon_{yd} \leq \varepsilon_s < 0$$

$$\sigma_s = -f_{yd} \quad -\varepsilon_{ud} \leq \varepsilon_s < -\varepsilon_{yd}$$

Na sliki 3.4.11 prikazujemo deformaciji ε_s in ε'_s in pripadajoči napetosti σ_s in σ'_s v spodnji oziroma zgornji armaturi.



Slika 3.4.11: Določitev napetosti v zgornji in spodnji armaturi

Na sliki 3.4.11 s točkama »1« in »1'« označimo lego spodnje oziroma zgornje armature ravnine, s točkama »2« in »2'« vrednosti deformacij v spodnji oziroma zgornji armaturi, s točkama »3« in »3'« pa pripadajoči vrednosti napetosti.

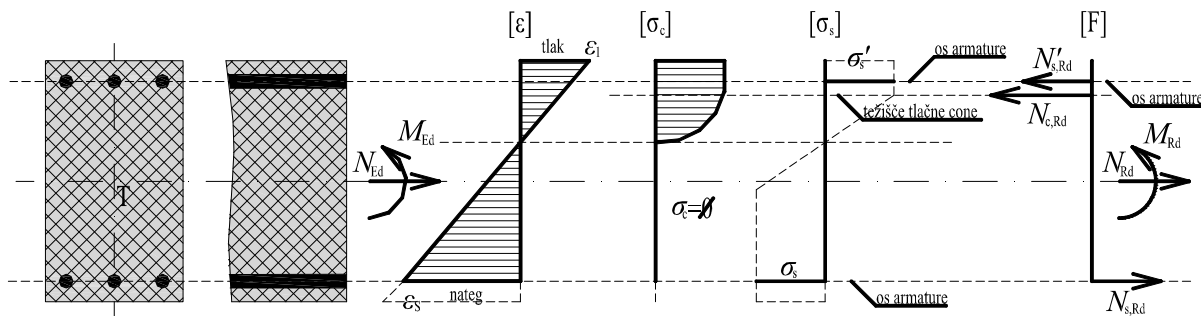
3.4.6 Račun osno-upogibne odpornosti prereza

Kot smo že omenili, moramo pri dimenzioniranju prečnega prereza na osno-upogibno obremenitev dokazati, da je odpornost AB prereza večja od njegove obremenitve in sicer:

$$N_{Rd} \geq N_{Ed} \text{ in} \quad (3.42)$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed},$$

kjer sta N_{Ed} in M_{Ed} projektni vrednosti osne in upogibne obremenitve prereza, ki deluje v težišču prereza T , N_{Rd} in M_{Rd} pa sta pripadajoči projektni odpornosti. Osno-upogibno odpornost AB prereza zagotovimo s tlačno obremenjenim delom betonskega prereza ter s spodnjo in zgornjo vzdolžno armaturo. Z $N_{c,Rd}$ označimo rezultirajočo osno silo v tlačno obremenjenem delu betonskega prereza (v tlačni coni betona), z $N_{s,Rd}$ in $N'_{s,Rd}$ pa osno silo v natezno oziroma tlačno obremenjeni vzdolžni armaturi (Slika 3.4.12).



Slika 3.4.12: Sile v AB prerezu pri osno-upogibni obremenitvi

V nadaljevanju podrobneje prikažemo izračun posameznih prispevkov k skupni odpornosti AB prereza.

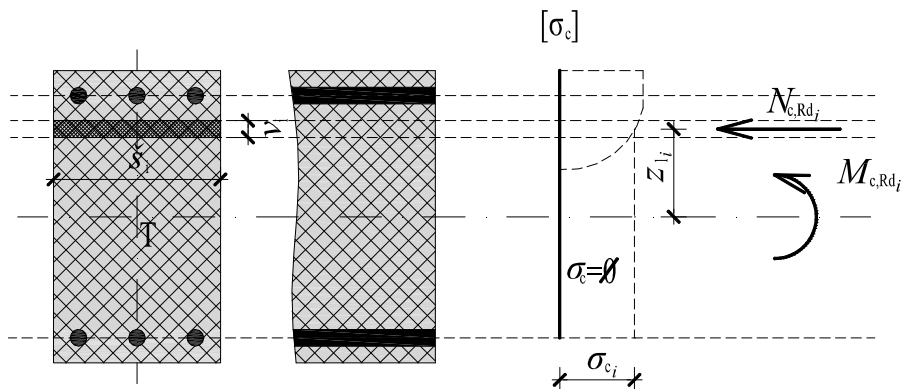
Prispevek i -te lamele tlačno obremenjenega dela betonskega prereza k osni odpornosti prereza označimo z N_{c,Rd_i} (Slika 3.4.13). Izračunamo jo kot produkt površine lamele in pripadajoče tlačne napetosti in sicer:

$$N_{c,Rd_i} = v_i \cdot \check{s}_i \cdot \sigma_{c_i} \quad [\text{KN}] \quad (3.43)$$

Prispevek obravnavane lamele k upogibni odpornosti tlačne cone betona pa je:

$$M_{c,Rd_i} = v_i \cdot \check{s}_i \cdot z_{l_i} \cdot \sigma_{c_i} \quad [\text{KNm}] \quad (3.44)$$

kjer je z_{l_i} oddaljenost srednje točke i -te lamele od težišča skupnega prečnega prereza T .

Slika 3.4.13: Prispevek i -te lamele k odpornosti tlačne cone betona

Skupno odpornost tlačne cone betonskega prereza dobimo kot vsoto prispevkov vseh lamel po vseh podprezjih. Izračunamo jo z izrazoma:

$$N_{c,Rd} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} N_{c,Rd_i} \quad [\text{KN}] \quad (3.45)$$

$$M_{c,Rd} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} M_{c,Rd_i} \quad [\text{KNm}]$$

Kot smo že predhodno omenili, prispevek spodnje oziroma zgornje vzdolžne armature k osni odpornosti AB prereza označimo z $N_{s,Rd}$ oziroma $N'_{s,Rd}$ (Slika 3.4.14). Izračunamo ju z izrazoma:

$$N_{s,Rd} = A_s \cdot \sigma_s \text{ in} \quad [\text{KN}] \quad (3.46)$$

$$N'_{s,Rd} = A'_s \cdot \sigma'_s, \quad [\text{KNm}]$$

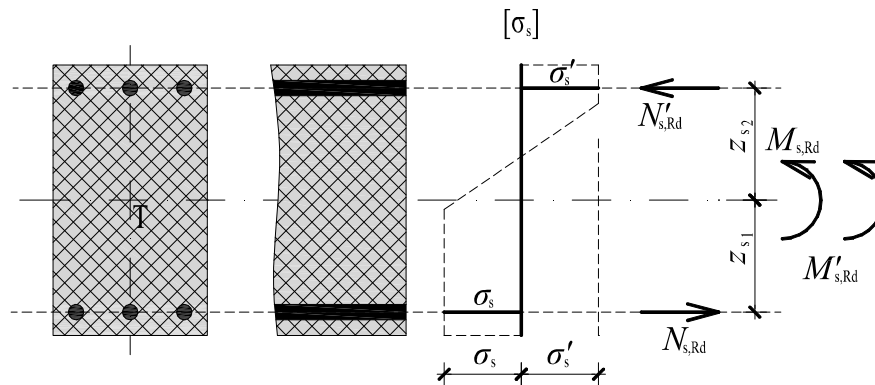
kjer sta A_s in A'_s površini prečnega prereza spodnje oziroma zgornje vzdolžne armature.

Njun prispevek k upogibni odpornosti prereza pa izračunamo z enačbama:

$$M_{s,Rd} = N_{s,Rd} \cdot z_{s1} \text{ in} \quad [\text{KN}] \quad (3.47)$$

$$M'_{s,Rd} = N'_{s,Rd} \cdot z_{s2} \quad [\text{KN}]$$

Pri tem sta z_{s1} in z_{s2} oddaljenosti težišča spodnje oziroma zgornje vzdolžne armature od težišča celotnega AB prereza (Slika 3.4.14).



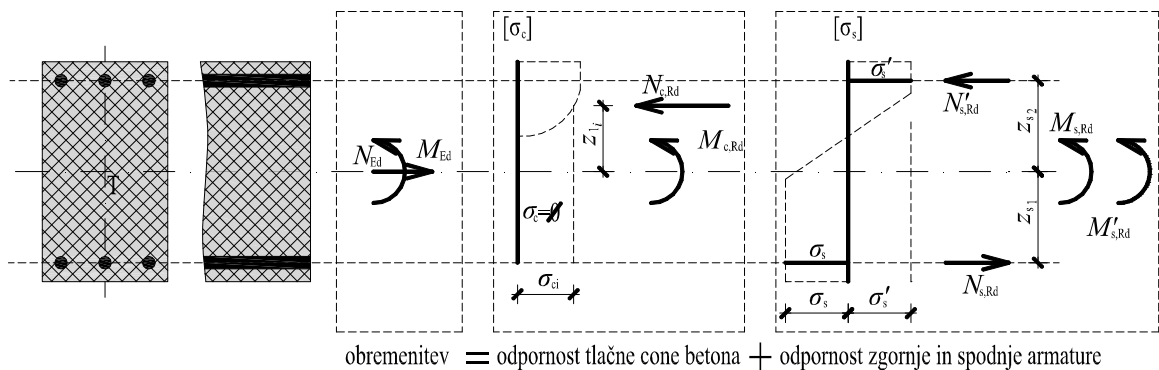
Slika 3.4.14: Prispevek zgornje in spodnje armature k odpornosti AB prereza

Odpornost celotnega AB prereza izračunamo kot vsoto prispevkov odpornosti tlačne cone betona ter spodnje in zgornje armature na sledeč način:

$$N_{Rd} = N_{c,Rd} + N_{s,Rd} + N'_{s,Rd} \text{ in} \quad [\text{KN}] \quad (3.48)$$

$$M_{Rd} = M_{c,Rd} + M_{s,Rd} + M'_{s,Rd} \quad [\text{KNm}]$$

Prispevek betona in armature k skupni odpornosti prereza še enkrat prikažemo na sliki (Slika 3.4.15).



Slika 3.4.15: Skupna odpornost AB prereza pri osno-upogibni obremenitvi

3.5 Račun potrebne armature

3.5.1 Račun vzdolžne armature

Pri dimenzioniranju AB prečnega prereza na osno-upogibno obremenitev prečnega prereza spodnje oziroma zgornje vzdolžne armature ne poznamo. Potrebno količino armature določimo iz pogojev, da sta osni in upogibni odpornosti prereza enaki pripadajočim obremenitvam in sicer:

$$N_{Ed} = N_{Rd} \text{ in} \quad (3.49)$$

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

Ko upoštevamo, da je odpornost AB prereza sestavljena iz prispevka tlačne cone betona ter prispevka spodnje in zgornje armature, dobimo:

$$N_{Ed} = N_{c,Rd} + N_{s,Rd} + N'_{s,Rd} , \quad (3.50)$$

$$N_{s,Rd} + N'_{s,Rd} = N_{Ed} - N_{c,Rd} ,$$

$$M_{Ed} = M_{c,Rd} + M_{s,Rd} + M'_{s,Rd} ,$$

$$M_{s,Rd} + M'_{s,Rd} = M_{Ed} - M_{c,Rd} ,$$

oziroma:

$$M_{Ed} = M_{c,Rd} + N_{s,Rd} \cdot z_{s2} + N'_{s,Rd} \cdot z_{s1} \text{ in}$$

$$N_{s,Rd} \cdot z_{s2} + N'_{s,Rd} \cdot z_{s1} = M_{Ed} - M_{c,Rd}$$

Zgornji enačbi predstavljata sistem dveh enačb za dve neznanji količini. To sta prispevka spodnje oziroma zgornje armature k osni odpornosti AB prereza, $N_{s,Rd}$ in $N'_{s,Rd}$. Sistem enačb rešimo in dobimo:

$$N'_{s,Rd} = \frac{(M_{Ed} - M_{c,Rd}) - (z_{s2} \cdot (N_{Ed} - N_{c,Rd}))}{(-z_{s2} - (-z_{s1}))} \text{ in} \quad [\text{KN}] \quad (3.51)$$

$$N_{s,Rd} = (N_{Ed} - N_{c,Rd}) - N'_{s,Rd} \quad [\text{KN}]$$

Potrebno količino spodnje oziroma zgornje armature pa izračunamo z izrazoma:

$$A_s = \frac{N_{s,Rd}}{\sigma_s} \text{ in} \quad [\text{cm}^2] \quad (3.52)$$

$$A'_s = \frac{N'_{s,Rd}}{\sigma'_s} \quad [\text{cm}^2]$$

V primeru, da je AB prerez armiran le z enojno (natezno) armaturo, se enačbe nekoliko poenostavijo:

$$N_{Ed} = N_{c,Rd} + N_{s,Rd} \rightarrow N_{s,Rd} = N_{Ed} - N_{c,Rd} , \quad (3.53)$$

$$M_{Ed} = M_{c,Rd} + M_{s,Rd} \rightarrow M_{s,Rd} = M_{Ed} - M_{c,Rd}$$

V tem primeru imamo za eno neznano količino, t.j. za prispevek spodnje armature $N_{s,Rd}$ k osni odpornosti AB prereza, dve enačbi, kar pomeni, da je sistem predoločen. Iz prve enačbe določimo potrebno količino spodnje armature (enačba 3.49), nato pa preverjamo pogoj $M_{Rd} \geq M_{Ed}$. V kolikor je osno-upogibna obremenitev AB prereza prevelika, pogoja kljub spreminjanju poteka deformacij po prečnem prerezu (mejne deformacijske ravnine) ne moremo izpolniti. V takšnih primerih moramo prerez armirati z dvojno armaturo. Sicer pa lahko s spreminjanjem poteka deformacij po prerezu dosežemo, da velja $M_{Rd} = M_{Ed}$. V tem primeru je potrebna količina natezne armature minimalna.

Z $A_{s,min}$ označimo minimalno količino armature v elementu. V primeru upogibno obremenjenih nosilcev minimalno količino natezne armature določimo skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005, str. 154, in sicer z izrazom:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \leq 0,0013 \cdot b_t \cdot d, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.54)$$

kjer je b_t srednja širina natezne cone, f_{ctm} je natezna trdnost betona iz preglednice 3.1, SIST EN 1992-1-1:2005, str. 32, f_{yk} je karakteristična natezna trdnost jekla, d pa je statična višina prečnega prereza elementa.

V kolikor dimenzioniramo vzdolžno armaturo stebrov pa moramo v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1:2005, str. 165 in SIST EN 1992-1-1:2005/A101 str. 10 v prečnem prerezu stebra zagotoviti vsaj naslednjo količino vzdolžne armature (t.j. $A_s + A'_s$):

$$A_{s,min} = \frac{0,15N_{Ed}}{f_{yd}} \leq 0,003 \cdot A_c \quad [\text{cm}^2] \quad (3.55)$$

Standard SIST EN 1992-1-1:2005 podaja tudi potreben prerez natezne vzdolžne armature za omejitev razpok, vendar ga tukaj ne navajamo.

V kolikor velja:

$$A_{s,pot} \leq A_{s,min}, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.56)$$

moramo v prečnem prerezu zagotoviti armaturo $A_{s,min}$.

Sedaj definiramo še stopnjo armiranja μ_0 in sicer z izrazom:

$$\mu_0 = \frac{A_{s,pot} + A'_{s,pot}}{A_x} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.57)$$

3.5.2 Določitev optimalne količine vzdolžne armature

Ločimo dva kriterija za določitev optimalne količine vzdolžne armature pri dvojno armiranem AB prečnem prerezu, ki je obremenjen z osno silo in upogibnim momentom. Prvi kriterij je minimalna količina skupne vzdolžne armature, in sicer:

$$\min \Sigma A_{s,pot} = |A_{s,pot}| + |A'_{s,pot}| \quad [\text{cm}^2] \quad (3.58)$$

Drugi kriterij pa je enaka količina spodnje in zgornje vzdolžne armature v prerezu, in sicer:

$$A_{s,pot} = A'_{s,pot} \quad [\text{cm}^2] \quad (3.59)$$

V obeh primerih pa moramo zagotoviti, da velja:

$$\begin{aligned} A_{s,pot} &> 0 && [\text{cm}^2] \\ A'_{s,pot} &> 0 && [\text{cm}^2] \end{aligned} \quad (3.60)$$

Pri tem spreminjamo potek deformacij po prečnem prerezu, in sicer od deformacijske ravnine, ki ustreza centrični obremenitvi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{c2}$), preko deformacijske ravnine pri osno-upogibni obremenitvi, ko mejno deformacijo dosežemo tako v betonu kot v natezni armaturi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu2}$ in $\varepsilon_s = \varepsilon_{ud}$), pa do mejne deformacijske ravnine, ki ustreza čisti natezni obremenitvi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{ud}$). Natančnejši nabor robnih deformacij, ki je odvisen od izbrane kvalitete jekla za armiranje, podajamo v preglednici 3.5.1.

Preglednica 3.5.1: Nabor robnih deformacij pri določanju optimalne količine armature pri dvojno armiranem AB prerezu

S240, S400, S500		S500A		S500B	
ϵ_1	ϵ_s OZ. ϵ_2	ϵ_1	ϵ_s OZ. ϵ_2	ϵ_1	ϵ_s OZ. ϵ_2
-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
-2,15	-1,8	-2,15	-1,8	-2,15	-1,8
-2,6	-1,2	-2,6	-1,2	-2,6	-1,2
-3,05	-0,6	-3,05	-0,6	-3,05	-0,6
-3,5	0	-3,5	0	-3,5	0
-3,5	0,2	-3,5	0,2	-3,5	0,2
-3,5	1	-3,5	1	-3,5	1
-3,5	2	-3,5	2	-3,5	2
-3,5	3,5	-3,5	3,5	-3,5	3,5
-3,5	5	-3,5	5	-3,5	5
-3,5	6	-3,5	6	-3,5	6
-3,5	7	-3,5	7	-3,5	7
-3,5	8	-3,5	8	-3,5	8
-3,5	9	-3,5	9	-3,5	9
-3,5	10	-3,5	10	-3,5	10
-3,0	10	-3,5	11	-3,5	11
-2,5	10	-3,5	12	-3,5	12
-2,0	10	-3,5	13	-3,5	13
-1,5	10	-3,5	14	-3,5	14
-1,0	10	-3,5	15	-3,5	15
-0,5	10	-3,5	16	-3,5	16
0	10	-3,5	17	-3,5	17
10	10	-3,5	18	-3,5	18
		-3,5	19	-3,5	19
		-3,5	20	-3,5	20
		-3,5	21	-3,5	21
		-3,5	22	-3,5	22
		-3,5	22,5	-3,5	23
		-3,0	22,5	-3,5	24
		-2,5	22,5	-3,5	25
		-2,0	22,5	-3,5	26
		-1,5	22,5	-3,5	27
		-1,0	22,5	-3,5	28
		-0,5	22,5	-3,5	29
		0	22,5	-3,5	30
		22,5	22,5	-3,5	31
				-3,5	32
				-3,5	33
				-3,5	34
				-3,5	35
				-3,5	36
				-3,5	37
				-3,5	38
				-3,5	39
				-3,5	40
				-3,5	41
				-3,5	42
				-3,5	43
				-3,5	44
				-3,5	45
				-3,0	45
				-2,5	45
				-2,0	45
				-1,5	45
				-1,0	45
				-0,5	45
				0	45
				45	45

Za natančnejšo določitev optimalne količine armature lahko nabor deformacij še dodatno razširimo.

Dejansko količino spodnje in zgornje vzdolžne armature določimo na podlagi izbire števila in premera armaturnih palic v posamezni armaturni ravnini. Pri tem moramo zagotoviti, da velja:

$$\begin{aligned} A_{s,dej} &\geq A_{s,pot} \quad [\text{cm}^2] \\ A'_{s,dej} &\geq A'_{s,pot} \quad [\text{cm}^2] \end{aligned} \quad (3.61)$$

3.5.3 Strižna armatura

Pri dimenzioniranju AB prečnega prereza na strižno obremenitev zaradi prečne sile moramo v mejnih stanjih nosilnosti dokazati, da je strižna odpornost prereza večja od pripadajoče obremenitve. To formalno zapišemo kot:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (3.62)$$

kjer je V_{Ed} projektna vrednost prečne sile v prerezu zaradi delovanja zunanje obtežbe, V_{Rd} pa je projektna strižna odpornost AB prečnega prereza, ki jo zagotovimo brez oziroma s strižno armaturo.

Pri določanju projektne strižne odpornosti AB prečnega prereza brez strižne armature upoštevamo strižno nosilnost nerazpokanega dela betonskega prereza, trenje med zrnji agregata vzdolž strižne razpoke in možni učinek vzdolžne natezne armature v strižni razpoki. Odpornost izračunamo z izrazom (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 87):

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d, \quad [\text{N}] \quad (3.63)$$

kjer je najmanjša vrednost določena kot:

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d, \quad [\text{N}] \quad (3.64)$$

pri čemer je f_{ck} karakteristična tlačna trdnost betona v MPa, $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$, k je koeficient statične višine prereza in je $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$, ρ_1 je delež vzdolžne natezne armature $\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$, pri čemer je A_{s1} ploščina prereza natezne armature, koeficient $k_1 = 0,15$, σ_{cp} [MPa] je napetost zaradi tlačne osne sile in je $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0,2 \cdot f_{cd}$, b_w pa je najmanjša širina betonskega elementa v osi natezne armature. V enačbi (3.63) je $v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$.

V kolikor je izpolnjen pogoj:

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} \quad (3.65)$$

v prečnem prerezu strižna armatura ni potrebna, oziroma zagotovimo zgolj minimalno količino strižne armature. Z ρ_w označimo stopnjo armiranja s strižno armaturo, ki je določena z izrazom (CEN,

Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 158):

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}, \quad (3.66)$$

pri čemer je A_{sw} prevez strižne armature v eni ravnini, s je medsebojna oddaljenost strižnih ravnin, merjena vzdolž osi elementa, α pa je kot med smerjo strižne armature in vzdolžno osjo elementa.

Minimalna stopnja armiranja s strižno armaturo $\rho_{w,\min}$ je podana v nacionalnem dodatku (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005/A101, 2006, str. 10) in je določena z izrazom:

$$\rho_{w,\min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (3.67)$$

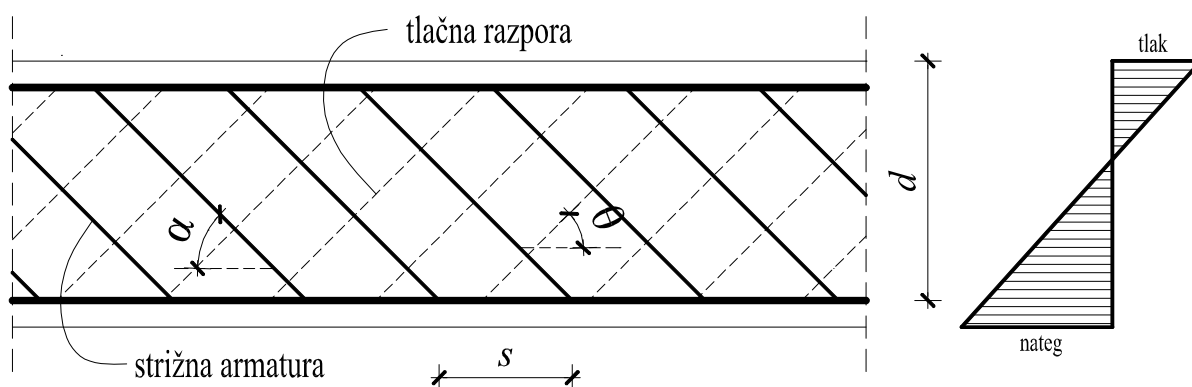
Če združimo izraza (3.66) in (3.67), dobimo:

$$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot \sin \alpha \quad (3.68)$$

Medsebojna oddaljenost strižnih ravnin ne sme biti večja od $s_{l,\max}$, ki je podana v nacionalnem dodatku (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005/A101, 2006, str. 10) in je določena z izrazom:

$$s_{l,\max} = 0,75d \cdot (1 + \cot \alpha) \quad [\text{cm}] \quad (3.69)$$

V kolikor projektna strižna odpornost $V_{Rd,c}$ ne zadošča za prevzem strižne obremenitve V_{Ed} , dokaz strižne odpornosti prereza izvedemo na podlagi modela ravninskega paličja, ki ga sestavljajo natezni pas, tlačna razpora v betonu in strižna armatura, kot prikazujemo na sliki 3.5.1.



Slika 3.5.1: Mehanizem ravninskega paličja (Fischinger, 2006)

Pri tem je pomen oznak na sliki 3.5.1 sledeč: d je statična višina prereza, s je razdalja med ravninami strižne armature v vzdolžni smeri, α je naklon strižne armature glede na os nosilca in θ kot, ki ga tlačna razpora oklepa z vzdolžno osjo nosilca.

Strižne razpoke oklepajo kot v razponu od $\theta = 22^\circ$ do $\theta = 45^\circ$. V nadaljnih enačbah upoštevamo, da je $\theta = 45^\circ$.

V kolikor je:

$$V_{Ed} > V_{Rd,c}, \quad (3.70)$$

moramo celotno projektno prečno silo prevzeti s strižno armaturo. Z $V_{Rd,s}$ označimo projektno vrednost prečne sile, ki jo element lahko prenese v primeru plastifikacije vgrajene strižne armature.

Izračunamo jo z izrazom (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 90):

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha, \quad [\text{KN}] \quad (3.71)$$

oziroma v primeru uporabe vertikalnih stremen ($\alpha = 90^\circ$), se izraz poenostavi v:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta \quad [\text{KN}] \quad (3.72)$$

Prečni prerez strižne armature določimo na sledeč način:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} \quad [\text{cm}^2/\text{cm}] \quad (3.73)$$

oziroma

$$A_{sw} = \frac{V_{Rd,s} \cdot s}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} \quad [\text{cm}^2]$$

pri čemer je A_{sw} površina strižne armature v eni ravnini, s je, kot smo že predhodno omenili, razdalja med ravninami strižne armature, f_{ywd} pa je projektna meja elastičnosti strižne armature.

Dodatno moramo zagotoviti, da projektna prečna sila V_{Ed} ni večja od prečne sile, ki jo element lahko prenese in je omejena s porušitvijo tlačnih razpor pri modelu ravninskega paličja. To silo označimo z $V_{Rd,max}$ in je določena z izrazom (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005, str. 90):

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \tan\theta)}{1 + \cot^2\theta} \quad [\text{KN}] \quad (3.74)$$

V kolikor izberemo vertikalna stremena, se izraz poenostavi v:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} \quad [\text{KN}] \quad (3.75)$$

Pri tem je α_{cw} koeficient ki upošteva stanje napetosti v tlačni coni in $\alpha_{cw} = 1$ za elemente, ki niso prednapeti, b_w je najmanjša širina betonskega elementa v osi natezne armature, v_1 je redukcijski faktor tlačne trdnosti betona zaradi strižne porušitve in je $v_1 = v < 1,0$ in $v_1 = v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$, α pa je naklon stremena.

Dodatno natezno silo, ki jo v vzdolžni natezni armaturi povzroči prečna sila V_{Ed} , moramo prevzeti z dodatno vzdolžno armaturo ΔA_{sl} , ki je:

$$\Delta A_{sl} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot f_{yd}} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) \quad [\text{cm}^2] \quad (3.76)$$

V kolikor izberemo vertikalna stremena, se izraz poenostavi v:

$$\Delta A_{sl} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot f_{yd}} \cdot \cot\theta \quad [\text{cm}^2] \quad (3.77)$$

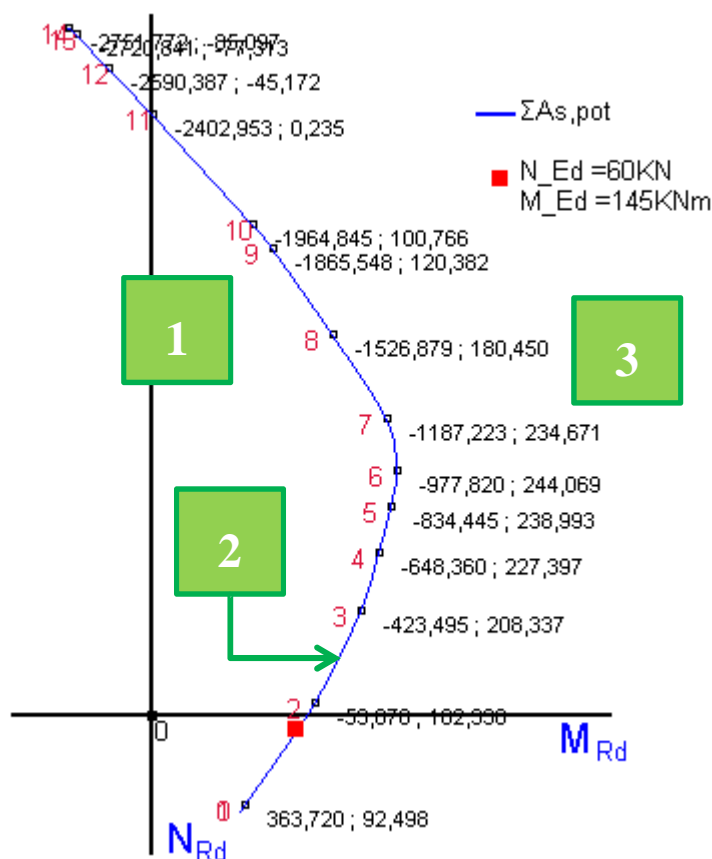
(CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005)

3.6 Interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti AB prereza

Z interakcijskim diagramom mejne nosilnosti prikazujemo ovojnico osno-upogibne odpornosti AB prereza z znano količino vzdolžne armature.

3.6.1 Konstruiranje diagrama

Na vodoravno koordinatno os nanašamo upogibno odpornost prereza M_{Rd} , na navpično os pa osno odpornost N_{Rd} . Pri znanem poteku deformacij po prečnem prerezu lahko po računskih postopkih, ki smo jih opisali v poglavju 3.4 Deformacije in napetosti, določimo osno-upogibno odpornost AB prereza. S spreminjanjem deformacij po prečnem prerezu, in sicer od deformacijske ravnine, ki ustreza centrični obremenitvi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{c2}$), preko deformacijske ravnine za osno-upogibno obremenitev, ko mejno deformacijo dosežemo tako v betonu kot v natezni armaturi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu2}$ in $\varepsilon_s = \varepsilon_{ud}$), pa do mejne deformacijske ravnine, ki ustreza čisti natezni obremenitvi ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_{ud}$), dobimo nabor dvojic N_{Rd} , M_{Rd} , ki jih med seboj povežemo v krivuljo, kot to prikazujemo na sliki 3.6.1.



Slika 3.6.1: Interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti AB prereza

Iz slike 3.6.1 lahko razberemo, da krivulja poteka skozi 15 točk. Posameznim točkam na diagramu ustrežajo deformacije, ki jih podajamo v preglednici 3.6.1.

Preglednica 3.6.1: Oznake točk in pripadajoče vrednosti deformacij na interakcijskem diagramu

Točka na diagramu	Deformacije $\varepsilon_1/\varepsilon_s(\varepsilon_2)$
0	10/10
1	0/10
2	-2/10
3	-3,5/10
4	-3,5/7
5	-3,5/5
6	-3,5/3,5
7	-3,5/2
8	-3,5/1
9	-3,5/0,2
10	-3,5/0
11	-3,05/-0,6
12	-2,6/-1,2
13	-2,15/-1,8
14	-2/-2

3.6.2 Ugotavljanje nosilnosti prereza s pomočjo interakcijskega diagrama

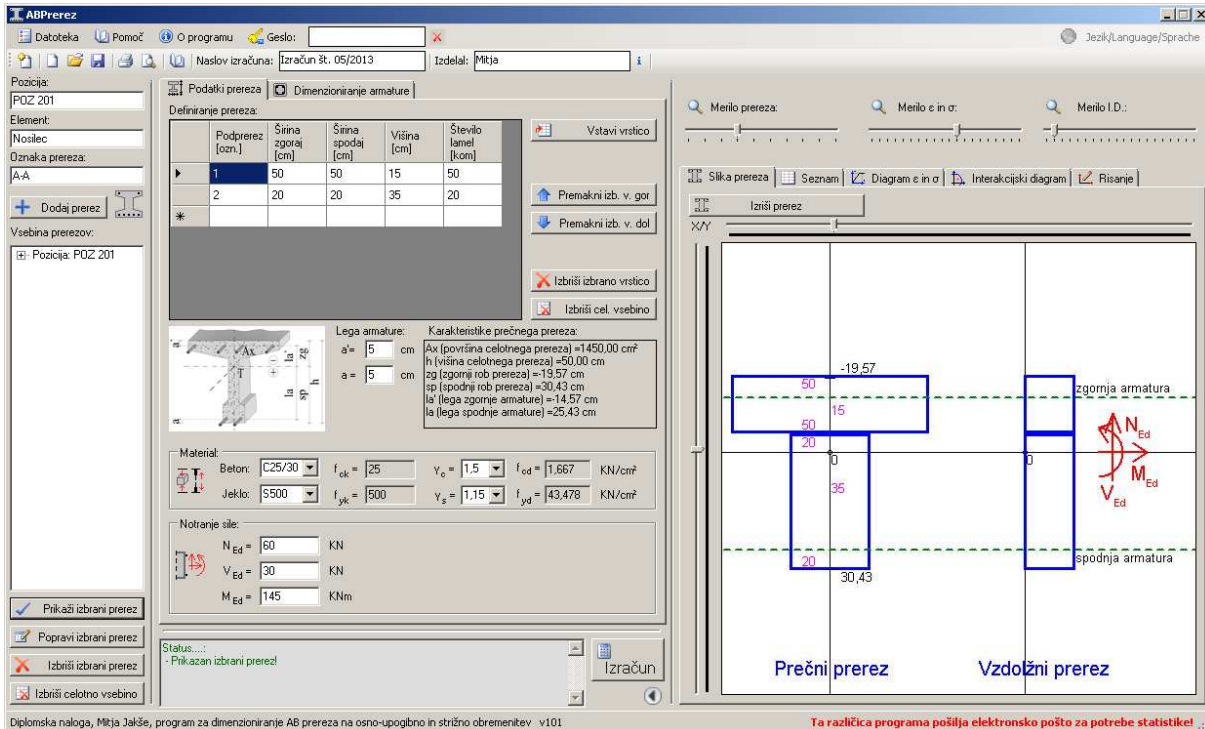
Možna so naslednja stanja:

- v kolikor se točka osno-upogibne obremenitve prereza, ki jo določata projektna osna sila N_{Ed} in projektni upogibni moment M_{Ed} , nahaja na notranji strani krivulje, to pomeni v območju »1« na sliki 3.6.1, v tem primeru je odpornost AB prereza z izbrano vzdolžno armaturo večja od obremenitve,
- če točka osno-upogibne obremenitve prereza leži na krivulji (območje »2« na sliki 3.6.1), pomeni, da je odpornost prereza ravno enaka obremenitvi. V tem primeru je količina vzdolžne armature, ki pripada krivulji, za dano obremenitev optimalna,
- če se točka osno-upogibne obremenitve prereza nahaja izven krivulje, to pomeni v območju »3« na sliki 3.6.1, v tem primeru AB prerez z dano vzdolžno armaturo ne more prevzeti obremenitve. Potrebno je bodisi spremeniti dimenzije prereza ali pa povečati količino vzdolžne armature v prerezu.

4 UPORABNIŠKI PRIROČNIK

4.1 Uvod

V tem poglavju predstavimo navodila za uporabo programa ABPrerez_v101.exe. Na sliki 4.1.1 prikazujemo okno programa oziroma zavihek, kamor podajamo osnovne podatke o prečnem prerezu.

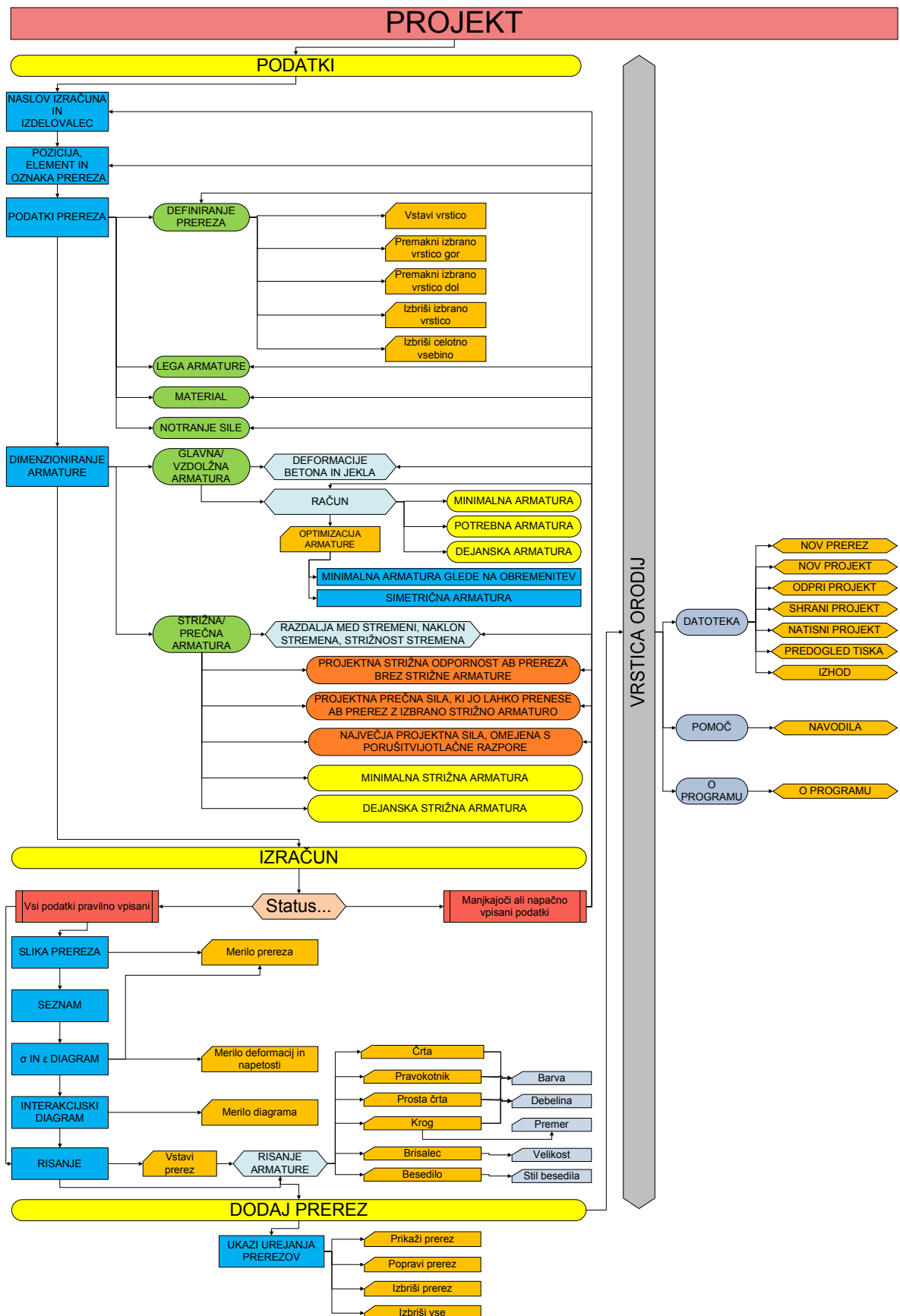


Slika 4.1.1: Izgled programa z vpisanimi podatki in izvedenim izračunom

Podrobneje bomo predstavili, kako poteka vpis vseh potrebnih podatkov o elementu, kako definiramo prečni prerez, kako izberemo material, kako dimenzioniramo prečni prerez na osno-upogibno in strižno obremenitev z vsemi potrebnimi kontrolami, kako določimo optimalno količino vzdolžne armature, kako izberemo dejansko armaturo glede na potrebno količino armature, prikazali bomo izris deformacij in napetosti po prerezu ter izris interakcijskega diagrama mejne osno-upogibne nosilnosti prereza.

V nadaljevanju bodo predstavili, kako s pomočjo programa narišemo prečni prerez in armaturo. Predstavili bomo postopek dodajanja, urejanja in brisanja prerezov, vnos rezultatov računa v bazo ter postopek shranjevanja in tiskanja.

Na sliki 4.1.2 prikazujemo shematični potek dela s programom.



Slika 4.1.2: Shematični prikaz poteka dela s programom

4.2 Podatki o naslovu in izdelovalcu projekta

Program od uporabnika najprej zahteva vpis naslova izračuna ter podatek o izdelovalcu izračuna, zato v vrstico menija vnesemo oba zahtevana podatka, kot prikazujemo na sliki 4.2.1.

Slika 4.2.1: Naslov izračuna in izdelovalec

4.3 Podatki o elementu

V naslednjem koraku obravnavanemu elementu konstrukcije dodelimo pozicijsko ime ter vrsto oziroma tip elementa. Analiziranemu prečnemu prerezu obravnavanega elementa dodelimo ustrezno oznako.

Slika 4.3.1: Pozicija, element in oznaka prereza

Program omogoča obdelavo večjega števila elementov oziroma več prečnih prerezov posameznega elementa.

V zavihku »Podatki prereza« podajamo geometrijske in materialne podatke ter podatke o obremenitvi prereza.

4.3.1 Definiranje geometrije prereza

Prečni prerez poljubne oblike sestavimo iz poljubnega števila podprerezov pravokotne oziroma trapezne oblike. Pri tem upoštevamo simetrijo prereza okrog navpične osi. Podprereze podajamo od zgoraj navzdol. Za vsak podprerez moramo podati pet geometrijskih parametrov: zaporedno številko podprereza, širino na zgornjem robu, širino na spodnjem robu, višino ter število lamel. Na sliki 4.3.2 prikazujemo vnesene geometrijske podatke za prečni prerez T oblike, sestavljenega iz dveh pravokotnih podprerezov – pasnice in stojine. Podatke podajamo v za to pripravljeno tabelo. Vsakemu podprerezu pripada ena vrstica vnosa.

Definiranje prereza:					
	Podprerez [ozn.]	Širina zgoraj [cm]	Širina spodaj [cm]	Višina [cm]	Število lamel [kom]
▶	1	50	50	15	50
	2	20	20	35	20
*					

Vstavi vrstico

Premakni izb. v. gor

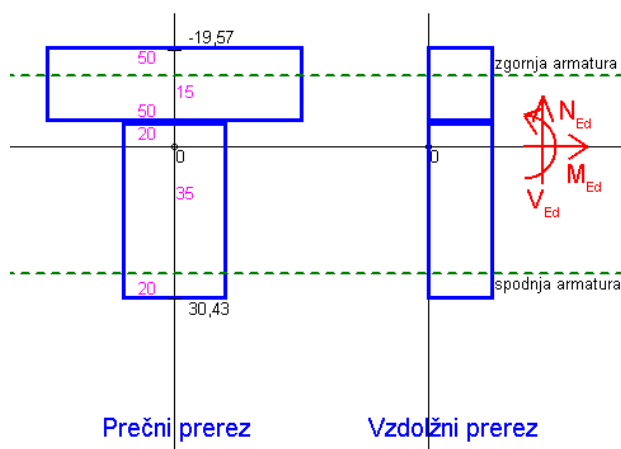
Premakni izb. v. dol

Izbrisi izbrano vrstico

Izbrisi cel. vsebino

Slika 4.3.2: Definiranje prečnega prereza

Podatke vpisujemo tako, da s klikom na »Vstavi vrstico« dodamo vrstico in v celice vpisujemo ustrezne vrednosti ali pa kar pričnemo z vpisovanjem podatkov v celice, ki pripadajo vrstici z oznako »*«. Program sproti izrisuje prečni prerez. Sliko prečnega prereza prikazujemo na sliki 4.3.3.



Slika 4.3.3: Izris prečnega prereza glede na vnos

Kot smo že predhodno omenili, v tabelo vnašamo naslednje podatke:

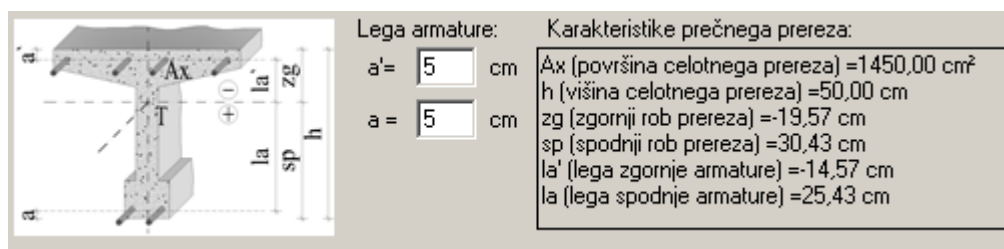
- v prvi stolpec vnesemo zaporedno številko podprereza,
- v drugi stolpec vnesemo širino podprereza na zgornjem robu,
- v tretji stolpec pa širino podprereza na spodnjem robu,
- v četrti stolpec vpišemo višino podprereza in
- v petem podajamo število lamel.

Večje kot je število lamel, natančnejši je izračun in izris napetosti po prečnem prerezu, vendar s tem obremenimo sistem in podaljšamo čas računa.

Z ukazoma »Premakni izb. v. gor« in »Premakni izb. v. dol« lahko zamenjamo vrstni red podprerezov ali pa vrinemo nov podprez. Za izbris moramo klikniti v sivo polje pred vrstico, da se obarva celotna vrstica, nato pa kliknemo na ukaz »Izbriši izbrano vrstico«. Za izbris celotnega prereza uporabimo ukaz »Izbriši cel. vsebino«.

4.3.2 Lega armature

Lego zgornje oziroma spodnje armature ravnine definiramo z oddaljenostjo armature od zgornjega oziroma spodnjega roba prereza. Oddaljenost zgornje armature od zgornjega roba v programu označimo z »a'«, oddaljenost spodnje od spodnjega roba pa z »a«, kot prikazujemo na sliki 4.3.4.



Slika 4.3.4: Lega zgornje in spodnje armature ter prikaz geometrijskih karakteristik prečnega prereza

Ko podamo geometrijske podatke vseh podprerezov ter definiramo lego armature, program izračuna osnovne geometrijske karakteristike prečnega prereza: površino prečnega prereza, skupno višino

prečnega prereza, oddaljenost zgornjega in spodnjega roba prereza od skupnega težišča prereza ter oddaljenost zgornje oziroma spodnje armature od težišča prereza.

4.3.3 Material

V naslednjem koraku izberemo kvaliteto betona in jekla za armiranje, kot prikazujemo na sliki 4.3.5. Izbiramo lahko med kvalitetami betona od C12/15 do C90/105 in jekla od S400 do S500B. Ob tem določimo tudi varnostna faktorja za beton in jeklo, ki ju potrebujemo pri dimenzioniranju armature v mejnih stanjih nosilnosti.

Slika 4.3.5: Izbira kvalitete betona in jekla za armiranje ter varnostnih faktorjev za material

Program glede na izbiro materiala izračuna pripadajoče karakteristične in projektne vrednosti lastnosti materialov.

4.3.4 Notranje sile

Za obravnavan prečni prerez vnesemo projektne obremenitve, kot prikazujemo na sliki 4.3.6.

Slika 4.3.6: Projektne obremenitve v obravnavanem prerezu

Notranje sile lahko določimo s pomočjo preglednice v prilogah, na kateri predstavimo notranje sile za enostavne vrste konstrukcij pri tipičnih razporeditvah obtežbe.

V kolikor smo pravilno vpisali vse geometrijske in materialne podatke, program ob kliku na gumb »Izračun« v zavihku »Slika prereza« izriše prečni prerez.

4.4 Dimenzioniranje elementa

Zavihek »Dimenzioniranje armature« je razdeljen na dva dela. V prvem zavihku z naslovom »Glavna/Vzdolžna armatura« dimenzioniramo vzdolžno armaturo obravnavanega prečnega prereza, v drugem zavihku z naslovom »Prečna/Strižna armatura« pa strižno armaturo.

4.4.1 Glavna/vzdolžna armatura

Na sliki 4.4.1 prikazujemo zavihek, kamor vnašamo podatke o izbranem poteku deformacij po prečnem prerezu pri osno-upogibni obremenitvi. Program nam izračuna potrebno količino enojne oziroma dvojne armature v prerezu. Program omogoča tudi izračun minimalne oziroma simetrične količine armature, in sicer tako, da iz nabora mejnih deformacijskih ravnin poišče tisto, pri kateri je izpolnjen izbran kriterij za količino armature.

Slika 4.4.1: Dimenzioniranje glavne/vzdolžne armature

Program tudi predlaga minimalno potrebno količino armature, ki jo moramo v skladu z zahtevo iz standarda SIST EN 1992-1-1:2005 vstaviti v prerez. Na podlagi minimalne in potrebne količine armature nato izberemo primerno vzdolžno armaturo (število palic ter njihov premer).

V nadaljevanju podrobneje predstavimo posamezne korake računa in izbiro vzdolžne armature pri osno-upogibni obremenitvi prečnega prereza.

4.4.1.1 Deformacije betona in jekla, vrednosti točk na diagramu deformacij in odpornost prereza

V celico »Deformacija betona ε_1 « podamo vrednost deformacije tlačno obremenjenega roba betonskega prereza, v celico »Deformacija jekla ε_s « pa natezno deformacijo betona na mestu natezno obremenjene vzdolžne armature. Pri mali ekscentričnosti tlačne osne sile, ko je celoten prečni prerez tlačno obremenjen, pa v celico »Deformacija jekla ε_s « vnesemo tlačno deformacijo na drugem robu betonskega prereza. Pri tem moramo v vsaj eni točki prereza zagotoviti mejno deformacijo. Na desni strani vnosa so prikazane mejne vrednosti deformacij, ki so določene glede na kvaliteto betona in jekla za armiranje. Program nam v celico »Deformacije v značilnih točkah:« izpiše vrednosti deformacij v značilnih točkah prečnega prereza (glej podpoglavje 3.4.3). Ob izbranem poteku deformacij po prečnem prerezu program samodejno izračuna pripadajočo osno-upogibno odpornost prečnega prereza. Vrednosti zapiše v celico »Odpornost prereza«, kot prikazujemo na sliki 4.4.2.

Deformacija betona $\varepsilon_1 =$ <input type="text" value="-3,5"/> % $-3,5 \leq \varepsilon_1 \leq 0$	Odpornost prereza:	N_c,Rd: 787,22
Deformacija jekla $\varepsilon_s =$ <input type="text" value="10"/> % $0 \leq \varepsilon_s \leq 10$		N_s,Rd: 847,22
Deformacije v značilnih točkah:		N'_s,Rd: 0,00
EpsM = 0,30 %/cm		N_Rd: 60,00
EpsSc = -2,00 %		M_c,Rd: 11583,96
Eps0 = 2,37 %		M_s,Rd: 21545,55
Eps2 = 11,50 %		M'_s,Rd: 0,00
Epshc = 0,00 %		M_Rd: 33129,52

Slika 4.4.2: Izbrane robne deformacije v betonu in armaturi, vrednosti deformacij v značilnih točkah prereza in prikaz osno-upogibne odpornosti AB prereza

4.4.1.2 Minimalna armatura

Pri dimenzioniranju nosilcev moramo v območju nateznih obremenitev v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1:2005 zagotoviti vsaj minimalno količino vzdolžne natezne armature (Slika 4.4.3). Pri dimenzioniranju stebrov, ki so konstrukcijski elementi, ki so v splošnem tlačno obremenjeni, pa minimalno količino vzdolžne armature izračunamo v odvisnosti od velikosti tlačne obremenitve (SIST EN 1992-1-1:2005, člen 9.5.2 (2)).

1. Minimalna armatura, $A_{s,min}$:	<input checked="" type="checkbox"/> Nosilec <input type="checkbox"/> Steber	$A_{s,min1} =$ <input type="text" value="1,864"/> cm^2
$f_{ctm} =$ <input type="text" value="2,6"/> MPa		$A_{s,min2} =$ <input type="text" value="1,793"/> cm^2
Kontrola: Minimalna potrebna natezna armatura znaša 1,86 cm^2		

Slika 4.4.3: Minimalna količina vzdolžne armature za nosilce oziroma stebre

4.4.1.3 Potrebna armatura

Na podlagi izbire med enojno ali dvojno armiranim prečnim prerezom program glede na izbrano deformacijsko ravnino izračuna potrebno količino spodnje oziroma zgornje vzdolžne armature ter procent armiranja μ_0 .

2. Potrebna armatura, $A_{s,pot}$:	Lahko armiramo z enojno armaturo!	
<input type="text" value="Enojna armatura"/> <input type="button" value="A's.pot"/>	$A'_{s,pot} =$ <input type="text" value="0,000"/> cm^2	
$\mu_0 =$ <input type="text" value="1,344"/> % <input type="button" value="A_s.pot"/>	$A_{s,pot} =$ <input type="text" value="19,486"/> cm^2	

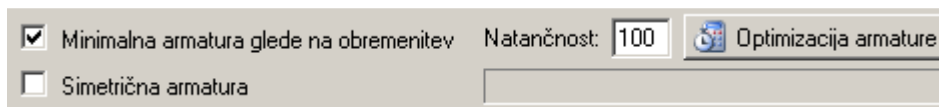
Slika 4.4.4: Potrebna količina vzdolžne armature

4.4.1.4 Optimalna armatura

S klikom na gumb »Optimalna armatura« program glede na izbrani kriterij optimizacije računa potrebno količino vzdolžne armature. Pri tem spreminja potek deformacij po prečnem prerezu in sicer od deformacijske ravnine, ki ustreza centrični obremenitvi, preko deformacijske ravnine, ko mejno deformacijo dosežemo tako v betonu kot v natezni armaturi, pa do mejne deformacijske ravnine, ki ustreza čisti natezni obremenitvi, ter pri tem išče količino vzdolžne armature, ki zadošča izbranemu kriteriju.

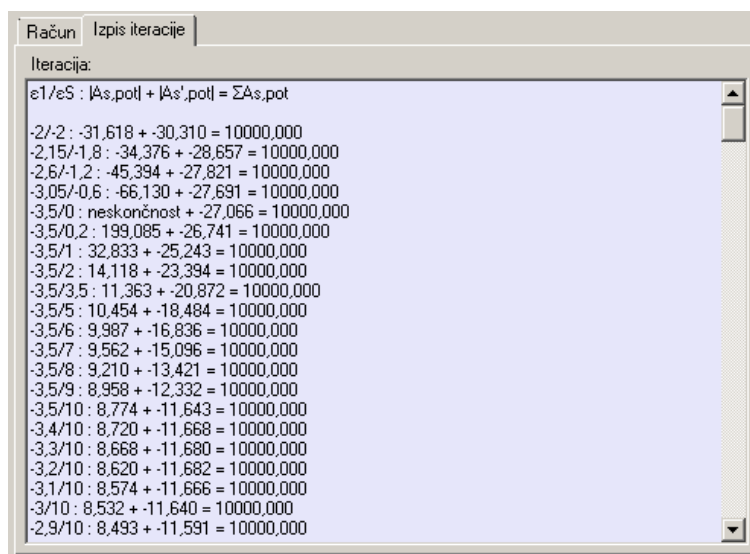
Program ponuja dva kriterija optimizacije vzdolžne armature pri osno-upogibni obremenitvi. Prvi kriterij je minimalna količina vzdolžne armature, ki jo potrebujemo za prevzem dane obremenitve,

drugi kriterij pa je, da sta potrebni količini zgornje in spodnje armature enaki – pogoj simetrične armature. Z vpisom vrednosti od 0 do 100 v celico »Natančnost« izbiramo dodatno delitev koraka med dvema deformacijskima ravninama (Slika 4.4.5) ter tako povečujemo natančnost računa.



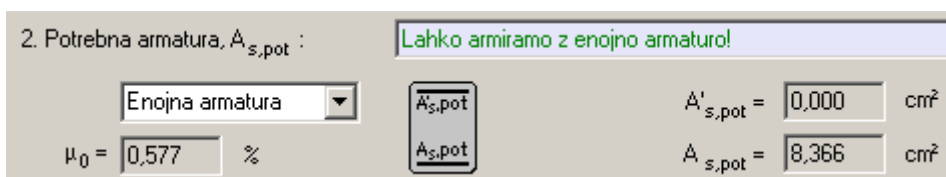
Slika 4.4.5: Optimizacija armature

Izpis rešitev za celotni nabor deformacijskih ravnin si lahko ogledamo v zavihku »Izpis iteracije«, kot prikazujemo na sliki 4.4.6.



Slika 4.4.6: Izpis rešitev za celotni nabor deformacijskih ravnin

Z rumenim poljem prikazujemo napredovanje računa. Ko rumeni stolpec doseže konec, pomeni, da je program našel ustrezno rešitev, ki jo zapiše v ustrezno celico (Slika 4.4.7).



Slika 4.4.7: Optimalna količina vzdolžne armature

4.4.1.5 Deformacije pri optimalni armaturi

Robni deformaciji, ki ustrezata rešitvi za optimalno količino armature, program vpiše v celico »Deformacija jekla ϵ_1 « in »Deformacija jekla ϵ_s «. S tem se spremenijo tudi vrednosti deformacij v značilnih točkah prereza ter prispevki betona in armature k osni in upogibni odpornosti prereza (Slika 4.4.8).

Deformacija betona $\varepsilon_1 =$	<input type="text" value="-1,601"/>	%	$-3,5 \leq \varepsilon_1 \leq 0$	Odpornost prereza:	<input type="text" value="N_c,Rd -303,72"/>
Deformacija jekla $\varepsilon_s =$	<input type="text" value="10"/>	%	$0 \leq \varepsilon_s \leq 10$		<input type="text" value="N_s,Rd: 363,72"/>
Deformacije v značilnih točkah:	<input type="text" value="EpsM =0,26 %/cm"/> <input type="text" value="EpsSc =-0,31 %"/> <input type="text" value="Eps0 =3,44 %"/> <input type="text" value="Eps2 =11,29 %"/> <input type="text" value="Epshc =0,00 %"/>				<input type="text" value="N'_s,Rd: 0,00"/>
					<input type="text" value="N_Rd: 60,00"/>
					<input type="text" value="M_c,Rd 5257,21"/>
					<input type="text" value="M_s,Rd: 9249,78"/>
					<input type="text" value="M'_s,Rd: 0,00"/>
					<input type="text" value="M_Rd: 14506,99"/>

Slika 4.4.8: Deformacije pri optimalni armaturi

4.4.1.6 Dejanska armatura

Dejansko količino spodnje oziroma zgornje armature določimo na podlagi izbire števila palic ter njihovega premera. Ob izbiri števila palic in premera palic program sproti izračuna ter izpiše dejanski prerez vzdolžne armature v posamezni ravnini (Slika 4.4.9). Ustrezno armaturo izberemo s primerjavo dejanske in potrebne količine armature. Pri tem mora veljati $A_{s,dej} \geq A_{s,pot}$ oziroma $A'_{s,dej} \geq A'_{s,pot}$.

3. Dejanska armatura, $A_{s,dej}$:				Veljati mora: $A_{s,dej} > A_{s,pot}$	
št.palic:	<input type="text" value="2"/>	kom	<input type="text" value="8"/>	mm	$A'_{s,dej} =$ <input type="text" value="1,01"/> cm^2
št.palic:	<input type="text" value="3"/>	kom	<input type="text" value="20"/>	mm	$A_{s,dej} =$ <input type="text" value="9,42"/> cm^2

Slika 4.4.9: Izbira dejanske vzdolžne armature

4.4.2 Strižna/prečna armatura

AB prečni prerez dimenzioniramo na strižno obremenitev zaradi prečne sile v zavihku »Strižna/Prečna armatura« (Slika 4.4.10).

Podatki prereza Dimenzioniranje armature

Glavna/Vzdolžna armatura Strižna/Prečna armatura

Razdalja med stremen, $s = 20$ cm

Naklon stremena, $\alpha = 90^\circ$ $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Število stremen v eni ravnini, $n = 2$ kom

1. Projektna strižna odpornost AB prereza brez strižne armature, $V_{Rd,c}$:
 $V_{Rd,c} = 52,741$ KN $\geq V_{Rd,c,min} = 34,447$ KN
 Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura!

2. Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez z izbrano strižno armaturo, $V_{Rd,s}$:
 $V_{Rd,s} = 30$ KN $A_{sw} = 0,341$ cm² $A_{sw,1} = 0,170$ cm²

3. Največja projektna prečna sila, omejena s porušitvijo tlačne razpore, $V_{Rd,max}$:
 $V_{Rd,max} = 364,500$ KN
 Kontrola: $V_{Rd,max} > V_{Ed}$: AB prerez ustreza!

1. Minimalna strižna armatura, $A_{sw,1,min}$:
 $A_{sw,1,min} = 0,16$ cm²
 Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura: 0,16 cm².

2. Dejanska strižna armatura, $A_{sw,1,dej}$: Veljati mora: $A_{sw,1,dej} > A_{sw,1,pot}$
 $A_{sw,1,pot} = 0,17$ cm²
 $\varnothing 6$ mm $A_{sw,1,dej} = 0,28$ cm²

Dodatna vzdolžna armatura, ΔA_{sl} : Maksimalna razdalja med stremen, s_{max} :
 $\Delta A_{sl} = 0,345$ cm² $s_{max} = 33,750$ cm

Slika 4.4.10: Dimenzioniranje strižne/prečne armature

V zavihku »Strižna/Prečna armatura« uporabnik vnese razdaljo med stremen, naklon stremen glede na vzdolžno os elementa ter število stremen v eni strižni ravnini. Na podlagi vnosa program izračuna projektno strižno odpornost AB prereza brez strižne armature, projektno prečno silo, ki jo prenese AB prerez z izbrano strižno armaturo, največjo prečno silo, ki jo lahko element prenese in je omejena s porušitvijo tlačne razpore pri računskem modelu ravninskega paličja, ter minimalno količino strižne armature. S primerjavo strižne obremenitve ter strižne odpornosti AB prereza izberemo še ustrezen premer palice za strižno armaturo. Program nam poda tudi količino dodatne vzdolžne armature, ki jo moramo zagotoviti zaradi delovanja prečne sile, ter največjo dovoljeno razdaljo med stremen. V nadaljevanju podrobneje predstavimo posamezne računske kontrole.

4.4.2.1 Izbira strižne armature

V program vnesemo razdaljo med stremen, naklon stremen in število stremen v eni strižni ravnini (Slika 4.4.11). Stremena oz. strižna armatura lahko oklepa kot z vzdolžno osjo nosilca med 45° in 90° (SIST EN 1992-1-1:2005, str. 157). V kolikor izberemo naklon 90° pomeni, da je strižna armatura pravokotna na vzdolžno os nosilca. Število stremen v eni strižni ravnini je lahko med 1 in 10.

Razdalja med stremeni, $s = 20$ cm

Naklon stremena, $\alpha = 90^\circ$ $45 \leq \alpha \leq 90^\circ$

Število stremen v eni ravnini, $n = 2$ kom

Slika 4.4.11: Izbira razdalje med stremeni, naklon stremen in števila stremen v eni ravnini

4.4.2.2 Projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature

Program glede na materialne podatke, podatke o geometriji, podatke o obremenitvi in vzdolžni armaturi izračuna velikost projektne prečne sile $V_{Rd,c}$, ki jo AB prerez lahko prevzame brez dodatne strižne armature. V kolikor je projektna prečna sila V_{Ed} manjša od odpornosti prereza $V_{Rd,c}$, moramo v prečnem prerezu zagotoviti le minimalno količino strižne armature (Slika 4.4.12).

1. Projektna strižna odpornost AB prereza brez strižne armature, $V_{Rd,c}$:

$V_{Rd,c} = 52,741$ KN $\geq V_{Rd,c,min} = 34,447$ KN

Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura!

Slika 4.4.12: Projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature

4.4.2.3 Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese prerez s strižno armaturo

Glede na izbrano količino in razporeditev strižne armature program izračuna prečno silo $V_{Rd,s}$, ki jo lahko prevzame strižno armiran AB prerez. $Z A_{sw}$ je v programu označena ploščina prečnega prereza strižne armature v eni strižni ravnini, $z A_{sw,1}$ pa označimo ploščino prečnega prereza posamezne armaturne palice strižne armature.

2. Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez z izbrano strižno armaturo, $V_{Rd,s}$:

$V_{Rd,s} = 30$ KN $A_{sw} = 0,341$ cm² $A_{sw,1} = 0,170$ cm²

Slika 4.4.13: Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez s strižno armaturo

4.4.2.4 Največja projektna prečna sila, ki jo lahko prenese nosilec in je omejena s porušitvijo tlačne razpore

Program izračuna tudi največjo projektno prečno silo $V_{Rd,max}$, ki jo lahko prenese AB nosilec in je omejena s porušitvijo tlačne razpore pri mehanizmu ravninskega paličja. V kolikor je izračunana strižna odpornost manjša od projektne obremenitve, moramo povečati dimenzije prečnega prereza AB elementa.

3. Največja projektna prečna sila, omejena s porušitvijo tlačne razpore, $V_{Rd,max}$:

$V_{Rd,max} = 364,500$ KN

Kontrola: $V_{Rd,max} > V_{Ed}$: AB prerez ustreza!

Slika 4.4.14: Največja projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB nosilec in je omejena s porušitvijo tlačne razpore

4.4.2.5 Minimalna strižna armatura

V kolikor v prečnem prerezu zadošča že minimalna strižna armatura, program poda njeno količino (Slika 4.4.15).

1. Minimalna strižna armatura, $A_{sw,1,min}$:

$A_{sw,1,min} = 0,16 \text{ cm}^2$

Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura: 0,16 cm².

Slika 4.4.15: Minimalna strižna armatura

4.4.2.6 Dejanska strižna armatura

Na podlagi opravljenih računskih kontrol izberemo še ustrezen premer palice strižne armature.

2. Dejanska strižna armatura, $A_{sw,1,dej}$:

Veljati mora: $A_{sw,1,dej} > A_{sw,1,pot}$

$A_{sw,1,pot} = 0,17 \text{ cm}^2$

$\varnothing 6 \text{ mm}$ $A_{sw,1,dej} = 0,28 \text{ cm}^2$

Slika 4.4.16: Dejanska strižna armatura

4.4.2.7 Dodatna vzdolžna armatura

Zaradi obremenitve AB prečnega prereza s prečno silo moramo zagotoviti dodatno količino vzdolžne natezne armature.

Dodatna vzdolžna armatura, ΔA_{sl} :

$\Delta A_{sl} = 0,345 \text{ cm}^2$

Slika 4.4.17: Dodatna vzdolžna natezna armatura

4.4.2.8 Maksimalna razdalja med stremeni

Dodatno moramo zagotoviti, da izbrana razdalja med stremeni ne presega največje dovoljene razdalje s_{max} .

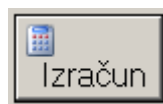
Maksimalna razdalja med stremeni, s_{max} :

$s_{max} = 33,750 \text{ cm}$

Slika 4.4.18: Maksimalna razdalja med stremeni

4.5 Izračun

Izračun izvedemo s klikom na ikono »Izračun« (Slika 4.5.1). V kolikor smo v program vnesli napačne podatke, oziroma so vneseni podatki pomanjkljivi, nas program o tem obvesti v oknu »Status«.

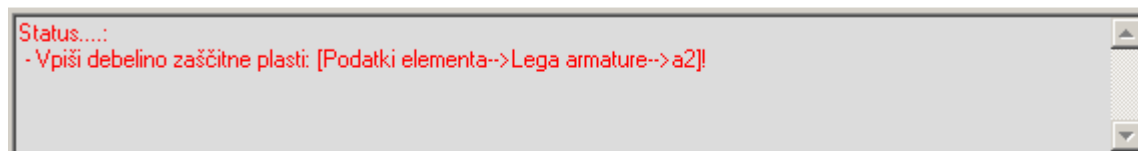


Slika 4.5.1: Gumb za izvršitev izračuna

Prav tako se z izračunom osveži slika prereza, seznam s podatki o deformacijah in napetostih v lamelah betonskega dela prereza, diagram deformacij in napetosti po prerezu ter interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti obravnavanega AB prereza.

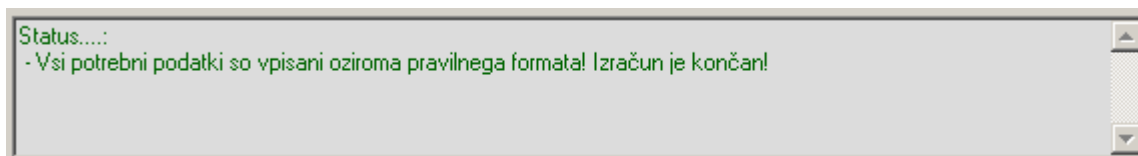
4.6 Status

V okno »Status« program izpisuje opozorila v zvezi z vnesenimi podatki. V kolikor smo pri vnosu izpustili podatek ali pa vnesli napačno vrednost, se v oknu »Status« izpiše rdeče obarvano besedilo z vsebino o napaki pri vnosu.



Slika 4.6.1: Izpis opozorila v primeru napačnega ali izpuščenega vnosa v oknu »Status«

V kolikor smo pravilno vnesli vse podatke računa, se v oknu »Status« izpiše zeleno obarvano besedilo o pravilnosti vnesenih podatkov.



Slika 4.6.2: Izpis v primeru pravilnega vnosa vseh potrebnih podatkov za izračun v oknu »Status«

4.7 Grafika

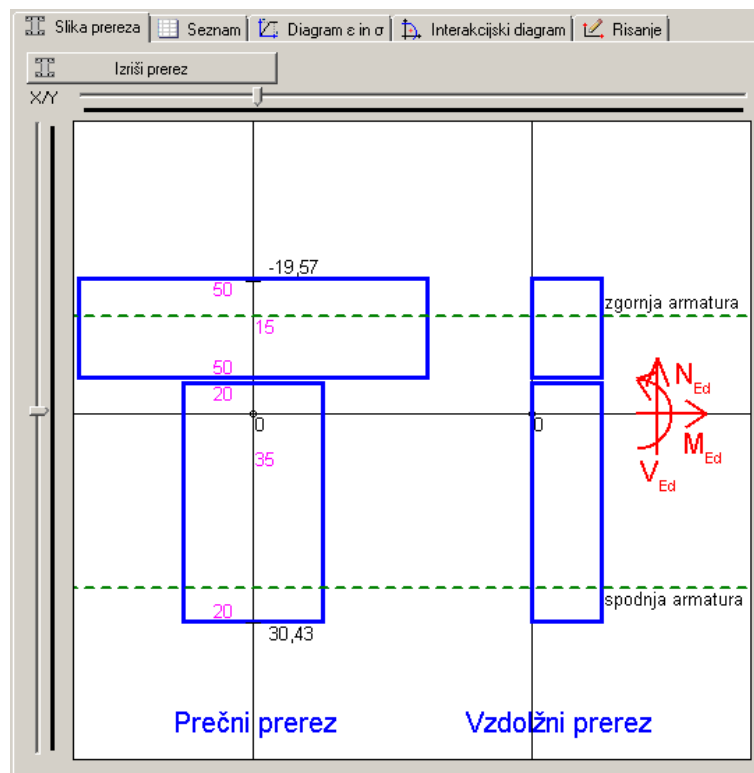
Program omogoča izris prečnega prereza, izris deformacij in napetosti po prečnem prerezu ter izris interakcijskega diagrama mejne osno-upogibne nosilnosti obravnavanega prereza. V zavihku »Risanje« pa v prečni prerez lahko vrišemo armaturo.

4.7.1 Prečni prerez

V zavihku »Slika prereza« (Slika 4.7.1) program ob pravilnem vnosu vseh potrebnih podatkov v tabelo »Definiranje prereza« izriše prečni in vzdolžni prerez elementa, kot prikazujemo na sliki 4.7.1.

Na izrisu prikazujemo naslednje podatke:

- prečni in vzdolžni prerez obravnavanega elementa,
- koordinatno izhodišče je postavljeno v težišče celotnega prereza,
- širino na spodnjem oziroma zgornjem robu ter višino posameznega podprereza,
- oddaljenost zgornjega oziroma spodnjega roba od težišča prereza,
- označena in opisana je lega zgornje in spodnje armature,
- v težišču prečnega prereza je nakazano delovanje notranjih sil.



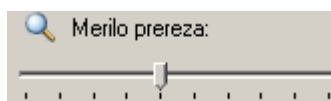
Slika 4.7.1: Izris prečnega prereza

Premik koordinatnega izhodišča iz težišča prereza izvedemo z ukazoma za premik slike v vodoravni in navpični smeri. V ta namen je nad sliko oziroma levo od slike postavljen drsnik (Slika 4.7.2).



Slika 4.7.2: Drsnik za premik slike v vodoravni smeri

Merilo slike prereza spreminjamo z ukazom »Merilo prereza:« in sicer s premikom drsnika v levo oziroma desno.



Slika 4.7.3: Drsnik za spremembo merila slike prereza

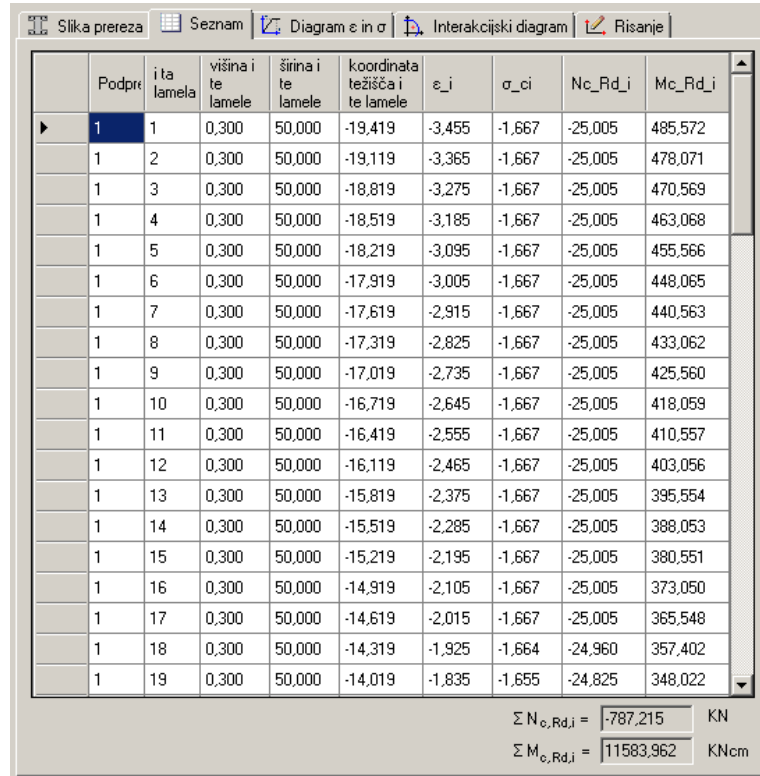
4.7.2 Seznam

V zavihku »Seznam« se nahaja preglednica z vsemi pomembnimi podatki računa osno-upogibne odpornosti obravnavanega prečnega prereza. Pri tem vsaka vrstica preglednice pripada eni lameli. Tabela vsebuje naslednje podatke:

- številka podprereza, ki mu pripada posamezna lamela,
- zaporedna številka lamele,
- višina lamele,
- širina lamele,
- oddaljenost sredine lamele od težišča skupnega prereza,
- osna deformacija betona v sredini lamele,
- napetost betona v sredini lamele,

- prispevek lamele k osni odpornosti prereza in
- prispevek lamele k upogibni odpornosti obravnavanega prečnega prereza.

V desnem spodnjem kotu se nahaja skupna osna in upogibna odpornost betonskega dela prečnega prereza.



Podpr.	i ta lamela	višina i te lamele	širina i te lamele	koordinata težišča i te lamele	ϵ_i	σ_{ci}	N_{c,Rd_i}	M_{c,Rd_i}
1	1	0,300	50,000	-19,419	-3,455	-1,667	-25,005	485,572
1	2	0,300	50,000	-19,119	-3,365	-1,667	-25,005	478,071
1	3	0,300	50,000	-18,819	-3,275	-1,667	-25,005	470,569
1	4	0,300	50,000	-18,519	-3,185	-1,667	-25,005	463,068
1	5	0,300	50,000	-18,219	-3,095	-1,667	-25,005	455,566
1	6	0,300	50,000	-17,919	-3,005	-1,667	-25,005	448,065
1	7	0,300	50,000	-17,619	-2,915	-1,667	-25,005	440,563
1	8	0,300	50,000	-17,319	-2,825	-1,667	-25,005	433,062
1	9	0,300	50,000	-17,019	-2,735	-1,667	-25,005	425,560
1	10	0,300	50,000	-16,719	-2,645	-1,667	-25,005	418,059
1	11	0,300	50,000	-16,419	-2,555	-1,667	-25,005	410,557
1	12	0,300	50,000	-16,119	-2,465	-1,667	-25,005	403,056
1	13	0,300	50,000	-15,819	-2,375	-1,667	-25,005	395,554
1	14	0,300	50,000	-15,519	-2,285	-1,667	-25,005	388,053
1	15	0,300	50,000	-15,219	-2,195	-1,667	-25,005	380,551
1	16	0,300	50,000	-14,919	-2,105	-1,667	-25,005	373,050
1	17	0,300	50,000	-14,619	-2,015	-1,667	-25,005	365,548
1	18	0,300	50,000	-14,319	-1,925	-1,664	-24,960	357,402
1	19	0,300	50,000	-14,019	-1,835	-1,655	-24,825	348,022

$\Sigma N_{c,Rd_i} = -787,215$ KN
 $\Sigma M_{c,Rd_i} = 11583,962$ KNcm

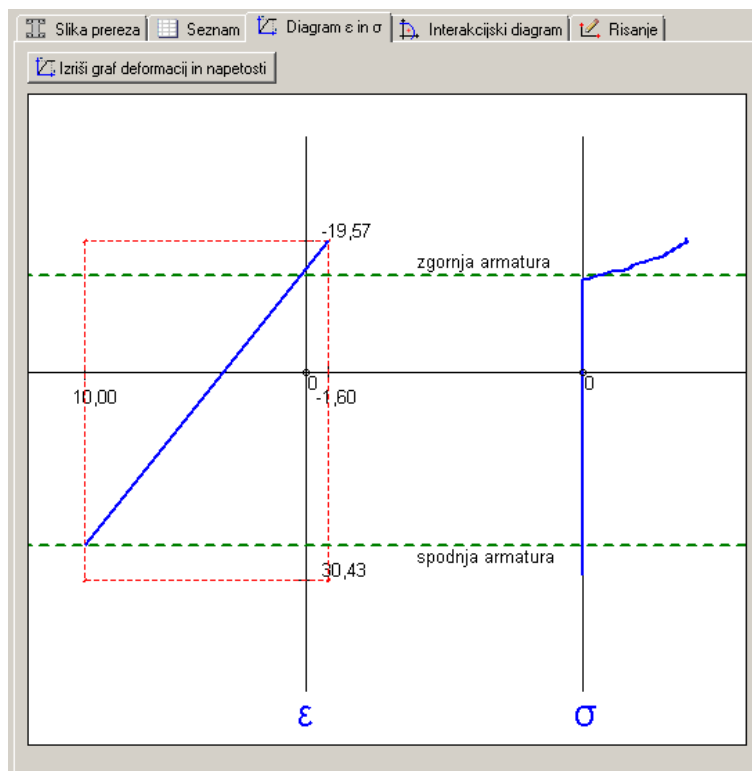
Slika 4.7.4: Preglednica s podatki računa osno-upogibne odpornosti betonskega dela prečnega prereza

4.7.3 Diagram deformacij in napetosti

V zavihku »Diagram ϵ in σ « program prikaže potek deformacij in napetosti po betonskem delu prečnega prereza.

Slika vsebuje naslednje podatke:

- diagram deformacij in napetosti po višini prečnega prereza,
- koordinatno izhodišče je postavljeno v težišče prečnega prereza,
- številki na horizontalni osi predstavljata velikost robnih vzdolžnih deformacij prereza,
- številki na vertikalni osi predstavljata oddaljenost zgornjega oziroma spodnjega roba od težišča prereza,
- označena je lega zgornje in spodnje armature.



Slika 4.7.5: Diagram deformacij in napetosti

Z ukazom »Merilo prereza:« spreminjamo velikost diagrama v navpični smeri, z ukazom »Merilo ϵ in σ :« pa spreminjamo velikost prikaza v vodoravni smeri.



Slika 4.7.6: Drsnika za spreminjanje prikaza deformacij in napetosti po prerezu

4.7.4 Interakcijski diagram

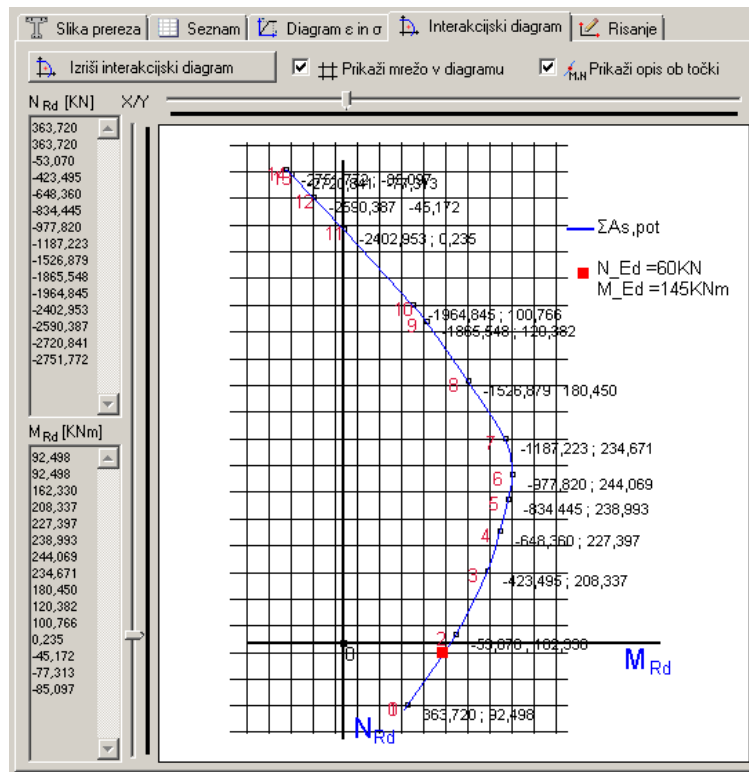
V zavihku »Interakcijski diagram« program izriše interakcijski diagram mejne osno-upogibne nosilnosti obravnavanega prečnega prereza (Slika 4.7.7). Točke na diagramu predstavljajo dvojice osna sila – upogibni moment pri izbranih mejnih deformacijskih ravninah prereza. Nabor deformacijskih ravnin smo predstavili v preglednici 3.6.1.

V dveh tabelah, ki se nahajata levo od interakcijskega diagrama, podajamo vrednosti osnih sil in upogibnih momentov, ki sestavljajo interakcijski diagram mejne nosilnosti prereza.

Slika interakcijskega diagrama vsebuje naslednje podatke:

- na vodoravni osi so prikazane vrednosti upogibnih momentov, na navpični osi pa vrednosti osnih sil,
- točke z zaporedno številko glede na potek mejne deformacijske ravnine prereza (točka 0 – centrična natezna obremenitev, točka 14 – centrična tlačna obremenitev),
- točke interakcijskega diagrama s pripisano osno in upogibno odpornostjo prereza,

- točka projektne obremenitve prereza (oznaka ■), ki leži ravno na krivulji interakcijskega diagrama.



Slika 4.7.7: Interakcijski diagram

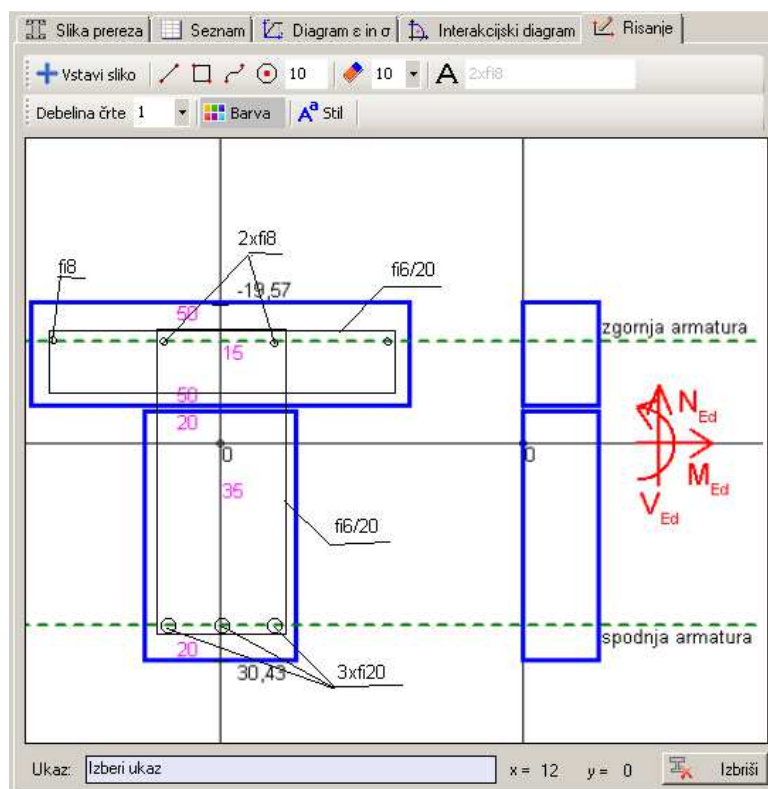
Velikost interakcijskega diagrama lahko spreminjamo z drsnikom »Merilo I.D.« (Slika 4.7.8).



Slika 4.7.8: Drsnik za spreminjanje merila interakcijskega diagrama

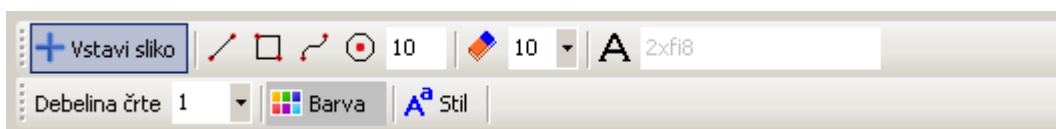
4.7.5 Izris armature v prerezu

Program nam v zavihku »Risanje« omogoča vris armature v prečni prerez. Primer izrisa prikazujemo na sliki 4.7.9.



Slika 4.7.9: Vris armature v prečni prerez

Pri tem so nam na voljo ukazi, kot jih prikazujemo na sliki 4.7.10. V nadaljevanju podrobneje predstavimo nabor možnih ukazov oziroma lastnosti.



Slika 4.7.10: Ukazi risanja v programu

Ukazna vrstica za vris armature je sestavljena iz naslednjih ukazov:

- **Vstavi sliko**, ukaz »Vstavi sliko« nam omogoča vstaviti sliko prečnega prereza,
- , ukaz »Črta«, nam omogoča risanje ravne črte med dvema točkama,
- , ukaz »Pravokotnik«, nam omogoča risanje pravokotnika,
- , ukaz »Prosta črta«, nam omogoča risanje proste črte,
- **20** , ukaz »Krog«, nam omogoča risanje kroga podanega s centrom in premerom,
- **10** , ukaz »Brisalec«, nam omogoča brisanje slike, izbere ali poda se velikost brisalca,
- **3xfi40mm** , ukaz »Opis armature«, nam omogoča vnašanje besedila v sliko.

Vrstico lastnosti sestavljajo naslednji ukazi:

- **Debelina črte 1** , ukaz »Debelina črte«, nam omogoča izbiro debeline črte,
- **Barva** , ukaz »Barva«, nam omogoča izbiro barve črt in barvo pisave,
- **Stil** , ukaz »Stil«, pa nam omogoča izbiro stila, velikost in odebelitev pisave.

Na voljo imamo dve možnosti izrisa armature v prerezu. V prvem primeru lahko sami izrišemo prečni prerez in armaturo, v drugem primeru pa vstavimo prečni prerez z ukazom »Vstavi sliko«, in nato vanj vrišemo armaturo.

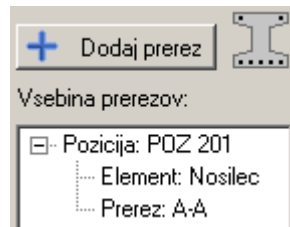
V vrstici »Ukaz« nam program prikazuje pomoč za izbrani ukaz in ob njej koordinate miškega kazalca. V kolikor želimo v celoti odstraniti sliko, izberemo ukaz »Izbriši«, ki se nahaja v desnem spodnjem kotu pod sliko 4.7.11.



Slika 4.7.11: Vrstica pomoči za izbrani ukaz, koordinate miškega kazalca in gumb za izbris prečnega prereza

4.8 Shranjevanje prerezov

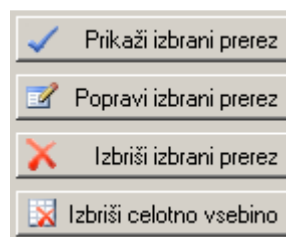
Ko zaključimo z računom in izrisom prečnega prereza, nam program omogoča, da rezultate računa shranimo v bazo. To storimo z ukazom »Dodaj prerez« (Slika 4.8.1).



Slika 4.8.1: Dodajanje prereza v bazo

Dodani prerez lahko tudi izbrišemo in sicer z ukazom »Odstrani izbrani prerez«. Lahko ga tudi popravimo z ukazom »Popravi izbrani prerez« (Slika 4.8.2).

Ob odprtju projekta prečni prerez ponovno prikažemo z ukazom »Prikaži prerez«. Pri tem moramo želeni prerez najprej označiti.



Slika 4.8.2: Ukazi za urejanje prerezov


V kolikor želimo odstraniti celotno vsebino prerezov oziroma elementov, izberemo ukaz »Izbriši celotno vsebino«.


4.9 Ukazi v glavnem meniju programa


V glavnem meniju se nahajajo ukazi, ki omogočajo delo s celotnim dokumentom (Slika 4.9.1).




Slika 4.9.1: Ukazi v glavnem meniju

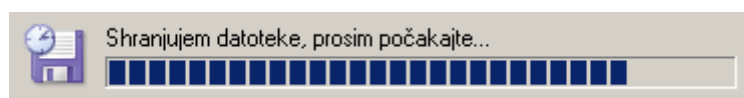
S klikom na ukaz »Nov prerez«  program pripravimo za vnos podatkov za izračun novega prečnega prereza. Pri tem se izbriše vsebina obstoječega izračuna, ne pa tudi vsebina shranjenih prerezov oziroma elementov.

S klikom na »Nov projekt«  program pripravimo za izdelavo novega projekta. Pri tem se izbriše celotna vsebina v programu in pripravi se program za nov projekt.

S klikom na ukaz »Odpri«  odpremo projekt. Pri tem lahko odpremo le datoteke, ki so bile ustvarjene s tem programom in imajo končnico .abp. Projekt se prikaže v oknu prerezov. Za prikaz želenega prečnega prereza ga moramo v seznamu izbrati s klikom na ukaz »Prikaži izbrani prerez«.


S klikom na ukaz »Shrani«  shranimo projekt. Pri tem program ustvari datoteko s končnico .abp, v katero shrani podatke in štiri pripadajoče slike. Program v datoteko shrani le prereze, ki so bili dodani z ukazom »Dodaj prerez«.

Med shranjevanjem program prikaže okno o statusu shranjevanja (Slika 4.9.2).




Slika 4.9.2: Status o shranjevanju projekta

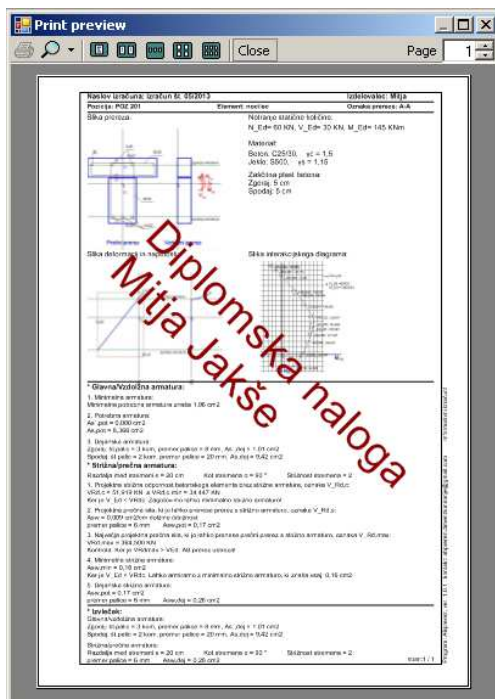
Pri shranjevanju program za potrebe statistike zahteva internetno povezavo. V kolikor internetna povezava ni vzpostavljena, program ne dovoljuje shranjevanja podatkov.

Z ukazom »Natisni projekt«  prikličemo okno, v katerem lahko izbiramo med nameščenimi tiskalniki (Slika 4.9.3).



Slika 4.9.3: Tisk projekta

Z ukazom »Predogled tiskanja«  program prikaže okno predogleda tiska (Slika 4.9.4). Vsak analiziran prečni prerez je prikazan na svoji strani. Dodani so vsi izračuni ter slike prereza.



Slika 4.9.4: Predogled tiskanja

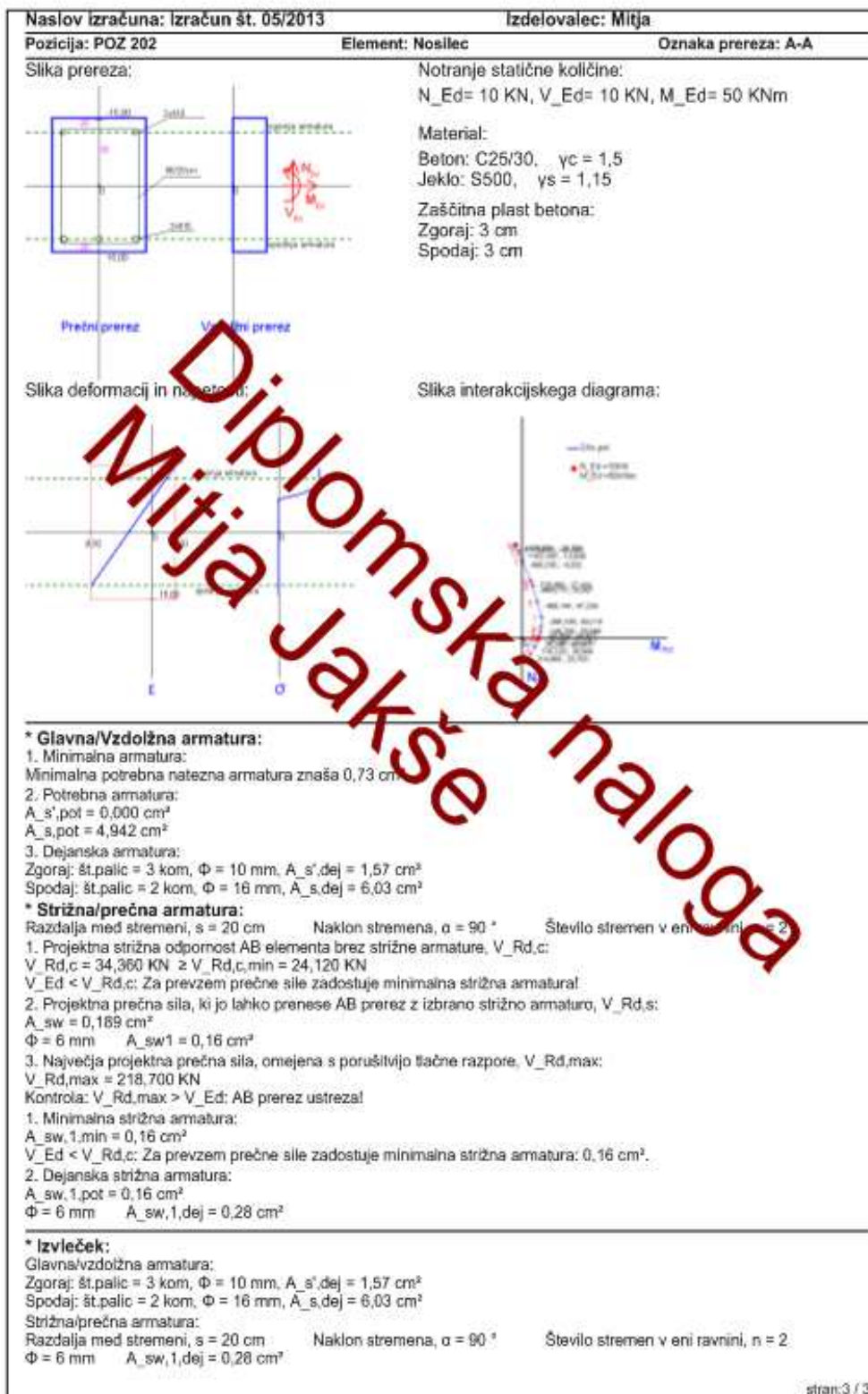
Vsak statični izračun poleg podatkov o oznaki načrta, investitorju, objektu, številki načrta, projektantu, odgovornem projektantu, odgovornem vodji projekta ter številki in datumu izdelave, vsebuje tudi izjavo, tehnično poročilo in načrte z vrisanimi pozicijami. Program v izpisu predstavi le statični izračun prereзов.

4.10 Izpis rezultatov izračuna

V izpisu izračuna so shranjeni vsi podatki o analiziranih prečnih prerezihi oziroma elementih. Kot smo že omenili, je vsak prečni prerez predstavljen na svojem listu (Slika 4.10.1). Izpis vsebuje naslednje podatke:

- naslov izračuna in izdelovalec
- oznake pozicije, elementa in prereza
- slika prereza, diagram poteka deformacij in napetosti ter interakcijski diagram
- obremenitve prereza
- izbrani vrsti betona in jekla
- spodnja in zgornja zaščitna plast betona
- glavna/vzdolžna armatura, ki vsebuje naslednje računske dokaze
 - minimalna armatura
 - potrebna armatura
 - dejanska armatura
- strižna/prečna armatura, ki vsebuje naslednje računske dokaze
 - projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature
 - projektna prečna sila, ki jo lahko prenese prerez s strižno armaturo
 - največja projektna prečna sila, ki je omejena s porušitvijo tlačne razpore

- minimalna strižna armatura
- dejanska strižna armatura
- izvleček izbrane armature za
 - glavno/vzdolžno armaturo
 - strižno/prečno armaturo



Slika 4.10.1: Izpis izračuna v predogledu tiska

5 RAČUNSKI PRIMERI

Primernost in uporabnost razvitega računalniškega programa za dimenzioniranje AB prečnih prerezov na osno-upogibno in strižno obremenitev prikažemo na treh različnih računskih primerih.

5.1 Pravokotni prečni prerez

V prvem računskem primeru dimenzioniramo pravokotni prečni prerez na upogibno in strižno obremenitev. Predpostavimo, da obravnavan prečni prerez pripada upogibno obremenjenemu nosilcu na sredini razpetine.

5.1.1 Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza

Dimenzije prečnega prereza (Slika 5.1.1):

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

Oddaljenost zgornje oziroma spodnje armature od zunanjega roba je:

$$a' = 3 \text{ cm}$$

$$a = 3 \text{ cm}$$

Izbrana kvaliteta materiala je:

beton: C25/30

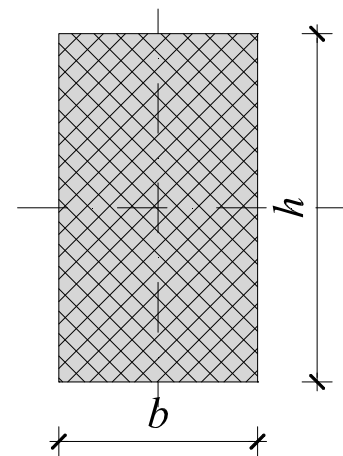
jeklo: S400

Projektne obremenitve prereza so:

$$N_{Ed} = 0 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = 70,4 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 90,6 \text{ KNm}$$



Slika 5.1.1: Pravokotni prerez

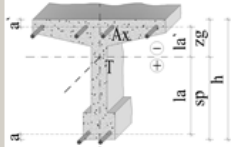
Geometrijske in materialne podatke ter podatke o obremenitvi prereza vpisujemo v program v zavihku »Podatki prereza« (Slika 5.1.2).

Podatki prereza Dimenzioniranje armature

Definiranje prereza:

Podprerez [ozn.]	Širina zgoraj [cm]	Širina spodaj [cm]	Višina [cm]	Število lamel [kom]
1	20	20	30	30
*				

Vstavi vrstico
Premakni izb. v. gor
Premakni izb. v. dol
Izbriši izbrano vrstico
Izbriši cel. vsebino


 Lega armature: Karakteristike prečnega prereza:
 $a' = 3$ cm A_x (površina celotnega prereza) = 600,00 cm²
 $a = 3$ cm h (višina celotnega prereza) = 30,00 cm
 z_g (zgornji rob prereza) = -15,00 cm
 sp (spodnji rob prereza) = 15,00 cm
 la' (lega zgornje armature) = -12,00 cm
 la (lega spodnje armature) = 12,00 cm

Material:

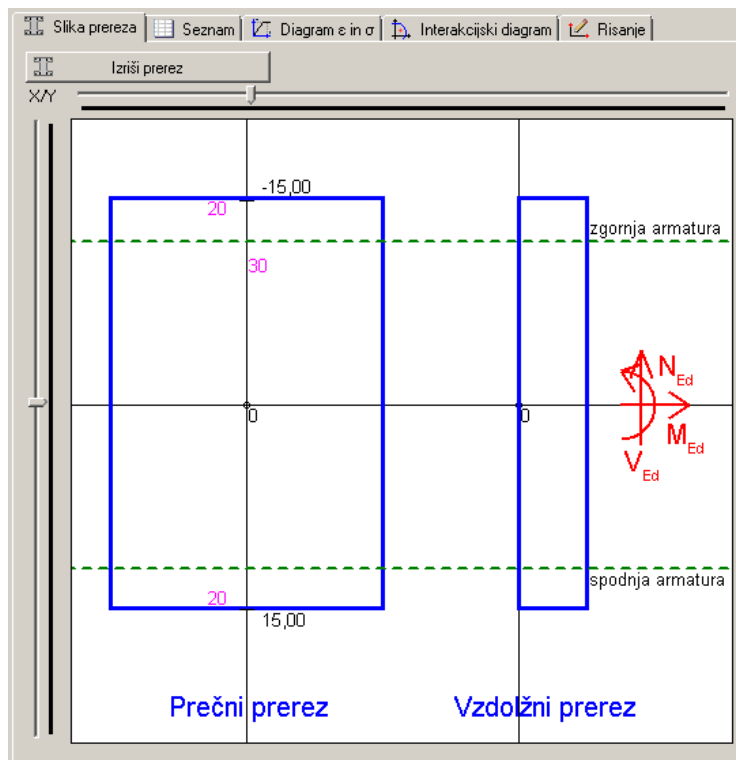
Beton: C25/30 $f_{ck} = 25$ $\gamma_c = 1,5$ $f_{cd} = 1,667$ KN/cm²
 Jeklo: S400 $f_{yk} = 400$ $\gamma_s = 1,15$ $f_{yd} = 34,783$ KN/cm²

Notranje sile:

$N_{Ed} = 0$ KN
 $V_{Ed} = 70$ KN
 $M_{Ed} = 90,6$ KNm

Slika 5.1.2: Zavihek »Podatki prereza«

V zavihku »Slika prereza« se nam ob pritisku na gumb »Izračun« izriše obravnavan prečni prerez, kot ga prikazujemo na sliki 5.1.3.



Slika 5.1.3: Izris prereza v zavihku »Slika prereza«

5.1.2 Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza

Vzdolžno armaturo dimenzioniramo tako, da v zavihku »Dimenzioniranje armature« izberemo zavihke »Glavna/vzdolžna armatura«. V prazni celici z vpisom robnih deformacij določimo potek mejne deformacijske ravnine v obravnavanem prečnem prerezu. Nato izberemo, ali želimo prerez armirati z enojno ali dvojno armaturo.

Vpišemo oziroma izberemo naslednje vrednosti:

$$\varepsilon_1/\varepsilon_s = -3,5/10 \text{ ‰}$$

in »Enojna armatura«

S klikom na »Izračun« program za predpostavljen potek deformacij po prečnem prerezu izračuna potrebno količino vzdolžne armature (Slika 5.1.4). Pri tem poda tudi minimalne zahteve za količino armature skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005.

The screenshot shows the 'Dimenzioniranje armature' window. It is divided into two tabs: 'Glavna/Vzdolžna armatura' (selected) and 'Strižna/Prečna armatura'.
 Under 'Glavna/Vzdolžna armatura':
 - Deformacija betona $\varepsilon_1 = -3,5 \text{ ‰}$ (range: $-3,5 \leq \varepsilon_1 \leq 0$)
 - Deformacija jekla $\varepsilon_s = 10 \text{ ‰}$ (range: $0 \leq \varepsilon_s \leq 10$)
 - Deformacije v značilnih točkah: EpsM = 0,50 ‰/cm, EpsSc = -2,00 ‰, Eps0 = 4,00 ‰, Eps2 = 11,50 ‰, Epshec = 0,00 ‰.
 - Odpornost prereza: N_c,Rd = 189,62; N_s,Rd = 189,62; N'_s,Rd = 0,00; N_Rd = 0,00; M_c,Rd = 2287,93; M_s,Rd = 2275,44; M'_s,Rd = 0,00; M_Rd = 4563,37.
 - Račun / Izpis iteracije.
 - 1. Minimalna armatura, $A_{s,min}$: Nosilec Steber. $A_{s,min1} = 0,913 \text{ cm}^2$, $A_{s,min2} = 0,702 \text{ cm}^2$. $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$. Kontrola: Minimalna potrebna natezna armatura znaša 0,91 cm².
 - 2. Potrebna armatura, $A_{s,pot}$: **Potrebno je armirati z dvojno armaturo!**. Dropdown: Enojna armatura. $A'_{s,pot} = 0,000 \text{ cm}^2$, $A_{s,pot} = 5,452 \text{ cm}^2$. $\mu_0 = 0,909 \text{ ‰}$. Kontrola: $M_{Rd} < M_{Ed}$. Armirati je potrebno z dvojno armaturo!
 - 3. Dejanska armatura, $A_{s,dej}$: Veljati mora: $A_{s,dej} > A_{s,pot}$.
 - št.palic: 2 kom, $\varnothing 10 \text{ mm}$, $A'_{s,dej} = 1,57 \text{ cm}^2$
 - št.palic: 3 kom, $\varnothing 16 \text{ mm}$, $A_{s,dej} = 6,03 \text{ cm}^2$
 - Minimalna armatura glede na obremenitev. Natančnost: 100. Optimizacija armature.
 - Status...: - Vsi potrebni podatki so vpisani oziroma pravilnega formata! Izračun je končan!
 - Izračun button.

Slika 5.1.4: Rezultati računa v zavihku »Glavna/vzdolžna armatura«

Ker je upogibna odpornost prereza $M_{Rd} = 45,63 \text{ KNm}$ manjša od obremenitve $M_{Rd} = 90,60 \text{ KNm}$, nas program opozori, da moramo prerez armirati z dvojno armaturo. V spustnem meniju izberemo »Dvojna armatura« in s pritiskom na gumb »Izračun« ponovimo račun (Slika 5.1.5).

Podatki prereza Dimenzioniranje armature

Glavna/Vzdolžna armatura Strižna/Prečna armatura

Deformacija betona $\varepsilon_1 = -3,5$ ‰ $-3,5 \leq \varepsilon_1 \leq 0$ Odpornost prereza: $N_{c,Rd} = 189,62$
 $N_{s,Rd} = 376,98$
 $N'_{s,Rd} = 187,36$
 $N_{Rd} = 0,00$

Deformacija jekla $\varepsilon_s = 10$ ‰ $0 \leq \varepsilon_s \leq 10$ $M_{c,Rd} = 2287,93$
 $M_{s,Rd} = 4523,76$
 $M'_{s,Rd} = 2248,32$
 $M_{Rd} = 9060,00$

Deformacije v značilnih točkah: $E_{psM} = 0,50$ ‰/cm
 $E_{psC} = 2,00$ ‰
 $E_{ps0} = 4,00$ ‰
 $E_{ps2} = 11,50$ ‰
 $E_{pshe} = 0,00$ ‰

Račun Izpis iteracije

1. Minimalna armatura, $A_{s,min}$: Nosilec Steber $A_{s,min1} = 0,913$ cm²
 $f_{ctm} = 2,6$ MPa $A_{s,min2} = 0,702$ cm²
 Kontrola: Minimalna potrebna natezna armatura znaša 0,91 cm².

2. Potrebna armatura, $A_{s,pot}$: **Amiriranje z dvojno armaturo!**
 Dvojna armatura $A'_{s,pot} = 5,387$ cm²
 $\mu_0 = 2,704$ ‰ $A_{s,pot} = 10,838$ cm²
 Kontrola: Pri dvojnem amiriranem prerezu je $M_{Rd} = M_{Ed}$

3. Dejanska armatura, $A_{s,dej}$: Veljati mora: $A_{s,dej} > A_{s,pot}$
 št.palic: 2 kom $\varnothing 10$ mm $A'_{s,dej} = 1,57$ cm²
 št.palic: 3 kom $\varnothing 16$ mm $A_{s,dej} = 6,03$ cm²

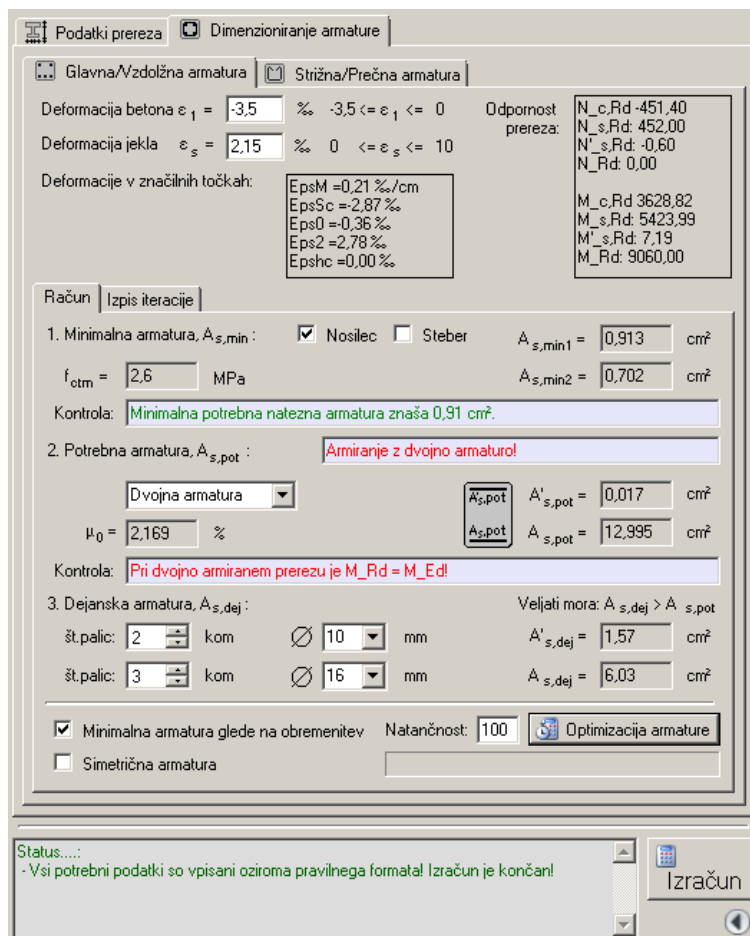
Minimalna armatura glede na obremenitev Natančnost: 100

Simetrična armatura

Status.....
 - Vsi potrebni podatki so vpisani oziroma pravilnega formata! Izračun je končan!

Slika 5.1.5: Rezultati računa v zavihku »Glavna/vzdolžna armatura« za dvojno armiran prerez

Potrebna količina spodnje oziroma zgornje armature ($A_{s,pot} = 10,838$ cm² in $A'_{s,pot} = 5,387$ cm²) seveda ni optimalna, zagotavlja pa ravnotežje prereza pri izbranem poteku deformacij po prerezu. Kot smo že omenili, program omogoča tudi optimizacijo potrebne količine vzdolžne armature. Na voljo imamo dva kriterija. Prvi kriterij je minimalna količina vzdolžne armature, ki jo potrebujemo za prevzem dane obremenitve, drugi kriterij pa je, da sta količini zgornje in spodnje armature enaki, ta kriterij imenujemo pogoj simetrične armature. Izberemo pogoj minimalne armature in s pritiskom na gumb »Optimizacija armature« program izmed možnih naborov mejnih deformacijskih ravnin izbere tistega, pri katerem je skupna količina vzdolžne armature, ki še zagotavlja ravnotežje v prerezu, najmanjša ($A_{s,pot} = 12,995$ cm² in $A'_{s,pot} = 0,017$ cm²). Rezultate optimizacije dvojne armature prikazujemo na sliki 5.1.6.



Slika 5.1.6: Rezultati optimizacije dvojne armature

Izkaže se, da je minimalna količina dvojne armature potrebna pri robnih deformacijah $\epsilon_1/\epsilon_s = -3,5/2,15$ ‰, ko v prečnem prerezu zadostuje zgolj natezna armatura, saj je potrebna količina tlačne armature zanemarljiva. Ker pa je potek deformacij po prerezu takšen, da je več kot 45 % prečnega prereza tlačno obremenjenega (kriterij se nanaša na statično višino prereza), kar ne zagotavlja duktilnega obnašanja prereza, se odločimo za prvotno rešitev z dvojno armiranim prerezom pri robnih deformacijah $\epsilon_1/\epsilon_s = -3,5/10$ ‰.

Program omogoča tudi optimizacijo vzdolžne armature pri enojno armiranem prečnem prerezu. V spustnem meniju ponovno izberemo možnost »Enojna armatura«. V predhodnem računu smo ugotovili, da pri izbranih robnih deformacijah prereza $\epsilon_1/\epsilon_s = -3,5/10$ ‰ ne moremo zagotoviti zadostne upogibne odpornosti, če je prerez armiran le z natezno armaturo. Kljub temu izberemo pogoj minimalne armature in s pritiskom na gumb »Optimizacija armature« poiščemo potrebno količino natezne armature, ki zagotavlja ravnotežje prereza. Izkaže se, da je rešitev optimizacije pri robnih deformacijah $\epsilon_1/\epsilon_s = -3,5/2,135$ ‰, ko je v prečnem prerezu potrebna le enojna (natezna) armatura in znaša $A_s = 13,125$ cm². Rezultate računa prikazujemo na sliki 5.1.7 in so na las podobni rešitvi pri optimizaciji dvojne armature. Ker pa potek deformacij po prerezu ne zagotavlja duktilnega obnašanja prereza, rešitev žal ni primerna.

Podatki prereza | Dimenzioniranje armature

Glavna/Vzdolžna armatura | Strižna/Prečna armatura

Deformacija betona $\epsilon_1 = -3,5$ % $-3,5 \leq \epsilon_1 \leq 0$ Odpornost prereza: $N_{c,Rd} -189,62$
 $N_{s,Rd} 376,98$
 $N'_{s,Rd} -187,36$
 $N_{Rd} 0,00$

Deformacija jekla $\epsilon_s = 10$ % $0 \leq \epsilon_s \leq 10$ $M_{c,Rd} 2287,93$
 $M_{s,Rd} 4523,76$
 $M'_{s,Rd} 2248,32$
 $M_{Rd} 9060,00$

Deformacije v značilnih točkah: $EpsM = 0,50$ %/cm
 $EpsSc = 2,00$ %
 $Eps0 = 4,00$ %
 $Eps2 = 11,50$ %
 $EpsHc = 0,00$ %

Račun | Izpis iteracije

1. Minimalna armatura, $A_{s,min}$: Nosilec Steber $A_{s,min1} = 0,913$ cm²
 $f_{ctm} = 2,6$ MPa $A_{s,min2} = 0,702$ cm²

Kontrola: Minimalna potrebna natezna armatura znaša 0,91 cm².

2. Potrebna armatura, $A_{s,pot}$: **Armiranje z dvojnjo armaturo!**

$A_{s,pot} = 5,387$ cm²
 $\mu_0 = 2,704$ % $A_{s,pot} = 10,838$ cm²

Kontrola: Pri dvojnem armiranem prerezu je $M_{Rd} = M_{Ed}$!

3. Dejanska armatura, $A_{s,dej}$: Veljati mora: $A_{s,dej} > A_{s,pot}$

št.palic: kom mm $A'_{s,dej} = 6,16$ cm²
št.palic: kom mm $A_{s,dej} = 12,57$ cm²

Minimalna armatura glede na obremenitev Natančnost:
 Simetrična armatura

Slika 5.1.7: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«

V zavihku »Seznam« (Slika 5.1.8) program prikaže preglednico, s pomočjo katere je izračunana osno-upogibna odpornost betonskega dela prečnega prereza. Rezultati računa veljajo za dvojnjo armiran prerez pri robnih deformacijah $\epsilon_1/\epsilon_s = -3,5/10$ %.

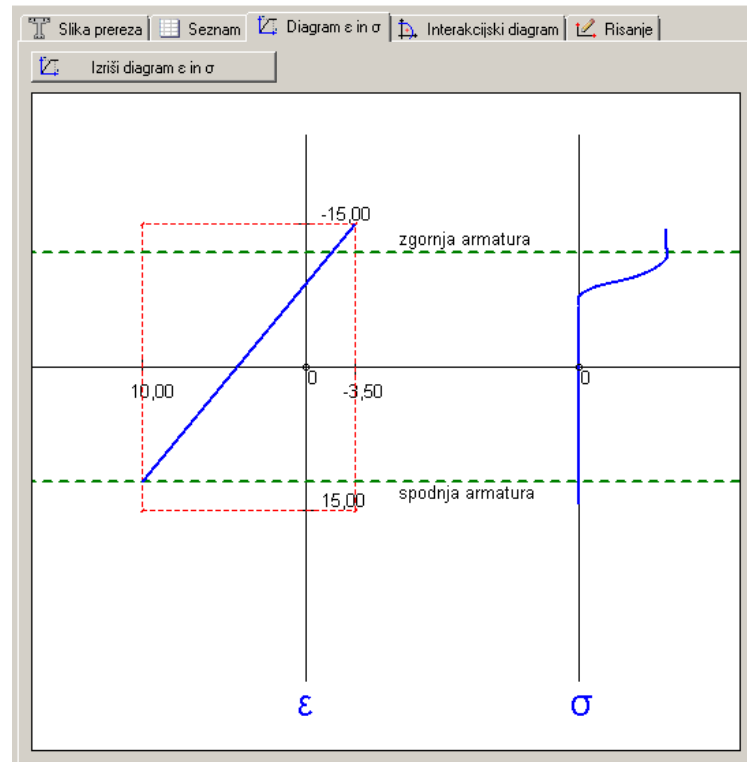
Slika prereza | Seznam | Diagram ϵ in σ | Interakcijski diagram | Risanje

Podpr.	i ta lamela	višina i te lamele	širina i te lamele	koordinata težišča i te lamele	ϵ_i	σ_{ci}	$N_{c,Rd,i}$	$M_{c,Rd,i}$
1	1	1,000	20,000	-14,500	-3,250	-1,667	-33,340	483,430
1	2	1,000	20,000	-13,500	-2,750	-1,667	-33,340	450,090
1	3	1,000	20,000	-12,500	-2,250	-1,667	-33,340	416,750
1	4	1,000	20,000	-11,500	-1,750	-1,641	-32,820	377,430
1	5	1,000	20,000	-10,500	-1,250	-1,432	-28,640	300,720
1	6	1,000	20,000	-9,500	-0,750	-1,016	-20,320	193,040
1	7	1,000	20,000	-8,500	-0,250	-0,391	-7,820	66,470
1	8	1,000	20,000	-7,500	0,250	0,000	0,000	0,000
1	9	1,000	20,000	-6,500	0,750	0,000	0,000	0,000
1	10	1,000	20,000	-5,500	1,250	0,000	0,000	0,000
1	11	1,000	20,000	-4,500	1,750	0,000	0,000	0,000
1	12	1,000	20,000	-3,500	2,250	0,000	0,000	0,000
1	13	1,000	20,000	-2,500	2,750	0,000	0,000	0,000
1	14	1,000	20,000	-1,500	3,250	0,000	0,000	0,000
1	15	1,000	20,000	-0,500	3,750	0,000	0,000	0,000
1	16	1,000	20,000	0,500	4,250	0,000	0,000	0,000
1	17	1,000	20,000	1,500	4,750	0,000	0,000	0,000
1	18	1,000	20,000	2,500	5,250	0,000	0,000	0,000
1	19	1,000	20,000	3,500	5,750	0,000	0,000	0,000

$\Sigma N_{c,Rd,i} = -189,620$ KN
 $\Sigma M_{c,Rd,i} = 2287,930$ KNcm

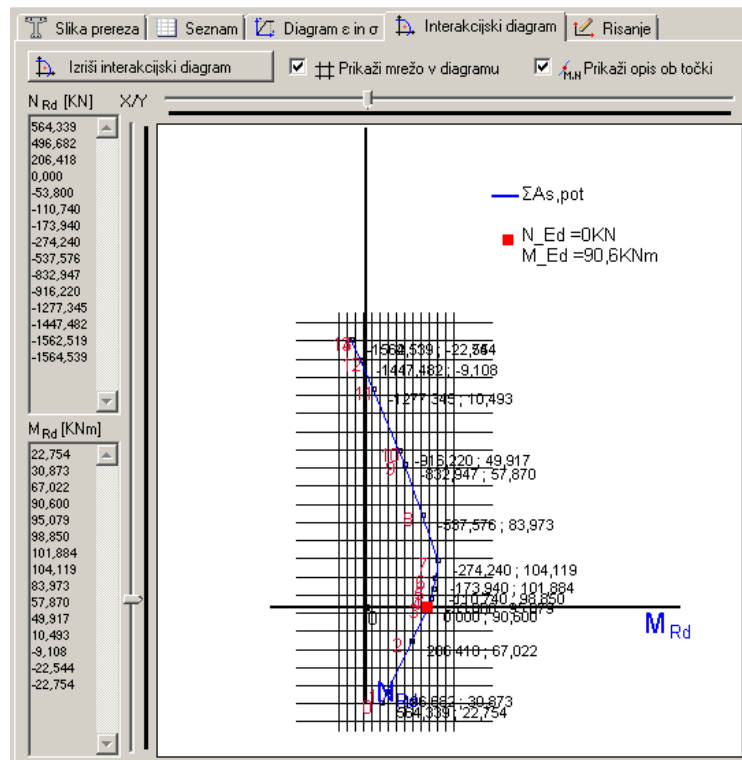
Slika 5.1.8: Preglednica v zavihku »Seznam«

V zavihku »Diagram ϵ in σ « program prikaže potek deformacij in napetosti v betonu po višini obravnavanega prečnega prereza (Slika 5.1.9).



Slika 5.1.9: Potek deformacij in napetosti v betonu v zavihku »Diagram ϵ in σ «

V zavihku »Interakcijski diagram« (Slika 5.1.10) program izriše diagram mejne osno-upogibne nosilnosti obravnavanega dvojno armiranega prečnega prereza. Točka projektne obremenitve prereza (oznaka ■) leži ravno na krivulji interakcijskega diagrama.



Slika 5.1.10: Interakcijski diagram v zavihku »Interakcijski diagram«

Na podlagi potrebne količine spodnje in zgornje armature, $A_{s,pot}$ in $A'_{s,pot}$, v nadaljevanju izberemo ustrezno količino vzdolžne armature, $A_{s,dej}$ in $A'_{s,dej}$. Pri tem moramo izpolniti pogoja:

$$\begin{aligned} A_{s,dej} &\geq A_{s,pot} \\ A'_{s,dej} &\geq A'_{s,pot} \end{aligned}$$

Izbiramo lahko število ter premer palic. Za zgornjo armaturo izberemo 4 palice $\varnothing 14$ mm, za spodnjo armaturo pa 4 palice $\varnothing 20$ mm (Slika 5.1.7).

5.1.3 Dimenzioniranje strižne armature prereza

V nadaljevanju dimenzioniramo prečni prerez še na strižno obremenitev zaradi prečne sile. V zavihku »Dimenzioniranje armature« sedaj izberemo zavihkek »Strižna/Prečna armatura« (Slika 5.1.11). Vanj vpišemo predvideno razdaljo med stremeni s , naklon stremen α glede na vzdolžno os elementa in število stremen n v eni strižni ravnini.

Izberemo naslednje vrednosti:

$$\begin{aligned} s &= 20 \text{ cm} \\ \alpha &= 90^\circ \\ n &= 2 \end{aligned}$$

S klikom na gumb »Izračun« program izračuna strižno odpornost prereza brez oziroma z upoštevanjem izbrane strižne armature ter strižno odpornost prereza, ki je omejena s porušitvijo tlačne razpore pri mehanizmu ravninskega paličja. Dodatno se izvedejo tudi potrebne kontrole (Slika 5.1.11).

Slika 5.1.11: Račun strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«

Ugotovimo, da moramo celotno prečno silo prevzeti s strižno armaturo, nosilnost tlačne razpore pa ni ogrožena. Na podlagi opravljenih računskih kontrol lahko izberemo še ustrezen premer palice strižne armature oz. stremena $A_{sw,1,dej}$.

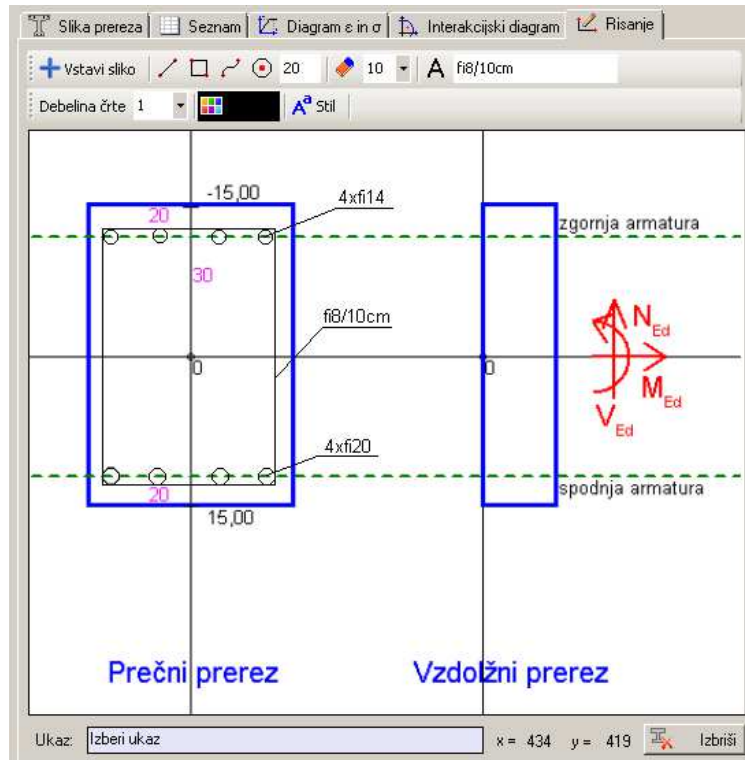
V kolikor bi se zgodilo, da bi bil izbran premer palice prevelik, bi v zavihku »Strižna/Prečna armatura« izbrali manjšo razdaljo med stremeni ali pa povečali število palic v eni strižni ravnini ter s pritiskom na gumb »Izračun« ponovili izračun.

Izberemo dvostrizno streme $\varnothing 8$ na medsebojni razdalji 10 cm.

Zaradi obremenitve AB prečnega prereza s prečno silo moramo zagotoviti dodatno količino vzdolžne natezne armature ΔA_{sl} . Ugotovimo, da izbrana količina natezne (spodnje) armature (4x $\varnothing 20$ mm) in tlačne (zgornje) (4x $\varnothing 14$ mm) zadostuje za prevzem upogibne in strižne obremenitve.

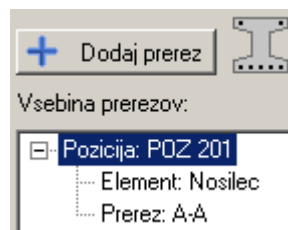
5.1.4 Izris armature prereza in vnos prereza v bazo

V zavihku »Risanje« s klikom na ukaz »Vstavi sliko« vstavimo sliko obravnavanega pravokotnega prereza. Nato vanj vrišemo izbrano vzdolžno in strižno armaturo, kot to prikazujemo na sliki 5.1.12.



Slika 5.1.12: Slika prereza z vrisano armaturo v zavihku "Risanje"

V kolikor smo račun zaključili, rezultate vnesemo v bazo. To storimo s klikom na gumb »Dodaj prerez« (Slika 5.1.13).



Slika 5.1.13: Vnos prereza v bazo

Če želimo analizirati in dimenzionirati več prečnih prerezov obravnavanega upogibnega nosilca (elementa), v oknu »Oznaka prereza« spremenimo oznako prečnega prereza in ponovimo izračun z novimi podatki o obremenitvi, lahko tudi z novimi podatki o geometriji in materialu. Na enak način poteka tudi dimenzioniranje novega elementa.

Ko prerez vnesemo v bazo, ga lahko tudi shranimo oziroma natisnemo.

Potek dela s programom je ne glede na izbiro elementa in prečnega prereza ves čas enak. Zato v nadaljevanju predstavimo le korake, ki se razlikujejo od zgoraj opisanih.

5.2 »T« prečni prerez

V drugem računskem primeru dimenzioniramo prečni prerez »T« oblike na osno-upogibno in strižno obremenitev. Predpostavimo, da obravnavan prečni prerez pripada upogibno obremenjenemu nosilcu ob podpori.

5.2.1 Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza

Dimenzije prečnega prereza elementa so (Slika 5.2.1):

$$b_1 = 50 \text{ cm}$$

$$h_1 = 15 \text{ cm}$$

$$b_2 = 20 \text{ cm}$$

$$h_2 = 35 \text{ cm}$$

Oddaljenost spodnje oziroma zgornje armature od zunanjega roba je:

$$a = 5 \text{ cm}$$

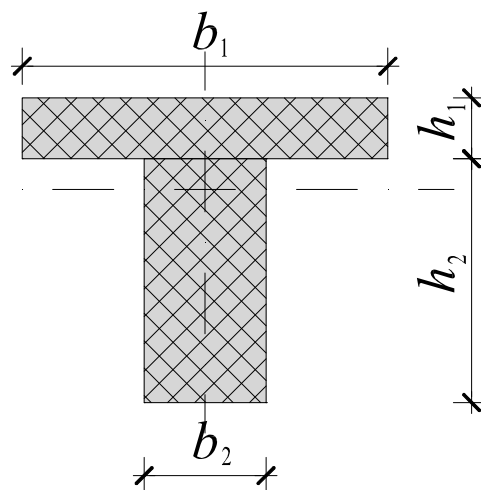
$$a' = 5 \text{ cm}$$

Izbrana kvaliteta materiala je:

beton: C25/30

jeklo: S500

Projektne obremenitve prereza pa so:



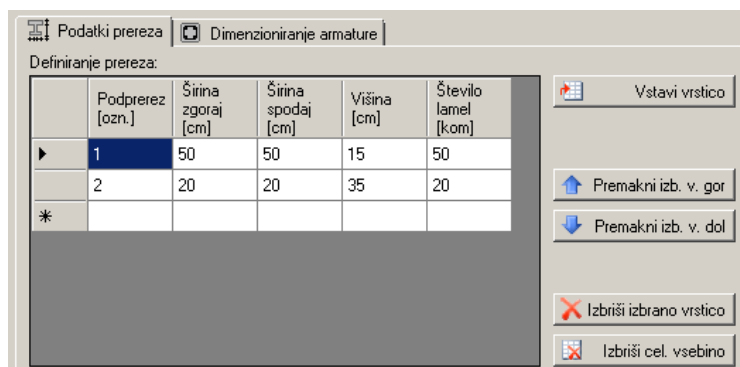
Slika 5.2.1: Slika »T« prečnega prereza

$$N_{Ed} = 60 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 30 \text{ kN}$$

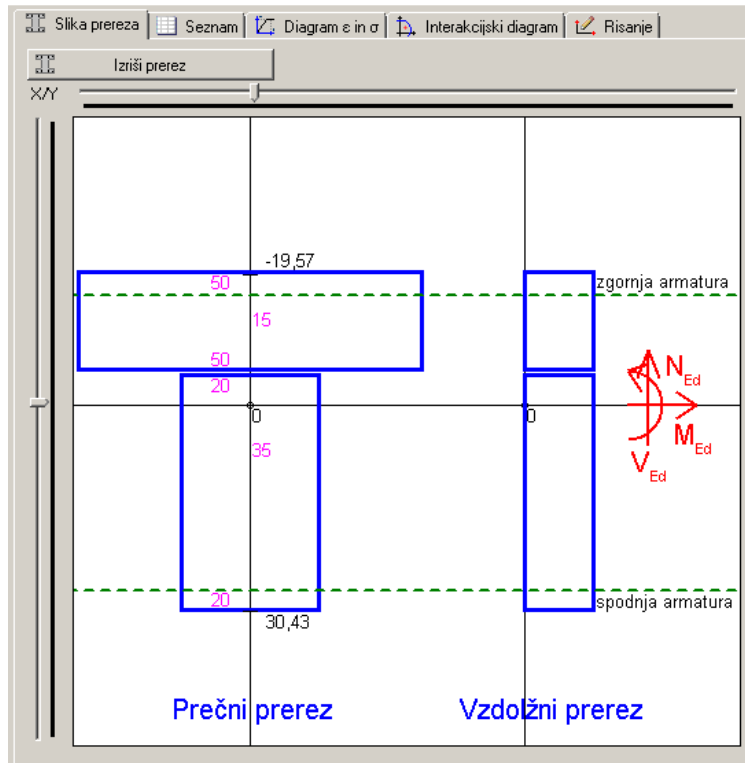
$$M_{Ed} = -145 \text{ kNm}$$

Geometrijske podatke prečnega prereza podajamo v zavihku »Podatki prereza«, kjer v tabelo »Definiranje prereza« vpisujemo geometrijske podatke za vsak podprerez posebej. Za obravnavan prečni prerez »T« oblike vpišemo podatke, kot prikazujemo na sliki 5.2.2.



Slika 5.2.2: Podajanje geometrije za »T« prerez v tabelo »Definiranje prereza«

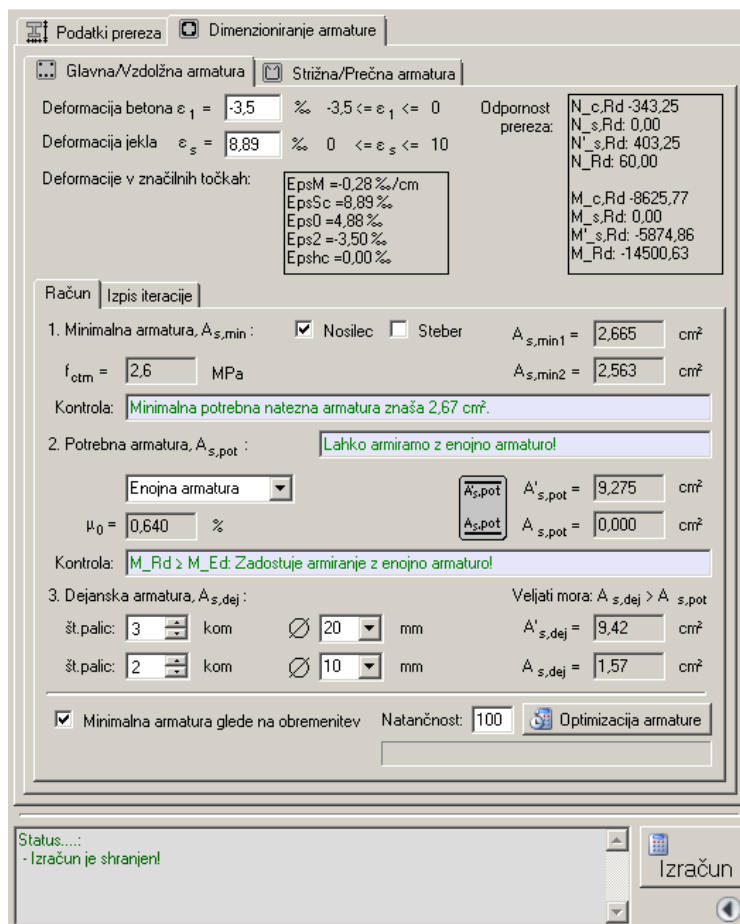
V zavihku »Slika prereza« program izriše prečni prerez (Slika 5.2.3).



Slika 5.2.3: Slika prereza v zavihku »Slika prereza«

5.2.2 Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza

Kot smo že omenili, vzdolžno armaturo prereza dimenzioniramo v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«. Odločimo se za enojno armiran prerez (v prerezu je samo natezna armatura). Izberemo pogoj minimalne armature in s pritiskom na gumb »Optimizacija armature« poiščemo potrebno količino natezne armature (v tem primeru zgornje armature, ker je upogibni moment negativnega predznaka), ki zagotavlja ravnotežje prereza. Izkaže se, da je rešitev optimizacije pri robnih deformacijah $\varepsilon_1/\varepsilon_s = -3,5/8,89 \%$, potrebna količina zgornje armature pa je $A'_{s,pot} = 9,275 \text{ cm}^2$. Zgoraj izberemo 3 palice $\varnothing 20 \text{ mm}$, spodaj pa dve palici $\varnothing 8 \text{ mm}$ (Slika 5.2.4).



Slika 5.2.4: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«

5.2.3 Dimenzioniranje strižne armature prereza

Strižno armaturo prereza dimenzioniramo v zavihku »Strižna/Prečna armatura«. Izberemo razdaljo med stremeni 20 cm, naklon stremen 90 ° in dvostrizno streme (po dve palici v vsaki strižni ravnini). Program glede na izbrane vrednosti poda računske kontrole (Slika 5.2.5).

Podatki prereza Dimenzioniranje armature

Glavna/Vzdolžna armatura Strižna/Prečna armatura

Razdalja med stremenji, $s = 20$ cm

Naklon stremena, $\alpha = 90^\circ$ $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Število stremen v eni ravnini, $n = 2$ kom

1. Projektna strižna odpornost AB prereza brez strižne armature, $V_{Rd,c}$:
 $V_{Rd,c} = 99,016$ KN \geq $V_{Rd,c,min} = 86,118$ KN
 Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura!

2. Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez z izbrano strižno armaturo, $V_{Rd,s}$:
 $V_{Rd,s} = 30$ KN $A_{sw} = 0,341$ cm² $A_{sw,1} = 0,170$ cm²

3. Največja projektna prečna sila, omejena s porušitvijo tlačne razpore, $V_{Rd,max}$:
 $V_{Rd,max} = 911,250$ KN
 Kontrola: $V_{Rd,max} > V_{Ed}$: AB prerez ustreza!

1. Minimalna strižna armatura, $A_{sw,1,min}$:
 $A_{sw,1,min} = 0,4$ cm²
 Kontrola: $V_{Ed} < V_{Rd,c}$: Za prevzem prečne sile zadostuje minimalna strižna armatura: 0,4 cm².

2. Dejanska strižna armatura, $A_{sw,1,dej}$: Veljati mora: $A_{sw,1,dej} > A_{sw,1,pot}$
 $A_{sw,1,pot} = 0,40$ cm²
 $\varnothing 8$ mm $A_{sw,1,dej} = 0,50$ cm²

Dodatna vzdolžna armatura, ΔA_{sl} : Maksimalna razdalja med stremenji, s_{max} :
 $\Delta A_{sl} = 0,345$ cm² $s_{max} = 33,750$ cm

Status...:
 - Izračun je shranjen!

Izračun

Slika 5.2.5: Dimenzioniranje strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«

Ugotovimo, da za prevzem strižne obremenitve zaradi prečne sile zadostuje že minimalna količina strižne armature. Tako izberemo dvostrizno streme $\varnothing 8/20$ cm.

5.3 »I« prečni prerez

V tretjem računskem primeru prikazujemo vnos geometrijskih podatkov v tabelo »Definiranje prereza« za »I« prečni prerez. Prerez je sestavljen iz petih podprerezov (Slika 5.3.1). Pri tem imata drugi in četrti podprerez spremenljivo širino.

5.3.1 Geometrijski in materialni podatki ter podatki o obremenitvi prereza

Dimenzije prečnega prereza elementa so (Slika 5.3.1):

$$b_{1z} = b_{1s} = 60 \text{ cm}, h_1 = 15 \text{ cm}$$

$$b_{2z} = 60 \text{ cm}, b_{2s} = 10 \text{ cm}, h_2 = 5 \text{ cm}$$

$$b_{3z} = b_{3s} = 10 \text{ cm}, h_3 = 30 \text{ cm}$$

$$b_{4z} = 10 \text{ cm}, b_{4s} = 20 \text{ cm}, h_4 = 5 \text{ cm}$$

$$b_{5z} = b_{5s} = 20 \text{ cm}, h_5 = 10 \text{ cm}$$

Oddaljenost spodnje oziroma zgornje armature od zunanjega roba je:

$$a = 5 \text{ cm}$$

$$a' = 5 \text{ cm}$$

Izbrana kvaliteta materiala je:

beton: C25/30
jeklo: S500

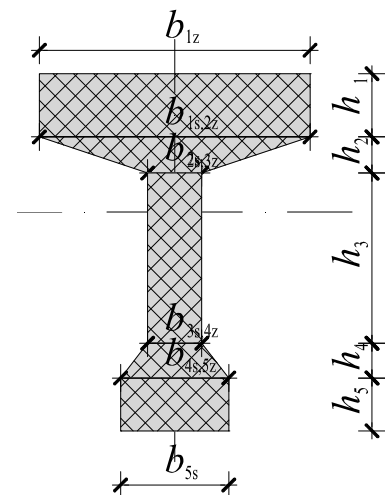
Projektne obremenitve prereza so:

$$N_{Ed} = 15,78 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = 73,65 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 168,4 \text{ KNm}$$

Geometrijske podatke prečnega prereza podajamo v zavihku »Podatki prereza«, kjer v tabelo »Definiranje prereza« vpisujemo geometrijske podatke za vsak podprerez posebej. Za obravnavan prečni prerez »I« oblike vpišemo podatke, kot prikazujemo na sliki 5.3.2.

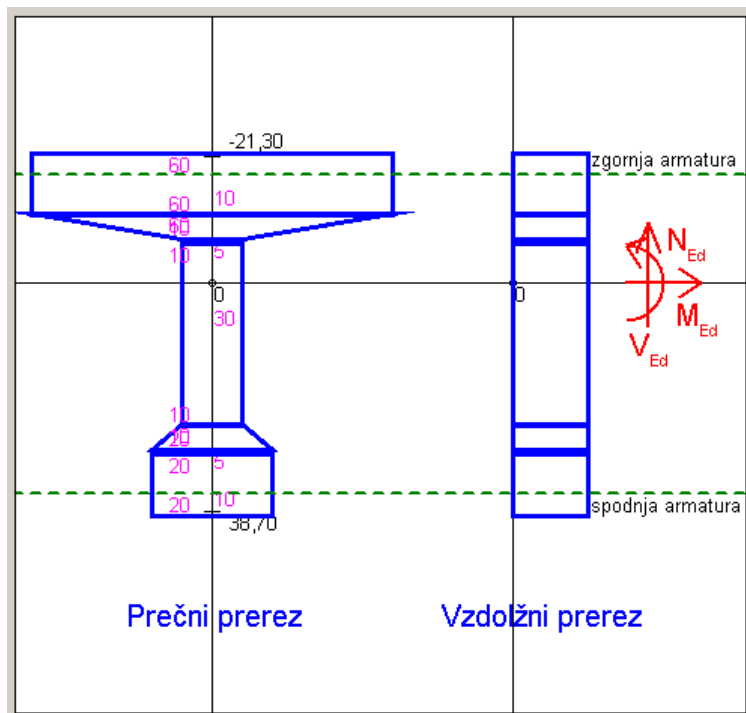


Slika 5.3.1: Slika »I« prečnega prereza

Definiranje prereza:					
Podprerez [ozn.]	Širina zgoraj [cm]	Širina spodaj [cm]	Višina [cm]	Število lamel [kom]	
1	60	60	10	10	
2	60	10	5	5	
3	10	10	30	30	
4	10	20	5	5	
5	20	20	10	10	
*					

Slika 5.3.2: Podajanje geometrije »I« prereza v tabeli »Definiranje prereza«

Program glede na vnesene podatke prikaže prečni prerez elementa (Slika 5.3.3).



Slika 5.3.3: Slika »I« prečnega prereza v zavihku »Slika prereza«

5.3.2 Dimenzioniranje vzdolžne armature prereza

Izberemo enojno armiran prerez (v prerezu je samo natezna armatura). Izberemo pogoj minimalne armature in s pritiskom na gumb »Optimizacija armature« poiščemo potrebno količino natezne armature (v tem primeru spodnje armature, ker je upogibni moment pozitivnega predznaka), ki zagotavlja ravnotežje prereza. Izkaže se, da je rešitev optimizacije pri robnih deformacijah $\varepsilon_1/\varepsilon_s = -1,267/10$ ‰, potrebna količina spodnje armature pa je $A_{s,pot} = 7,478$ cm². Spodaj izberemo 3 palice $\varnothing 20$ mm, zgoraj pa dve palici $\varnothing 10$ mm (Slika 5.3.4).

The screenshot shows a software window titled 'Podatki prereza' and 'Dimenzioniranje armature'. It is divided into two tabs: 'Glavna/Vzdolžna armatura' (selected) and 'Strižna/Prečna armatura'. The interface displays various input and output parameters for reinforcement design.

Inputs and Parameters:

- Deformacija betona $\varepsilon_1 = -1,267$ ‰ (range: $-3,5 \leq \varepsilon_1 \leq 0$)
- Deformacija jekla $\varepsilon_s = 10$ ‰ (range: $0 \leq \varepsilon_s \leq 10$)
- Deformacije v značilnih točkah: EpsM = 0,20 ‰/cm, EpsSc = -0,24 ‰, Eps0 = 3,10 ‰, Eps2 = 11,02 ‰, Epshc = 0,00 ‰
- Material strength: $f_{ctm} = 2,6$ MPa
- Relaxation coefficient: $\mu_0 = 0,554$ ‰
- Accuracy: Natančnost: 100

Results and Controls:

- 1. Minimalna armatura, $A_{s,min}$:** Checked 'Nosilec', unchecked 'Steber'. $A_{s,min1} = 1,363$ cm², $A_{s,min2} = 1,311$ cm². Control: 'Minimalna potrebna natezna armatura znaša 1,36 cm².'
- 2. Potrebna armatura, $A_{s,pot}$:** 'Lahko armiramo z enojno armaturo!'. Selected 'Enojna armatura'. $A'_{s,pot} = 0,000$ cm², $A_{s,pot} = 7,478$ cm². Control: ' $M_{Rd} \geq M_{Ed}$. Zadostuje armiranje z enojno armaturo!'
- 3. Dejanska armatura, $A_{s,dej}$:** 'Veljati mora: $A_{s,dej} > A_{s,pot}$ '. $A'_{s,dej} = 1,57$ cm², $A_{s,dej} = 9,42$ cm². Selected 2 bars of 10 mm and 3 bars of 20 mm.

Buttons and Status:

- Buttons: 'Račun', 'Izpis iteracije', 'Optimizacija armature', 'Izračun'.
- Status bar: 'Status...: -Vsi potrebni podatki so vpisani oziroma pravilnega formata! Izračun je končan!'

Slika 5.3.4: Rezultati optimizacije enojne armature v zavihku »Glavna/Vzdolžna armatura«

5.3.3 Dimenzioniranje strižne armature prereza

Strižno armaturo prereza dimenzioniramo v zavihku »Strižna/Prečna armatura«. Izberemo razdaljo med stremeni 20 cm, naklon stremen 90° in dvostrizno streme (po dve palici v vsaki strižni ravnini). Program glede na izbrane vrednosti poda računske kontrole (Slika 5.3.5).

Podatki prereza | Dimenzioniranje armature

Glavna/Vzdolžna armatura | Strižna/Prečna armatura

Razdalja med stremenji, $s = 20$ cm

Naklon stremena, $\alpha = 90^\circ$ $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Število stremen v eni ravnini, $n = 2$ kom

1. Projektna strižna odpornost AB prereza brez strižne armature, $V_{Rd,c}$:
 $V_{Rd,c} = 54,591$ KN $\geq V_{Rd,c,min} = 39,263$ KN
 Kontrola: $V_{Ed} \geq V_{Rd,c}$: Celotno prečno silo moramo prevzeti s strižno armaturo!

2. Projektna prečna sila, ki jo lahko prenese AB prerez z izbrano strižno armaturo, $V_{Rd,s}$:
 $V_{Rd,s} = 73,65$ KN $A_{sw} = 0,684$ cm² $A_{sw,1} = 0,342$ cm²

3. Največja projektna prečna sila, omejena s porušitvijo tlačne razpore, $V_{Rd,max}$:
 $V_{Rd,max} = 445,500$ KN
 Kontrola: $V_{Rd,max} > V_{Ed}$: AB prerez ustreza!

1. Minimalna strižna armatura, $A_{sw,1,min}$:
 $A_{sw,1,min} = 0,16$ cm²
 Kontrola: $V_{Ed} \geq V_{Rd,c}$: Minimalna strižna armatura ne zadošča za prevzem prečne sile!

2. Dejanska strižna armatura, $A_{sw,1,dej}$: Veljati mora: $A_{sw,1,dej} > A_{sw,1,pot}$
 $A_{sw,1,pot} = 0,34$ cm²
 $\varnothing 8$ mm $A_{sw,1,dej} = 0,50$ cm²

Dodatna vzdolžna armatura, ΔA_{sl} : Maksimalna razdalja med stremenji, s_{max} :
 $\Delta A_{sl} = 0,847$ cm² $s_{max} = 41,250$ cm

Status....:
 - Vsi potrebni podatki so vpisani oziroma pravilnega formata! Izračun je končan!

Izračun

Slika 5.3.5: Dimenzioniranje strižne armature v zavihku »Strižna/Prečna armatura«

Ugotovimo, da moramo celotno prečno silo prevzeti s strižno armaturo. Izberemo dvostrizno streme $\varnothing 8/20$ cm. Izbrana natezna armatura zadostuje tudi za prevzem dodatne natezne armature zaradi vpliva prečne sile.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo predstavili lasten računalniški program za dimenzioniranje AB prerezov na osno-upogibno in strižno obremenitev. Program smo izdelali v programskem jeziku Visual C#[®], ki je eden izmed jezikov, ki jih je razvil Microsoft[®]. Pri izdelavi algoritmov programa smo se držali načel in pravil, ki jih podaja Evrokod za dimenzioniranje AB konstrukcij.

Pri analizi mejne osno-upogibne odpornosti AB prečnega prereza smo slednjega razdelili na podprezeze oziroma na lamele. Ločeno smo računali prispevek betona ter spodnje oziroma zgornje armature k odpornosti prereza. Pri tem smo upoštevali Bernoullijevo predpostavko o ravnih prečnih prerezih, upoštevali smo kompatibilnost deformacij armature in betona na medsebojnem stiku, natezno nosilnost betona pa smo v računu zanemarili. Sovisnost med napetostmi in deformacijami tlačno obremenjenega betonskega dela prereza smo upoštevali v skladu z delovnim diagramom tlačnega betona, podanega s parabolo in premico, sovisnost med napetostjo in deformacijo armature pa z idealiziranim bilinearnim antisimetričnim diagramom. V prerezu smo morali vsaj v eni točki zagotoviti mejno deformacijo in sicer mejno deformacijo armature in/ali mejno tlačno deformacijo betona. Pri mali ekscentričnosti tlačne osne sile smo morali zagotoviti mejno tlačno deformacijo betona. Glede na deformacijsko in napetostno stanje v prerezu je program izračunal potrebno količino vzdolžne armature, ki je zagotavljala ravnotežje prereza.

Razviti računalniški program omogoča tudi račun optimalne količine vzdolžne armature. Pri tem sta na voljo dva kriterija. Prvi kriterij je minimalna količina vzdolžne armature, ki jo potrebujemo za prevzem dane obremenitve, drugi kriterij pa je, da sta potrebni količini zgornje in spodnje armature enaki. Program omogoča tudi izris interakcijskega diagrama mejne osno-upogibne odpornosti obravnavanega AB prereza, s pomočjo katerega lahko preverjamo nosilnost prereza.

Pri analizi strižne odpornosti AB prečnega prereza zaradi delovanja prečne sile smo upoštevali strižno nosilnost nerazpokanega dela betonskega prereza, trenje med zrni agregata vzdolž strižne razpoke in možni učinek vzdolžne natezne armature v strižni razpoki. V kolikor omenjeni prispevki niso zadoščali za prevzem strižne obremenitve, smo dokaz strižne odpornosti prereza izvedli s pomočjo izrazov, ki so bili izpeljani na podlagi modela ravninskega paličja, ki ga sestavljajo natezni pas, tlačna razpora v betonu in strižna armatura.

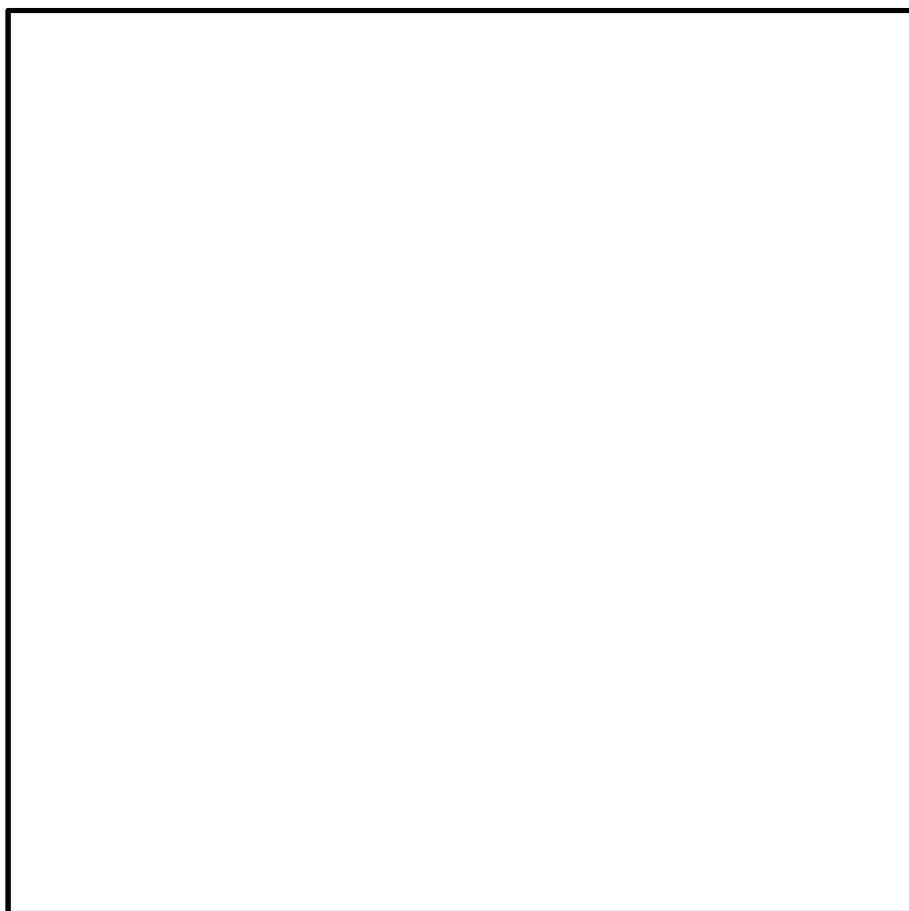
Del besedila diplomske naloge smo namenili tudi navodilom za uporabo predstavljenega računalniškega programa. Primernost in uporabnost programa za dimenzioniranje AB prečnih prerezov na osno-upogibno in strižno obremenitev pa smo prikazali na treh različnih računskih primerih.

V prihodnosti se bo program še razvijal in dopolnjeval, tako da bo omogočal tudi sočasen račun obremenitev v obravnavani konstrukciji in sicer z metodo končnih elementov. Omogočal bo dimenzioniranje vzdolžne armature v prerezu v več ravninah, dimenzioniranje vzdolžne armature pri dvoosnem upogibu, račun armature pri torzijski obremenitvi in možnost analize prednapetih elementov. Kar se tiče oblikovnih sprememb bo sledilo povečanje površine za risanje prečnega prereza in armature, omogočeni bodo dodatni vnosi podatkov o elementu za izračun volumna in ostalih parametrov za potrebe popisa, omogočen bo izvoz rezultatov računa v Microsoft[®] Word in druge programe, program bo omogočal izbiro jezika, itd.

7 ZGOŠČENKA S PROGRAMOM

Zgoščenska vsebuje naslednje:

- program: ABPrerez_v101.exe,
- diplomsko nalogo: Program za dimenzioniranje AB prereza na osno-upogibno in strižno obremenitev, v .pdf obliki,
- .NET Framework 3.5: dotNetFx35setup.exe.



VIRI

Baskar, R. 2012. History of C#. <http://www.java-samples.com/showtutorial.php?tutorialid=1427>
(Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Beg, D. (ur.) in Pogačar, A. (ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: predgovor, str. 2-44.

CEN. 2005. SIST EN 1992-1-1:2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

CEN. 2006. SIST EN 1992-1-1:2005/A101. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek.

CEN. 2001. SIST EN 12390-1:2001 Preskušanje strjenega betona – 1. del: Oblika, mere in druge zahteve za vzorce in kalupe: str. 4, 5.

CEN. 2009. SIST EN 12390-3:2009 Preskušanje strjenega betona – 3. del: Tlačna trdnost preskušancev: str. 8.

Fischinger, M. 2006. Osnove masivnih konstrukcij – predavanja. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Isaković, T. 2007. Statika gradbenih konstrukcij – predavanja. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Microsoft Corporation. 2001. News Center. <http://www.microsoft.com/en-us/news/press/2001/apr01/04-11anderspr.aspx> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Microsoft Corporation. 2010-2012. Technical Recognition Awards. <http://www.microsoft.com/about/technicalrecognition/Anders-Hejlsberg.aspx> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Microsoft Corporation. 2011. Anders Hejlsberg. <http://msdn.microsoft.com/en-us/hh750727.aspx> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Microsoft Corporation. 2005. Moving Java Applications to .NET. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms973842.aspx> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Microsoft TechNet. 2006. Chapter 1: Introduction to .NET. <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb496996.aspx> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

SIST. 2010. SIST EN ISO 6892-1:2010. Kovinski materiali - Natezni preizkus - 1.del: Metoda preizkušanja pri sobni temperaturi: str. 20.

Srpčič, S. 2003. Mehanika trdnih teles. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 303, 304.

Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 110, 142, 143.

PRILOGE

PRILOGA A: PREGLEDNICA OKROGLEGA BETONKEGA JEKLA	A
PRILOGA B: TRDNOSTNE IN DEFORMACIJSKE LASTNOSTI BETONA (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005)	B
PRILOGA C: PREGLEDNICA NOTRANJIH STATIČNIH KOLIČIN OSNOVNIH ELEMENTOV (Isaković, 2007).....	C

PRILOGA A: PREGLEDNICA OKROGLEGA BETONSKEGA JEKLA

Profil v [mm]	Število profilov									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,188	0,220	0,251	0,283	0,314
2,5	0,049	0,098	0,147	0,196	0,245	0,295	0,344	0,393	0,442	0,491
3,0	0,071	0,141	0,212	0,283	0,353	0,424	0,495	0,565	0,636	0,707
3,5	0,096	0,192	0,289	0,385	0,481	0,577	0,673	0,770	0,866	0,962
4,0	0,126	0,251	0,377	0,503	0,628	0,754	0,880	1,005	1,131	1,257
4,5	0,159	0,318	0,477	0,636	0,795	0,954	1,113	1,272	1,431	1,590
5,0	0,196	0,393	0,589	0,785	0,982	1,178	1,374	1,571	1,767	1,963
6	0,283	0,565	0,848	1,131	1,414	1,696	1,979	2,262	2,545	2,827
7	0,385	0,770	1,155	1,539	1,924	2,309	2,694	3,079	3,464	3,848
8	0,503	1,005	1,508	2,011	2,513	3,016	3,519	4,021	4,524	5,027
9	0,636	1,272	1,909	2,545	3,181	3,817	4,453	5,089	5,726	6,362
10	0,785	1,571	2,356	3,142	3,927	4,712	5,498	6,283	7,069	7,854
11	0,950	1,901	2,851	3,801	4,752	5,702	6,652	7,603	8,553	9,503
12	1,131	2,262	3,393	4,524	5,655	6,786	7,917	9,048	10,179	11,310
13	1,327	2,655	3,982	5,309	6,637	7,964	9,291	10,619	11,946	13,273
14	1,539	3,079	4,618	6,158	7,697	9,236	10,776	12,315	13,854	15,394
15	1,767	3,534	5,301	7,069	8,836	10,603	12,370	14,137	15,904	17,671
16	2,011	4,021	6,032	8,042	10,053	12,064	14,074	16,085	18,096	20,106
17	2,270	4,540	6,809	9,079	11,349	13,619	15,889	18,158	20,428	22,698
18	2,545	5,089	7,634	10,179	12,723	15,268	17,813	20,358	22,902	25,447
19	2,835	5,671	8,506	11,341	14,176	17,012	19,847	22,682	25,518	28,353
20	3,142	6,283	9,425	12,566	15,708	18,850	21,991	25,133	28,274	31,416
22	3,801	7,603	11,404	15,205	19,007	22,808	26,609	30,411	34,212	38,013
24	4,524	9,048	13,572	18,096	22,619	27,143	31,667	36,191	40,715	45,239
25	4,909	9,817	14,726	19,635	24,544	29,452	34,361	39,270	44,179	49,087
26	5,309	10,619	15,928	21,237	26,546	31,856	37,165	42,474	47,784	53,093
28	6,158	12,315	18,473	24,630	30,788	36,945	43,103	49,260	55,418	61,575
30	7,069	14,137	21,206	28,274	35,343	42,412	49,480	56,549	63,617	70,686
32	8,042	16,085	24,127	32,170	40,212	48,255	56,297	64,340	72,382	80,425
34	9,079	18,158	27,238	36,317	45,396	54,475	63,554	72,634	81,713	90,792
35	9,621	19,242	28,863	38,485	48,106	57,727	67,348	76,969	86,590	96,211
36	10,179	20,358	30,536	40,715	50,894	61,073	71,251	81,430	91,609	101,788
38	11,341	22,682	34,023	45,365	56,706	68,047	79,388	90,729	102,070	113,411
40	12,566	25,133	37,699	50,265	62,832	75,398	87,965	100,531	113,097	125,664
45	15,904	31,809	47,713	63,617	79,522	95,426	111,330	127,235	143,139	159,043
50	19,635	39,270	58,905	78,540	98,175	117,810	137,445	157,080	176,715	196,350

PRILOGA B: TRDNOSTNE IN DEFORMACIJSKE LASTNOSTI BETONA (CEN, Evrokod 2, SIST EN 1992-1-1:2005, Projektiranje betonskih konstrukcij 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005)

Preglednica 3.1: Trdnostne in deformacijske lastnosti betona

	Trdnostni razredi betona															Analični izraz / Pojasnilo
	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105		
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)	
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$ ≤ C50/60 $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C50/60	
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ (5 % fraktila)	
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$ (95 % fraktila)	
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} v MPa)	
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	glej sliko 3.2 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c1} (\text{‰}) = 0,7 \cdot f_{cm}^{-0,31} < 2,8$	
ϵ_{cu1} (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	glej sliko 3.2 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu1} (\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$	
ϵ_{c2} (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	glej sliko 3.3 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c2} (\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$	
ϵ_{cu2} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	glej sliko 3.3 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu2} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	
η					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\eta = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$	
ϵ_{c3} (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	glej sliko 3.4 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c3} (\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$	
ϵ_{cu3} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	glej sliko 3.4 za $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu3} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	

PRILOGA C: PREGLEDNICA NOTRANJNH STATIČNIH KOLIČIN OSNOVNIH ELEMENTOV
 (Isaković, 2007)

PROSTOLEŽEČI NOSILEC:			
KONSTRUKCIJA INOBEZBEA:			
DIAGRAM UPOGIBNIH MOMENTOV: [M]			
DIAGRAM PREČNIH SIL: [N]			
PREVISNI NOSILEC:			
KONSTRUKCIJA INOBEZBEA:			
DIAGRAM UPOGIBNIH MOMENTOV: [M]			
DIAGRAM PREČNIH SIL: [N]			
KONZOLA:			
KONSTRUKCIJA INOBEZBEA:			
DIAGRAM UPOGIBNIH MOMENTOV: [M]			
DIAGRAM PREČNIH SIL: [N]			
PREVISNI NOSILEC:			
KONSTRUKCIJA INOBEZBEA:			
DIAGRAM UPOGIBNIH MOMENTOV: [M]			
DIAGRAM PREČNIH SIL: [N]			