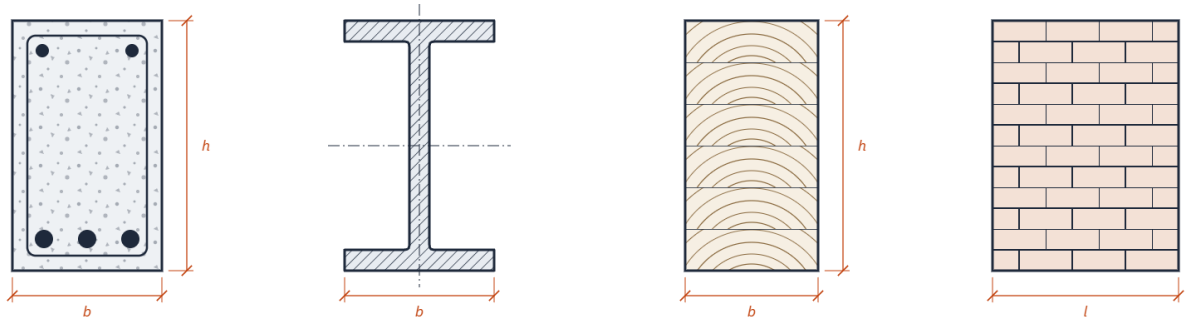
EuroStruct Design

Program za proračun betonskih, čeličnih, drvenih i zidanih konstrukcija



BETON
HRN EN 1992

ČELIK
HRN EN 1993

DRVO
HRN EN 1995

ZIĐE
HRN EN 1996

Zagreb, 2026.

Sadržaj

1 Predgovor 18

2 Program EuroStruct Design 19

2.1 Uvod 22

2.2 Namjena i glavne značajke 22

2.3 Glavni izbornik 23

2.4 Izgled 23

2.5 Pokretanje programa 23

2.6 Odabir jezika 23

2.7 Pregled programa 23

2.7.1 Armirani beton – presjeci i elementi 23

2.7.2 Armirani beton – detalji i granično stanje uporabljivosti 24

2.7.3 Temelji i geotehničke konstrukcije 24

2.7.4 Čelične i spregnute konstrukcije 24

2.7.5 Drvene konstrukcije 24

2.7.6 Zidane konstrukcije 25

2.7.7 Opterećenja i građevinska fizika 25

2.8 Organizacija datoteka 25

2.9 Dodavanje novog programa 25

2.10 Tehnički podaci 25

2.11 Napomena o odgovornosti 26

3 Program RCSection 27

3.1 MATERIJALI 27

3.2 GEOMETRIJA 27

3.3 DJELOVANJA 27

3.4 PRORAČUN NA SAVIJANJE 27

3.5 POTREBNA ARMATURA 28

3.6 ODABRANA ARMATURA 28

3.7 POPREČNA SILA (6.2) 28

3.8 NAPOMENE 28

4 Program RCSimpleBeam 29

4.1 Ulazni podaci 29

4.2 Poprečni presjek 29

4.3 Analiza opterećenja 30

4.4 GSN – savijanje u polju 30

4.4.1 Gornja armatura 30
4.5 GSN – poprečna sila 30
4.6 Sidrenje donje armature na ležaju 30
4.7 Granično stanje uporabljivosti 31
4.7.1 Materijal, puzanje i skupljanje 31
4.7.2 Karakteristike presjeka 31
4.7.3 Ograničenje naprezanja (7.2) 31
4.7.4 Širina pukotina (7.3.4) 31
4.7.5 Progib (7.4.3) 31
4.8 Sažetak 31
4.9 Nacrt armature i iskaz materijala 32
4.9.1 Iskaz armature B500B 32
4.9.2 Iskaz betona i oplate 32
5 Program RCContinuousBeam 33
5.1.1 Opis konstrukcije 33
5.1.2 1.1 Geometrija i statički sustav 33
5.1.3 1.2 Proračunska širina pojasnice i svojstva presjeka 34
5.1.4 1.3 Gradiva 34
5.1.5 1.4 Zaštitni sloj i statičke visine 34
5.1.6 Analiza opterećenja 35
5.1.7 Statički proračun 35
5.1.8 Minimalna armatura 36
5.1.9 Maksimalna armatura i duktilnost 37
5.1.10 Granično stanje nosivosti 37
5.1.11 Granično stanje uporabljivosti – širina pukotina 41
5.1.12 Granično stanje uporabljivosti – progib 43
5.1.13 Oblikovanje i nacrti armature 44
5.1.14 Sažetak provjera 47
5.1.15 Napomena 47
6 Program RCPrestressedBeam 47
6.1 Ulazni podaci 49
6.1.1 1.1 Geometrija i statički sustav 49
6.1.2 1.2 Materijali 50
6.1.3 1.3 Nategе 50
6.2 Svojstva materijala 50
6.2.1 2.1 Beton u dobi od 28 dana (tablica 3.1) 50
6.2.2 2.2 Računske čvrstoće 50

6.2.3 2.3 Beton pri unosu sile prednapinjanja (3.1.2) 51
6.3 Geometrijske karakteristike presjeka 51
6.3.1 3.1 Sudjelujuća širina pojasa (5.3.2.1) 51
6.3.2 3.2 Bruto presjek 51
6.3.3 3.3 Neto i idealni presjek 51
6.4 Opterećenja i rezne sile 52
6.4.1 4.1 Karakteristična opterećenja 52
6.4.2 4.2 Rezne sile proste grede 52
6.4.3 4.3 Kombinacije djelovanja 52
6.5 Puzanje i skupljanje betona 53
6.5.1 5.1 Koeficijent puzanja (dodatak B) 53
6.5.2 5.2 Skupljanje (3.1.4 i dodatak B.2) 53
6.6 Sila prednapinjanja i gubici 54
6.6.1 6.1 Početna sila (5.10.2.1) 54
6.6.2 6.2 Trasa natega 54
6.6.3 6.3 Gubici od trenja (5.10.5.2) 54
6.6.4 6.4 Gubici od uvlačenja klina 54
6.6.5 6.5 Elastično skraćenje betona (5.10.5.1) 54
6.6.6 Vremenski ovisni gubici (5.10.6) 54
6.7 Naprezanja u betonu (granično stanje uporabljivosti) 55
6.7.1 7.1 Izraz za naprezanje 55
6.7.2 7.2 Naprezanja u kritičnom presjeku 55
6.7.3 7.3 Granične vrijednosti 56
6.8 Granično stanje nosivosti – savijanje (6.1) 57
6.9 Granično stanje nosivosti – poprečna sila (6.2) 59
6.9.1 9.1 Mjerodavni presjek 59
6.9.2 9.2 Nosivost bez poprečne armature 59
6.9.3 9.3 Poprečna armatura 59
6.9.4 9.4 Tlačne dijagonale 59
6.9.5 9.5 Posmik između hrpta i pojasa (6.2.4) 59
6.9.6 9.6 Minimalna uzdužna armatura (9.2.1.1) 60
6.10 Granično stanje uporabljivosti 60
6.10.1 10.1 Dekompresija i pukotine (7.3) 60
6.10.2 10.2 Progib (7.4) 60
6.11 Zbirna tablica provjera 61
6.11.1 Literatura 61
6.11.2 Napomena 61

7 Program RCSlab ... 62
7.1 ULAZNI PODACI ... 62
7.2 ANALIZA OPTEREĆENJA ... 62
7.3 STATIČKI SUSTAV I REZNE SILE ... 62
7.4 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI ... 64
7.5 GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI ... 64
7.6 ODABRANA ARMATURA ... 64
7.7 NACRT ARMATURE I ISKAZ MATERIJALA ... 66
7.8 ZAKLJUČAK ... 67
8 Program RCColumn ... 67
8.1 Armiranobetonski stup kružnog poprečnog presjeka D = 50 cm – dimenzioniranje GSN i GSU ... 67
8.1.1 1. Opis presjeka i gradiva ... 68
8.1.2 2. Djelovanja ... 68
8.1.3 3. Uzdužna i poprečna armatura – konstrukcijska pravila ... 69
8.1.4 4. Granično stanje nosivosti – savijanje s uzdužnom silom ... 70
8.1.5 5. Granično stanje nosivosti – poprečna sila ... 73
8.1.6 6. Granično stanje uporabljivosti – ograničenje naprezanja ... 74
8.1.7 7. Granično stanje uporabljivosti – širina pukotina ... 74
8.1.8 8. Vrh stupa – nastavljanje i sidrenje uzdužne armature ... 74
8.1.9 9. Nacrt armature i iskaz materijala ... 75
8.1.10 10. Sažetak provjera ... 78
9 Program RCWall ... 78
1. Ulazni podaci ... 78
1.1 Geometrija i materijali ... 78
1.2 Reakcije ploča i ostala opterećenja po etažama ... 79
2. Karakteristični učinci ... 79
3. Potresni proračun (HRN EN 1998-1) ... 79
3.1 Parametri ... 79
3.2 Potresne sile ... 80
3.3 Pomaci i učinci drugog reda ... 80
4. Odabrana armatura ... 81
5. Granično stanje nosivosti ... 81
5.1 Savijanje s uzdužnom silom ... 81
5.2 Poprečna sila ... 82
5.3 Izvan ravnine zida (po m' duljine) ... 82
6. Lokalna duktilnost rubnih elemenata ... 82
7. Granično stanje uporabljivosti ... 82
8. Pregled provjera ... 83

9. Iskaz materijala ... 85
9.1 Iskaz armature ... 85
9.2 Rekapitulacija po promjerima ... 85
9.3 Beton i oplata ... 85
Napomena ... 85
10 Program RCPunching ... 85
10.1 Ulazni podaci ... 85
10.2 Proračunske čvrstoće materijala ... 86
10.3 Statička visina i koeficijent armiranja ... 86
10.4 Kontrolni opsezi ... 86
10.5 Koeficijent povećanja poprečne sile ... 86
10.6 Provjera uz rub stupa ... 86
10.7 Nosivost bez armature za proboj ... 87
10.8 Armatura za proboj ... 87
10.8.1 8.1 Vanjski kontrolni opseg ... 87
10.8.2 8.2 Razmaci ... 87
10.8.3 8.3 Potrebna površina po opsegu ... 87
10.8.4 8.4 Odabrani raspored ... 87
10.9 Zaključak ... 88
10.9.1 Napomene ... 88
10.9.2 Osnova proračuna ... 88
10.10 Crteži ... 89
11 Program RCDeepBeam ... 90
11.1 Ulazni podaci ... 90
11.2 Materijali ... 91
11.2.1 2.1. Beton C30/37 ... 91
11.2.2 2.2. Čelik B500B ... 91
11.3 Geometrija i analiza opterećenja ... 91
11.3.1 3.1. Opterećenje ... 91
11.4 Statički sustav i unutarnje sile ... 92
11.5 Dimenzioniranje glavne vlačne armature ... 92
11.5.1 5.1. Odabrana armatura ... 92
11.6 Provjera tlačnih naprezanja (model štapova, EC2 6.5) ... 92
11.6.1 6.1. Čvor nad ležajem (tlak-tlak-vlak, EC2 6.5.4(4)b) ... 93
11.6.2 6.2. Tlačni pojas u polju (tlak-tlak-tlak, EC2 6.5.4(4)a) ... 93
11.7 Sidrenje glavne armature (EC2 8.4) ... 93
11.8 Mrežasta armatura hrpta (EC2 9.7) ... 93
11.8.1 8.1. Rubne U-vilice (preklop s mrežom, EC2 8.7.3, α_6 = 1,5) ... 93

11.9 Nacrt armature 94
11.10 Iskaz armature 94
11.10.1 10.1. Rekapitulacija 94
11.11 Napomena 95
12 Program DeepBeamSTM 95
12.1 Uvod i metoda proračuna 95
12.2 Ulazni podaci 95
12.2.1 2.1 Geometrija 95
12.2.2 2.2 Materijal 96
12.3 Opterećenje i kombinacija za GSN 96
12.4 Model tlačnih štapova i zatega 97
12.4.1 4.1 Sile u najopterećenijim štapovima 97
12.5 Provjera tlačnih štapova 97
12.6 Provjera čvorova 98
12.6.1 6.1 Ležajni čvorovi (CCT) 98
12.6.2 6.2 Čvorovi pod opterećenjem na gornjem rubu (CCC) 98
12.7 Zatege i odabir armature 98
12.7.1 7.1 Glavna donja zatega 98
12.7.2 7.2 Zatega ispod otvora 98
12.7.3 7.3 Zatega iznad otvora 98
12.7.4 7.4 Vertikale uz otvor 98
12.7.5 7.5 Gornji rub 98
12.7.6 7.6 Hrptena armatura - mreža (EN 1992-1-1, 9.7) 99
12.8 Sidrenje glavne zatege (EN 1992-1-1, 8.4 i 9.7(3)) 99
12.9 Iskaz armature 99
12.9.1 Rekapitulacija 99
12.10 Zaključak 100
12.11 Nacrt armature 101
13 Program RCStaircase 103
13.1 ULAZNI PODACI 103
13.2 ANALIZA OPTEREĆENJA 104
13.3 REAKCIJE LEŽAJEVA 105
13.4 UNUTARNJE SILE 105
13.5 DIMENZIONIRANJE - GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI 107
13.6 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI 108
13.7 NACRT ARMATURE I ISKAZ 109
13.8 ZAKLJUČAK 111
14 Program RCCorbel 112

14.1 Ulazni podaci ... 112
14.2 Materijali ... 112
14.3 Geometrija i opterećenje ... 112
14.4 Strut-tie model ... 114
14.5 Provjera čvorova i tlačne dijagonale ... 114
14.6 Glavna armatura (zatega) ... 114
14.7 Posmik i spone ... 114
14.8 Sidrenje glavne armature u stupu ... 115
14.9 Sažetak provjera ... 115
14.10 Iskaz armature i materijala ... 115
14.11 Napomene i upozorenja ... 115
14.11.1 12. Nacrt armature ... 117
15 Program RCDappedEnd ... 117
15.1 Ulazni podaci ... 117
15.2 Materijali ... 118
15.3 Model tlačnih i vlačnih štapova ... 118
15.4 Potrebna i odabrana armatura ... 119
15.5 Provjere ... 119
15.6 Nacrt armature i iskaz materijala ... 121
16 Program RCCover ... 121
16.1 Ulazni podaci ... 121
16.2 Postupak proračuna ... 122
16.3 Rezultati ... 122
16.4 Napomene ... 122
17 Program AnchorLap ... 122
17.1 Ulazni podaci ... 122
17.2 Proračunske čvrstoće materijala ... 123
17.3 Granično naprezanje prionjivosti (8.4.2) ... 123
17.4 Osnovna potrebna duljina sidrenja (8.4.3) ... 123
17.5 Koeficijenti α (tablica 8.2) ... 123
17.6 Proračunska duljina sidrenja (8.4.4) ... 123
17.7 Duljina preklopa (8.7.3) ... 124
17.8 Sažetak rezultata ... 124
18 Program CrackWidth ... 125
18.1 Ulazni podaci ... 125
18.1.1 1.1 Materijali ... 125
18.1.2 1.2 Geometrija presjeka i armatura ... 125
18.1.3 1.3 Opterećenje i kriterij ... 125

18.2 Proračun ... 126
18.2.1 2.1 Geometrijske veličine ... 126
18.2.2 2.2 Moduli elastičnosti i omjeri modula ... 126
18.2.3 2.3 Moment raspucavanja ... 126
18.2.4 2.4 Naprezanja u raspucalom presjeku (stanje II) ... 126
18.2.5 2.5 Efektivna vlačna zona betona ... 126
18.2.6 2.6 Razlika srednjih deformacija armature i betona ... 127
18.2.7 2.7 Maksimalni razmak pukotina ... 127
18.2.8 2.8 Karakteristična širina pukotine ... 127
18.3 Zaključak ... 127
19 Program RCDeflection ... 127
19.1.1 1. Gradiva ... 127
19.1.2 2. Poprečni presjek ... 128
19.1.3 3. Puzanje i skupljanje betona ... 128
19.1.4 4. Efektivni modul elastičnosti i omjer modula ... 129
19.1.5 5. Statički sustav i djelovanja ... 130
19.1.6 6. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka ... 130
19.1.7 7. Moment nastanka pukotina i koeficijent raspodjele ... 131
19.1.8 8. Zakrivljenosti ... 132
19.1.9 9. Progib ... 132
19.1.10 Sažetak rezultata ... 133
20 Program RCPadFoundation ... 133
20.1 Ulazni podaci ... 133
20.1.1 1.1 Geometrija ... 133
20.1.2 1.2 Materijali ... 134
20.1.3 1.3 Temeljno tlo ... 134
20.1.4 1.4 Opterećenja (proračunske vrijednosti na vrhu temelja) ... 135
20.2 Vlastita težina temelja i zasipa ... 135
20.3 Granično stanje nosivosti (GSN) ... 135
20.3.1 3.1 Nosivost temeljnog tla (HRN EN 1997-1, 6.5.2) ... 135
20.3.2 3.2 Ograničenje ekscentriciteta (HRN EN 1997-1, 6.5.4) ... 135
20.3.3 3.3 Kontaktna naprezanja za dimenzioniranje temelja ... 136
20.3.4 3.4 Dimenzioniranje na savijanje (HRN EN 1992-1-1, 6.1) ... 136
20.3.5 3.5 Proboj (HRN EN 1992-1-1, 6.4.4) ... 137
20.3.6 3.6 Poprečna sila (HRN EN 1992-1-1, 6.2.2) ... 137
20.3.7 3.7 Sidrenje armature (HRN EN 1992-1-1, 9.8.2.2) ... 138
20.4 Granično stanje uporabljivosti (GSU) ... 138

20.4.1 4.1 Kontaktna naprezanja i odizanje ... 138
20.4.2 4.2 Slijeganje ... 138
20.4.3 4.3 Ograničenje naprezanja i širine pukotina (HRN EN 1992-1-1, 7.2 i 7.3.3) ... 138
20.5 Iskaz armature i materijala ... 139
20.6 Sažetak provjera ... 141
20.6.1 Napomena ... 141
21 Program RCRetainingWall ... 141
21.1 Primijenjeni propisi i norme ... 142
21.2 Geometrija ... 142
21.3 Gradiva ... 143
21.4 Karakteristična djelovanja (po 1 m zida) ... 143
21.5 Tlak tla na fiktivnu ravninu (karakteristične vrijednosti, M1) ... 144
21.6 Prevrtanje oko prednjeg ruba – EQU (HRN EN 1997-1, 2.4.7.2; HRN EN 1997-1/NA:2016, Tablice A.1(HR) i A.2(HR)) ... 145
21.7 Vanjska stabilnost – GEO (PP3: A1*/A2† + M2 + R3) ... 146
21.8 Potresna proračunska situacija (HRN EN 1998-5, 7.3 i Dodatak E; HRN EN 1997-1, Dodatak D) ... 148
21.9 Dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata – STR ... 149
21.10 Granično stanje uporabljivosti ... 152
21.11 Armatura ... 153
21.12 Nacrt armature ... 154
21.13 Iskaz armature i materijala (duljina zida L = 10,00 m) ... 154
21.14 Napomene i ograničenja ... 155
22 Program SheetPile Designer ... 155
22.1 Opći podaci i propisi ... 155
22.1.1 Primijenjeni propisi ... 156
22.1.2 Primijenjene norme (Eurokodovi 1. generacije) ... 156
22.2 Ulazni podaci ... 157
22.2.1 Geometrija ... 157
22.2.2 Slojevi tla (karakteristične vrijednosti) ... 157
22.2.3 Podzemna voda i opterećenja ... 158
22.2.4 Sidro ... 158
22.2.5 Profil žmurja i čelik ... 158
22.3 Projektni pristup, parcijalni koeficijenti i kombinacije ... 158
22.3.1 Parcijalni koeficijenti – GSN (STR/GEO) ... 158
22.3.2 Parcijalni koeficijenti za parametre tla ... 159
22.3.3 Djelovanja tijekom izvedbe ... 159
22.4 Geometrija i proračunske vrijednosti parametara tla ... 159
22.4.1 Proračunske vrijednosti parametara tla – GSN – PP3 (A2 + M2 + R3) ... 160

22.4.2 Sloj 1: Pijesak ... 160
22.4.3 Sloj 2: Glina (drenirano) ... 160
22.5 Koeficijenti tlaka tla (Dodatak C, C.2 – analitički postupak) ... 160
22.5.1 Sloj 1: Pijesak ... 160
22.5.2 Sloj 2: Glina (drenirano) ... 161
22.5.3 Sažetak koeficijenata tlaka ... 162
22.6 Raspodjela tlakova tla i vode ... 162
22.6.1 Tlakovi po kotama (vrijednost iznad / ispod kote) ... 162
22.7 Statička analiza: Stijena sa sidrom – slobodno oslonjena u tlu ... 163
22.8 Unutarnje sile u žmurju (GSN) ... 164
22.9 Sidro ... 165
22.9.1 Geotehnička otpornost sidra (GSN) ... 166
22.9.2 Konstrukcijska otpornost natege ... 166
22.9.3 Razdjelna (naglavna) greda ... 167
22.10 Provjera presjeka žmurja ... 167
22.10.1 Smanjenje debljine zbog korozije ... 167
22.10.2 Razredba poprečnog presjeka ... 167
22.10.3 Otpornost na savijanje ... 168
22.10.4 Otpornost na poprečnu silu ... 168
22.10.5 Uzdužna sila i izvijanje ... 168
22.11 Hidraulički slom tla dna jame (HYD) i vertikalna ravnoteža ... 169
22.12 Granično stanje uporabljivosti ... 170
22.13 Potresna proračunska situacija ... 170
22.14 Sažetak provjera ... 170
22.15 Napomene, pretpostavke i ograničenja proračuna ... 170
22.15.1 Vrijednosti koje je unio korisnik ... 170
22.15.2 Ograničenja programa (SheetPile Designer 1.0) ... 170
23 Program GabionWall ... 171
24 Program RCPile ... 171
24.1 Ulazni podaci ... 171
24.1.1 1.1 Geometrija ... 171
24.1.2 1.2 Materijali ... 171
24.1.3 1.3 Tlo ... 172
24.1.4 1.4 Opterećenja na glavi pilota ... 172
24.2 Proračunski model i unutarnje sile ... 172
24.3 Granično stanje nosivosti ... 175
24.3.1 3.1 Savijanje s uzdužnom silom ... 175
24.3.2 3.2 Poprečna sila ... 176

24.3.3 3.3 Sidrenje i preklopi ... 177
24.4 Granično stanje uporabljivosti ... 177
24.4.1 4.1 Širina pukotina ... 177
24.4.2 4.2 Pomak glave pilota ... 177
24.5 Armatura i iskaz materijala ... 178
24.6 Napomene i ograničenja ... 181
24.7 Napomena ... 181
25 Program SteelColumnBase ... 181
25.1 Opseg i model proračuna ... 181
25.2 Ulazni podaci ... 181
25.3 Nosivost betona i tlačne zone (HRN EN 1993-1-8, 6.2.5 i 6.2.6.9) ... 183
25.4 Raspodjela sila u spoju (HRN EN 1993-1-8, 6.2.8.3) ... 184
25.5 T-element u vlaku: ploča i sidra (HRN EN 1993-1-8, 6.2.4 i 6.2.6.11) ... 184
25.6 Sidra u vlaku (HRN EN 1992-4, 7.2.1) ... 185
25.6.1 6.1 Slom čelika ... 185
25.6.2 6.2 Čupanje ... 185
25.6.3 6.3 Slom betonskog stošca ... 186
25.6.4 6.4 Cijepanje betona ... 186
25.6.5 6.5 Izboj bočne strane ... 186
25.7 Moment nosivosti spoja (HRN EN 1993-1-8, tablica 6.7) ... 187
25.8 Posmik ... 187
25.8.1 8.1 Trenje i sidra (HRN EN 1993-1-8, 6.2.2) ... 187
25.8.2 8.2 Sidra prema HRN EN 1992-4 (7.2.2) ... 187
25.8.3 8.3 Slom čelika ... 187
25.8.4 8.4 Odlom betona iza sidra ... 188
25.8.5 8.5 Slom ruba betona u smjeru posmika (x) ... 188
25.8.6 8.6 Slom bočnog ruba (posmik paralelan s rubom, α_V = 90°) ... 189
25.9 Interakcija vlaka i posmika (HRN EN 1992-4, tablica 7.3) ... 189
25.10 Varovi stupa na ploču (HRN EN 1993-1-8, 4.5.3.3) ... 189
25.11 Pretpostavka krute ploče ... 190
25.12 Sažetak provjera ... 190
25.13 Upozorenja ... 191
25.14 Napomene i ograničenja ... 191
26 Program SteelSection ... 191
26.1.1 1. Ulazni podaci ... 191
26.1.2 2. Geometrijske karakteristike presjeka ... 193
26.1.3 3. Klasifikacija poprečnog presjeka (tablica 5.2) ... 193
26.1.4 4. Otpornost poprečnog presjeka (HRN EN 1993-1-1, 6.2) ... 193

26.1.5 5. Otpornost elementa (HRN EN 1993-1-1, 6.3) ... 194
26.1.6 6. Sažetak provjera ... 195
26.1.7 Napomena ... 195
27 Program SteelBeam ... 195
27.1 Ulazni podaci ... 196
27.1.1 1.1 Materijal i poprečni presjek ... 196
27.1.2 1.2 Statička shema i opterećenja ... 196
27.1.3 1.3 Kombinacije djelovanja ... 196
27.2 Poprečni presjek ... 197
27.2.1 2.1 Klasifikacija poprečnog presjeka (savijanje oko osi y) ... 197
27.3 Rezultati statičkog proračuna ... 197
27.3.1 3.1 Momenti savijanja ... 198
27.3.2 3.2 Poprečne sile ... 198
27.3.3 3.3 Reakcije ležajeva ... 198
27.4 Dokazi graničnog stanja nosivosti (GSN) ... 198
27.4.1 4.1 Otpornost poprečnog presjeka ... 198
27.4.2 4.2 Dokazi po poljima ... 199
27.5 Dokazi graničnog stanja uporabljivosti (GSU) ... 199
27.6 Zaključak ... 199
28 SteelJoint Designer ... 200
28.1 1. Ulazni podaci ... 200
28.1.1 Elementi ... 200
28.1.2 Ploča ... 200
28.1.3 Vijci ... 200
28.1.4 Zavar ... 201
28.1.5 Opterećenje ... 201
28.1.6 Parcijalni faktori ... 201
28.2 2. Skice spoja ... 201
28.3 3. Proračun nosivosti ... 203
28.3.1 3.1 Geometrija ... 203
28.3.2 3.2 Sile u vijcima ... 203
28.3.3 3.3 Pritisak po omotaču rupe ... 203
28.3.4 3.4 Ploča ... 204
28.3.5 3.5 Greda ... 204
28.3.6 3.6 Kutni zavar ploče (obostrano) ... 204
28.4 4. Zaključak ... 204
28.5 5. Pregled provjera ... 204

28.6 6. O programu ... 205
29 Program CompositeBeam ... 205
29.1.1 Ulazni podaci ... 205
29.1.2 Unutarnje sile i reakcije ... 206
29.1.3 Karakteristike poprečnog presjeka ... 208
29.1.4 Granično stanje nosivosti (GSN) ... 208
29.1.5 Sprezanje - moždanici s glavom (HRN EN 1994-1-1, 6.6) ... 208
29.1.6 Granično stanje uporabljivosti (GSU) ... 210
29.1.7 Plan sprezanja ... 211
29.1.8 Pregled dokaza ... 211
29.1.9 Napomena ... 212
30 Program BoltGrip ... 212
30.1 Ulazni podaci ... 212
30.1.1 1.1 Elementi spoja (redom od glave vijka) ... 213
30.2 Podaci iz normi ... 213
30.3 Postupak proračuna ... 213
30.3.1 3.1 Ispitane standardne duljine ... 213
30.3.2 3.2 Ravnine smicanja i posmična otpornost vijka (informativno) ... 214
30.3.3 3.3 Sila prednapinjanja (informativno) ... 214
30.4 Rezultat ... 214
30.4.1 4.1 Provjere ... 214
30.4.2 4.2 Upozorenja i napomene ... 215
30.5 Skica spoja ... 216
30.6 Primijenjene norme i propisi ... 216
31 Program TimberSection ... 217
31.1.1 1. Ulazni podaci ... 217
31.1.2 2. Parcijalni koeficijent i modifikacijski faktori ... 218
31.1.3 3. Geometrijske karakteristike presjeka ... 218
31.1.4 4. Proračunske čvrstoće ... 218
31.1.5 5. Kontrole nosivosti (granično stanje nosivosti) ... 219
31.1.6 6. Sažetak rezultata ... 223
31.1.7 Napomena ... 223
32 Program TimberPurlin ... 224
32.1 Ulazni podaci ... 224
32.2 Karakteristike materijala – C24 ... 225
32.3 Geometrijske karakteristike presjeka ... 225
32.4 Analiza opterećenja (po m' podrožnice) ... 225
32.5 Kombinacije djelovanja – GSN (HRN EN 1990, izraz 6.10) ... 226

32.6 Granično stanje nosivosti (GSN) ... 226
32.6.1 6.1 Dvoosno savijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.1.6) ... 226
32.6.2 6.2 Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7) ... 226
32.6.3 6.3 Bočno torzijsko izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.3) ... 226
32.6.4 6.4 Tlak okomito na vlakanca na ležaju (HRN EN 1995-1-1, 6.1.5) ... 227
32.6.5 6.5 Odizanje podrožnice ... 227
32.7 Granično stanje uporabljivosti (GSU) – progibi ... 227
32.7.1 7.1 Trenutni progibi od pojedinih djelovanja ... 227
32.7.2 7.2 Trenutni progib od promjenjivih djelovanja ... 227
32.7.3 7.3 Konačni progib (HRN EN 1995-1-1, 2.2.3) ... 228
32.8 Zaključak ... 228
32.8.1 Napomena ... 228
33 Program TimberRoof ... 229
33.1.1 1. Tehnički opis i propisi ... 229
33.1.2 2. Geometrija krovišta ... 229
33.1.3 3. Materijal ... 231
33.1.4 4. Analiza opterećenja ... 231
33.1.5 5. Kombinacije djelovanja ... 233
33.1.6 6. Proračun rogova ... 235
33.1.7 7. Proračun podrožnice ... 239
33.1.8 8. Proračun stupova ... 243
33.1.9 9. Proračun ruku (kosnika) ... 243
33.1.10 10. Proračun kliješta ... 244
33.1.11 12. Ležajevi i spojevi ... 245
33.1.12 13. Iskaz drvene građe ... 246
33.1.13 14. Zaključak - pregled iskoristivosti ... 246
33.1.14 Napomena ... 246
34 Program MasonryWall ... 246
34.1 Ulazni podaci ... 247
34.1.1 1.1 Geometrija zida ... 247
34.1.2 1.2 Materijal ... 247
34.1.3 1.3 Djelovanja ... 248
34.1.4 1.4 Potresni parametri ... 248
34.2 Proračunske karakteristike ziđa ... 248
34.3 Provjera na vertikalno opterećenje i djelovanje vjetra ... 249
34.3.1 3.1 Proračunska visina, vitkost i početni ekscentricitet ... 249
34.3.2 3.2 Kombinacije djelovanja (HRN EN 1990, izraz 6.10) ... 249

34.3.3 3.3 Kombinacija K1 ... 249
34.3.4 3.4 Kombinacija K2 ... 250
34.3.5 3.5 Kombinacija K3 ... 251
34.3.6 3.6 Savijanje zida izvan ravnine od djelovanja vjetra ... 251
34.4 Provjera na potresno djelovanje u ravnini zida ... 252
34.4.1 4.1 Konstrukcijski zahtjevi (HRN EN 1998-1, 9.5 i tablica 9.2) ... 252
34.4.2 4.2 Proračunski spektar i ukupna potresna poprečna sila (metoda bočnih sila) ... 252
34.4.3 4.3 Unutarnje sile u zidu (potresna proračunska situacija $G + \psi_2 Q + A_{Ed}$) ... 253
34.4.4 4.4 Otpornost na posmik u ravnini zida (HRN EN 1996-1-1, 6.2 i 3.6.2) ... 253
34.4.5 4.5 Otpornost na savijanje s uzdužnom silom u ravnini zida ... 253
34.5 Sažetak rezultata ... 254
34.6 Napomene i pretpostavke ... 255
35 Program StructLoad ... 255
35.1 Opći podaci o građevini ... 255
35.2 Stalno opterećenje (G), HRN EN 1991-1-1 ... 256
35.2.1 2.1 Krov (po m² kosine krova) ... 256
35.2.2 2.2 Međukatna konstrukcija ... 257
35.2.3 2.3 Vanjski zid (pročelje) ... 257
35.3 Uporabno opterećenje (Q), HRN EN 1991-1-1 ... 257
35.4 Opterećenje snijegom (S), HRN EN 1991-1-3 ... 257
35.5 Djelovanje vjetra (W), HRN EN 1991-1-4 ... 258
35.5.1 5.1 Tlak pri vršnoj brzini ... 258
35.5.2 5.2 Smjer θ = 0° (vjetar okomito na dulju stranu / sljeme) ... 258
35.5.3 5.3 Smjer θ = 90° (vjetar na zabat, paralelno sa sljemenom) ... 259
35.5.4 5.4 Opterećenje okvira / trake širine e0 = 1.00 m (θ = 0°) ... 260
35.6 Temperaturna djelovanja (T), HRN EN 1991-1-5 ... 261
35.7 Potresno djelovanje (AE), HRN EN 1998-1 ... 261
35.7.1 7.1 Proračunski spektar ... 261
35.7.2 7.2 Osnovni period i ukupna potresna sila (metoda bočnih sila, 4.3.3.2) ... 261
35.8 Tlak tla i uporabno opterećenje na podrumski zid, HRN EN 1997-1 / 1998-5 ... 263
35.9 Pregled opterećenja i kombinacije, HRN EN 1990 ... 264
36 Program UValuePro ... 265
36.1 Opći podaci ... 265
36.2 Sastav konstrukcije ... 265
36.3 Proračun toplinskog otpora i koeficijenta prolaska topline ... 266
36.4 Raspodjela temperature ... 267
36.5 Zaključak ... 267

1 Predgovor

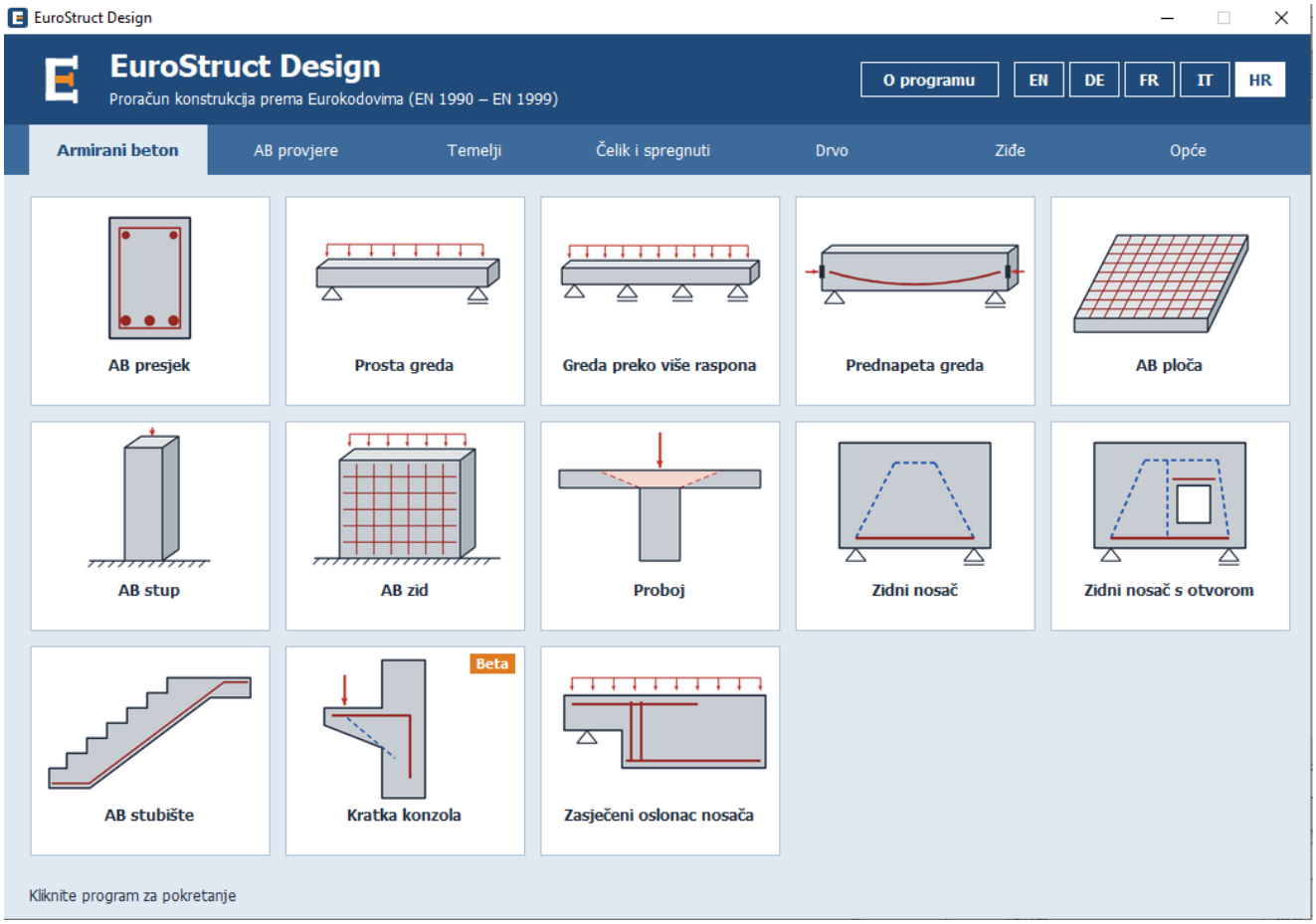
Iako su ovi programi besplatni i napravljeni s najboljom namjerom, imajte na umu da ih koristite na vlastitu odgovornost. Softver je još uvijek u fazi testiranja, što se posebno odnosi na module za crtanje armature. Iz tog razloga omogućen je izvoz u DXF i IFC formate, kako bi se generirani nacrti po potrebi mogli naknadno urediti. Izvodi se i prijelaz proračuna na drugu generaciju Eurokoda trenutno na pFprEN 1992-1-1. Kod određenih proračuna, izvoz u Microsoft Word može potrajati nešto dulje zbog generiranja i prijenosa formula. Ovisno o modulu, proces se oslanja na OLE automatizaciju (Object Linking and Embedding) ili COM sučelje (Component Object Model) koje pokreće Word nevidljivo u pozadini.
Izuzetno cijenimo vaše komentare, povratne informacije i prijedloge za poboljšanje kako bismo softver učinili još boljim i pouzdanijim.
Link za download EuroStruct Design: https://nastava.tvz.hr/gukov/download/EuroStructDesign.zip

Igor Gukov i Ivan Kalafatić
igukov1@tvz.hr
web: https://nastava.tvz.hr/gukov/
Zagreb, 2026.

Korištene norme:

1. HRN EN 1990 – Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija
2. HRN EN 1991 – Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije (stalna, uporabna, snijeg, vjetar, požar, toplinska itd.)
3. HRN EN 1992-1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (proračun greda, ploča, stupova, temelja, pukotina i progiba).
4. HRN EN 1993-1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (klasifikacija presjeka, otpornost elemenata na izvijanje i bočno torzijsko izvijanje).
5. HRN EN 1995-1-1: Opća pravila – Zajednička pravila i pravila za zgrade (proračun nosivosti, proračun veza s klamfama, vijcima ili čavlima, te provjera vibracija stropova).
6. HRN EN 1996-1-1: Opća pravila za zgrade – Pravila za armirano i nearmirano ziđe (proračun vertikalne nosivosti, ekscentričnosti i posmika).
7. HRN EN 1997-1: Opća pravila – Temeljna načela geotehničkog projektiranja, proračunski pristupi i koeficijenti sigurnosti.
8. HRN EN 1997-3: Geotehničke konstrukcije – Specifična pravila za plitke i duboke temelje (pilote), sidra, nasipe te potporne zidove.
9. HRN EN 1998-1-1: Proračunske osnove za potresnu otpornost i potresna djelovanja – Temeljna norma druge generacije koja definira hazard i seizmičke parametre.
10. HRN EN 1998-5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja – Ključna dodirna točka geotehnike i potresa. Ova norma propisuje ponašanje tla pod dinamičkim opterećenjem, interakciju tla i konstrukcije, provjeru na likvefakciju (omekšavanje tla) te stabilnost kosina i potpornih zidova tijekom potresa.
11. HRN EN 1998-3: Ocjenjivanje i obnova zgrada – Iznimno važna norma u Hrvatskoj nakon nedavnih potresa, koristi se za proračune rekonstrukcija i statičkih ojačanja postojećih građevina

2 Program EuroStruct Design



EuroStruct Design - programski paket za proračun građevinskih konstrukcija prema Eurokodu

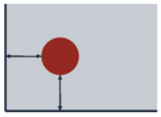
EuroStruct Design

EuroStruct Design

Proračun konstrukcija prema Eurokodovima (EN 1990 – EN 1999)

O programu | EN | DE | FR | IT | HR

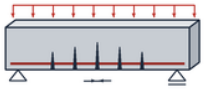
Armirani beton | **AB provjere** | Temelji | Čelik i spregnuti | Drvo | Ziđe | Opće



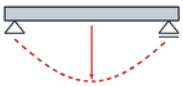
Zaštitni sloj betona



Sidrenje i preklop



Širina pukotina



Progib

Kliknite program za pokretanje

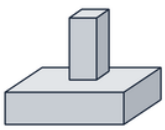
EuroStruct Design

EuroStruct Design

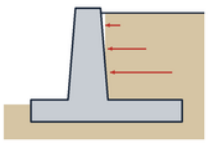
Proračun konstrukcija prema Eurokodovima (EN 1990 – EN 1999)

O programu | EN | DE | FR | IT | HR

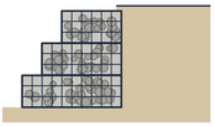
Armirani beton | AB provjere | **Temelji** | Čelik i spregnuti | Drvo | Ziđe | Opće



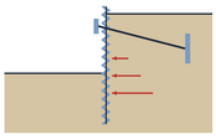
Temelj samac



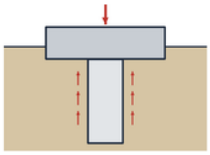
Potporni zid



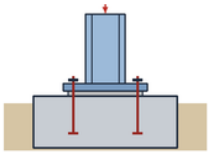
Gabionski zid



Čelično žmurje



Pilot



Sidrenje čeličnog stupa

Kliknite program za pokretanje

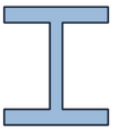
EuroStruct Design

EuroStruct Design

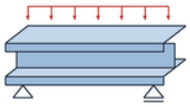
Proračun konstrukcija prema Eurokodovima (EN 1990 – EN 1999)

O programu | EN | DE | FR | IT | HR

Armirani beton | AB provjere | Temelji | **Čelik i spregnuti** | Drvo | Zide | Opće



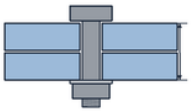
Čelični presjek



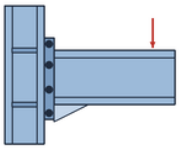
Čelična greda



Spregnuta greda



Duljina vijka



Spojevi čeličnih profila

Kliknite program za pokretanje

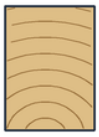
EuroStruct Design

EuroStruct Design

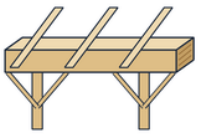
Proračun konstrukcija prema Eurokodovima (EN 1990 – EN 1999)

O programu | EN | DE | FR | IT | HR

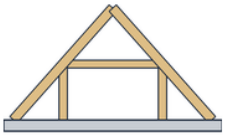
Armirani beton | AB provjere | Temelji | Čelik i spregnuti | **Drvo** | Zide | Opće



Drveni presjek

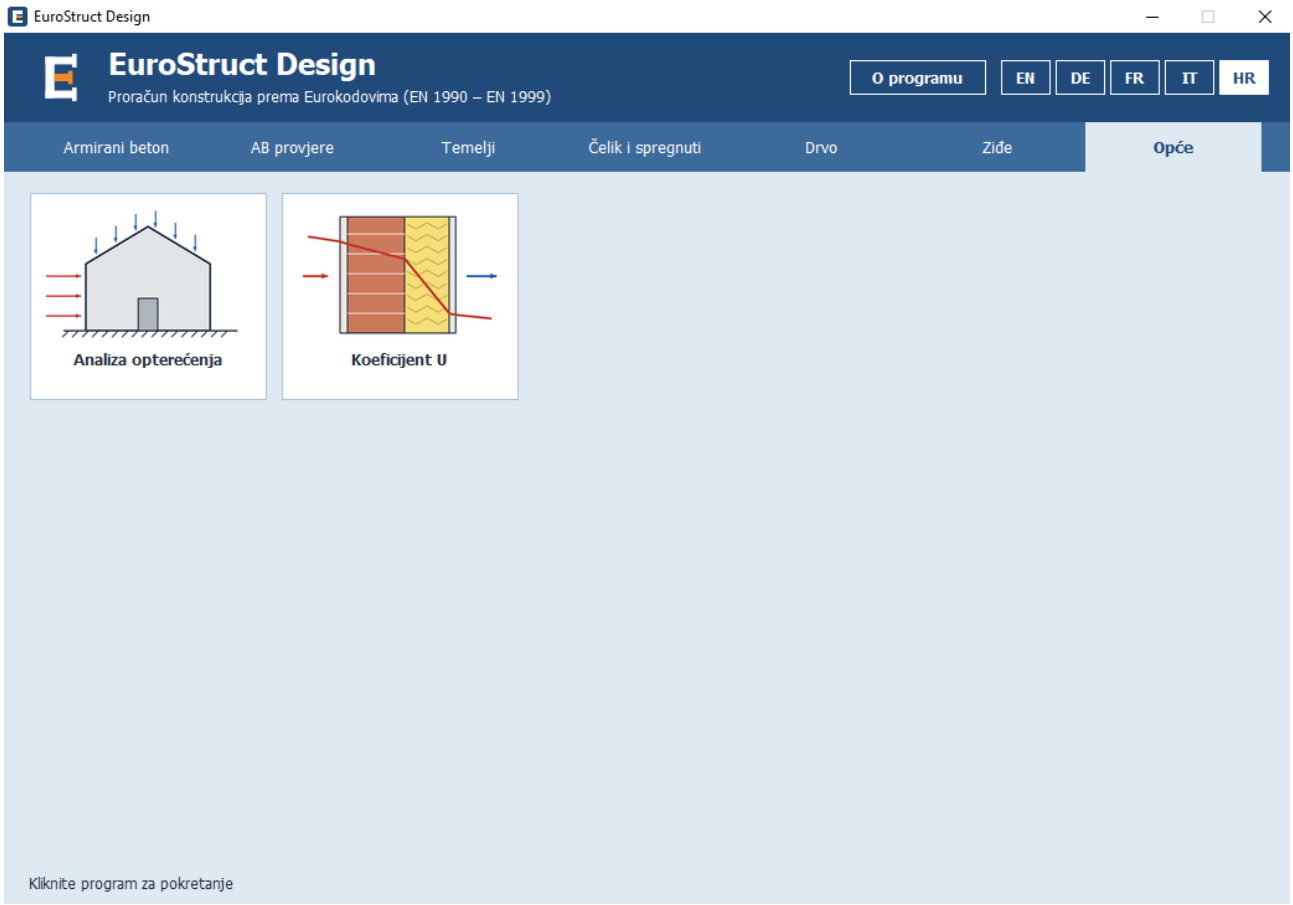


Drvena podrožnica



Krovište

Kliknite program za pokretanje



2.1 Uvod

EuroStruct Design je programski paket za statički proračun i dimenzioniranje elemenata građevinskih konstrukcija od armiranog betona, čelika, drva i zida.

Paket se sastoji od glavnog izbornika i 33 manjih, samostalnih programa. Svaki program rješava jednu tipičnu zadaću iz svakodnevne prakse – presjek, gredu, stup, ploču, stubište, temelj, potporni zid, krovište i slično. Glavni izbornik objedinjuje sve programe na jednom mjestu, pa korisnik ne mora pamtiti gdje se koji program nalazi niti kako se zove njegova izvršna datoteka.

Proračuni se provode prema normama niza HRN EN (Eurokodovi): HRN EN 1992 za betonske, HRN EN 1993 za čelične, HRN EN 1994 za spregnute, HRN EN 1995 za drvene i HRN EN 1996 za zidane konstrukcije te HRN EN 1997 za geotehničke zahvate.

2.2 Namjena i glavne značajke

- **Sve na jednom mjestu –** programi su razvrstani po materijalu i vrsti konstrukcije na kartice glavnog izbornika.
- **Jednostavno pokretanje –** klik na pločicu sa sličicom i nazivom programa odmah ga pokreće.
- **Pet jezika –** engleski, njemački, francuski, talijanski i hrvatski; odabrani jezik prenosi se i na pozvane programe.
- **Samostalni programi –** svaki program je zasebna .exe datoteka koja se može razvijati, ažurirati i zamijeniti neovisno o ostalima.
- **Proširivost –** novi program dodaje se uređivanjem konfiguracijskih datoteka, bez ponovnog prevođenja izbornika.
- **Bez dodatnih komponenti –** sučelje se gradi u kodu i ne zahtijeva instalaciju dodatnih biblioteka.

2.3 Glavni izbornik

2.4 Izgled

Glavni prozor sastoji se od zaglavlja i područja s karticama:

- **Zaglavlje** sadrži logo programa, gumbe za odabir jezika (EN / DE / FR / IT / HR) u gornjem desnom kutu te gumb About.
- **Kartice** grupiraju programe po materijalu (beton, čelik, drvo, zidje i dr.).
- **Pločice** na svakoj kartici prikazuju sličicu i naziv programa na odabranom jeziku. Na jednoj kartici stane do 15 pločica (5 × 3).

2.5 Pokretanje programa

Klikom na pločicu izbornik pokreće odgovarajući program. Program radi u vlastitom prozoru, a korisnik u njemu unosi podatke, pokreće proračun i ispisuje rezultate (npr. u Word izvještaj). Rezultati se ne vraćaju u izbornik, pa je moguće istodobno imati otvoreno više programa.

2.6 Odabir jezika

Jezik se mijenja gumbima u zaglavlju i program ga pamti za sljedeće pokretanje. Pri pozivu svakog programa izbornik mu prosljeđuje odabrani jezik na dva načina:

- kao parametar naredbenog retka: `1 = EN, 2 = DE, 3 = FR, 4 = IT, 5 = HR` (npr. `RCPile.exe 2` za njemački);
- kao varijablu okruženja `EUROSTRUCT_LANG` (en, de, fr, it, hr).

Programi koji ne čitaju te podatke rade kao i dosad, na svom izvornom jeziku.

2.7 Pregled programa

Paket trenutno obuhvaća 33 programa. U tablicama su navedeni opisni naziv programa, ime izvršne datoteke i naziv koji se prikazuje u izborniku na engleskom jeziku. Prefiks RC označava armirani beton (Reinforced Concrete).

2.7.1 Armirani beton – presjeci i elementi

Proračun armiranobetonskih presjeka i nosivih elemenata prema HRN EN 1992-1-1.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Dimenzioniranje AB presjeka	`RCSection`	RC Section
Prosta greda	`RCSimpleBeam`	Simply Supported Beam
Kontinuirana greda	`RCContinuousBeam`	Continuous Beam
Prednapeta greda	`RCPrestressedBeam`	Prestressed Beam
AB ploča	`RCSlab`	RC Slab
AB stup	`RCColumn`	RC Column
AB zid	`RCWall`	RC Wall
Proboj ploče	`RCPunching`	Punching Shear
Zidni nosač	`RCDeepBeam`	Deep Beam
Zidni nosač s otvorom (model štapova)	`DeepBeamSTM`	Deep Beam with Opening
AB stubište	`RCStaircase`	RC Staircase
Kratka konzola	`RCCorbel`	Corbel

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Zasječeni oslonac nosača	RCDappedEnd	Dapped-End Beam

2.7.2 Armirani beton – detalji i granično stanje uporabljivosti

Pomoćni proračuni za oblikovanje armature i provjere uporabljivosti.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Zaštitni sloj betona	RCCover	Concrete Cover
Sidrenje i preklopi armature	AnchorLap	Anchorage and Laps
Širina pukotina	CrackWidth	Crack Width
Progib	RCDeflection	Deflection

2.7.3 Temelji i geotehničke konstrukcije

Temelji, potporne konstrukcije i piloti.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Temelj samac	RCPadFoundation	Pad Foundation
Potporni zid	RCRetainingWall	Retaining Wall
Gabionski zid	GabionWall	Gabion Wall
Zagatna stijena od čeličnih talpi	SheetPileDesigner	Steel Sheet Pile Wall
Pilot	RCPile	Pile

2.7.4 Čelične i spregnute konstrukcije

Proračun čeličnih elemenata i spojeva prema HRN EN 1993 te spregnutih nosača prema HRN EN 1994.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Čelični presjek	SteelSection	Steel Section
Čelična greda	SteelBeam	Steel Beam
Spregnuta greda	CompositeBeam	Composite Beam
Sidrenje čeličnog stupa u temelj	SteelColumnBase	Steel Column Base
Duljina vijka	BoltGrip	Bolt Length

2.7.5 Drvene konstrukcije

Proračun drvenih elemenata i krovišta prema HRN EN 1995.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Drveni presjek	TimberSection	Timber Section
Podrožnica	TimberPurlin	Timber Purlin
Krovište	TimberRoof	Timber Roof

2.7.6 Zidane konstrukcije

Proračun zidova od opeke i blokova prema HRN EN 1996.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Zidani zid	`MasonryWall`	Masonry Wall

2.7.7 Opterećenja i građevinska fizika

Programi koji prethode dimenzioniranju ili ga dopunjuju.

Program	Datoteka (.exe)	Naziv u izborniku (EN)
Analiza opterećenja	`StructLoad`	Load Analysis
Koeficijent prolaska topline (U)	`UValuePro`	U-Value

2.8 Organizacija datoteka

Instalacijska mapa ima sljedeću strukturu:

Mapa / datoteka	Sadržaj
bin\EuroStructDesign.exe	`glavni izbornik`
bin\programs.ini	`kartice, popis programa i podaci za prozor About (web, e-mail)`
bin\lang*.ini	`nazivi i opisi programa na svakom jeziku (UTF-8)`
bin\images*.bmp	`sličice programa, 176 × 120 piksela, 24-bitni BMP`
bin\images\logo.bmp	`logo u zaglavlju izbornika`
bin\programs\<Ime>\	`mapa svakog programa s pripadajućim datotekama, npr. bin\programs\RCSection\RCSection.exe`

Imena izvršnih datoteka i mapa programa zadaju se u datoteci programs.ini (stavka Exe=...), pa ih je moguće promijeniti bez ponovnog prevođenja izbornika.

2.9 Dodavanje novog programa

Novi program uključuje se u izbornik u tri koraka:

1. U datoteku programs.ini dodati novu sekciju s podacima o programu i kartici na kojoj se prikazuje.
2. U mapu images spremiti sličicu programa (176 × 120, 24-bitni BMP).
3. U svaku jezičnu datoteku lang*.ini dodati redak u sekcije [Names] i [Descriptions].

Program se kopira u vlastitu mapu unutar bin\programs\. Program može biti napisan u bilo kojem jeziku – dovoljno je da je riječ o izvršnoj datoteci za Windows.

2.10 Tehnički podaci

Stavka	Opis
Operacijski sustav	`Microsoft Windows`
Sučelje	`gradi se u kodu, bez dodatnih komponenti`

Stavka	Opis
Jezici	engleski, njemački, francuski, talijanski, hrvatski
Konfiguracija	tekstualne .ini datoteke
Norme	HRN EN 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997

2.11 Napomena o odgovornosti

EuroStruct Design je pomoćni alat, rezultate proračuna potrebno je provjeriti. Pri primjeni treba uzeti u obzir parametre iz važećih nacionalnih dodataka uz Eurokodove.

3 Program RCSection

DIMENZIONIRANJE AB GREDE

Pozicija: **Greda 101 - presjek u polju**

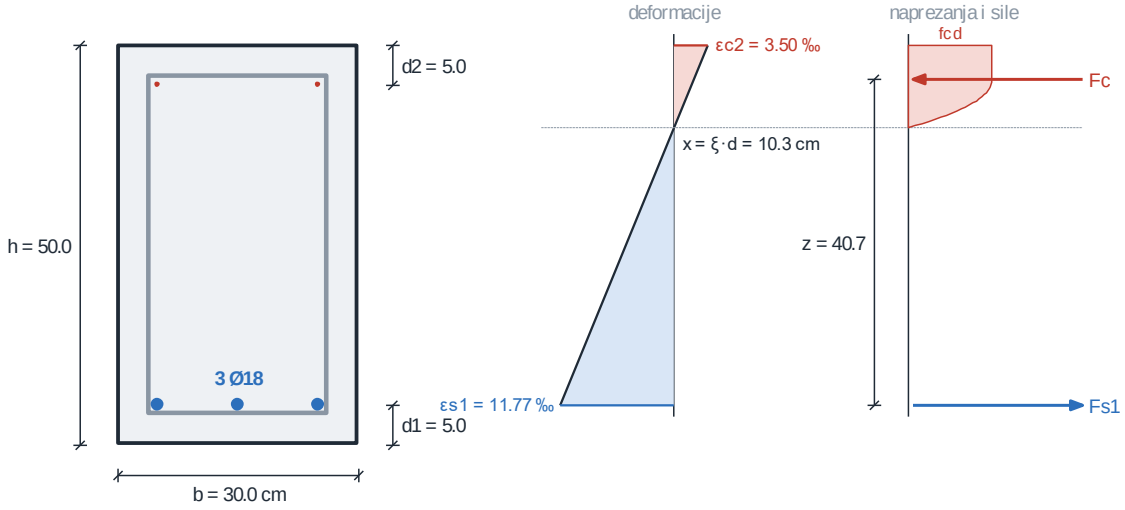
Pravokutni presjek · granično stanje nosivosti · HRN EN 1992-1-1:2013 s NA

3.1 MATERIJALI

	Klasa	Karakteristična čvrstoća	Računska čvrstoća	Ostalo
Beton	C25	f_{ck} = 25 N/mm²	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c$ = 16.67 N/mm²	α_{cc} = 1.00; γ_c = 1,50; f_{ctm} = 2.56 N/mm²
Čelik	B500	f_{yk} = 500 N/mm²	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ = 434.78 N/mm²	γ_s = 1,15; E_s = 200 000 N/mm²

Računski dijagram betona parabola–pravokutnik: ε_{c2} = 2.00 ‰, ε_{cu2} = 3.50 ‰, n = 2.00. Čelik: $\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$ = 2.17 ‰, $\varepsilon_{s,max}$ = 20 ‰.

3.2 GEOMETRIJA



Širina b	Visina h	d_1 (težište vlačne)	d_2 (težište tlačne)	Statička visina d = h − d_1	Površina A_c
30.0 cm	50.0 cm	5.0 cm	5.0 cm	45.0 cm	1500 cm²

3.3 DJELOVANJA

Računski moment savijanja: M_{Ed} = **150.00 kNm**

Uzdužna sila (+ vlak, − tlak): N_{Ed} = -100.00 kN

Poprečna sila: V_{Ed} = 80.00 kN

Moment u odnosu na A_{s1}: $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$ = **170.00 kNm** (z_{s1} = d − h/2 = 20.0 cm)

3.4 PRORAČUN NA SAVIJANJE

Bezdimenzionalni moment: $\mu_{Ed} = M_{Eds} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$ = **0.1679**

Granica jednostrukog armiranja: μ_{lim} = 0.2961 ($\xi_{lim} = x_u/d$ = 0.45; $M_{Rd,lim}$ = 299.80 kNm)

Jednostruko armirani presjek - slom po betonu (εc2 = 3.50‰).

ε_{s1} (‰)	ε_{c2} (‰)	ξ = x/d	ζ = z/d	x = ξ·d (cm)	z = ζ·d (cm)
11.77	3.50	0.229	0.905	10.32	40.71

3.5 POTREBNA ARMATURA

Vlačna armatura

Računski potrebna: $A_{s1} = M_{Eds} / (\zeta \cdot d \cdot f_{yd}) + N_{Ed}/f_{yd}$ = **7.30 cm²**

Minimalna (9.2.1.1): $A_{s1,min} = \max(0{,}26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b \cdot d;\ 0{,}0013 \cdot b \cdot d) = \max(1.80;\ 1.75)$ = **1.80 cm²**

Maksimalna (9.2.1.1): $A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c$ = **60.00 cm²**

Gornja / tlačna armatura

$\mu_{Ed} \le \mu_{lim}$ → tlačna armatura računski nije potrebna.

Merodavna vlačna armatura: $A_{s1,req} = \max(A_{s1};\ A_{s1,min})$ = 7.30 cm²

3.6 ODABRANA ARMATURA

Armatura	Odabrano	$A_{s,prov}$ (cm²)
Vlačna (donja), A_{s1}	**3 Ø18**	7.63
Gornja (tlačna), A_{s2}	konstruktivno (min. 2Ø10 za spone)	-

Armatura stane u jedan red (svijetli razmak ≥ max(Ø; d_g + 5 mm; 20 mm)).

Koeficijent armiranja $\rho = A_{s1,prov}/(b \cdot d)$ = 0.57 %; iskorištenost $A_{s1,req}/A_{s1,prov}$ = 96 %.

Kontrola: $A_{s1,req}$ = 7.30 ≤ $A_{s1,prov}$ = 7.63 cm²; $A_{s,uk}$ = 7.63 ≤ $A_{s,max}$ = 60.00 cm² → ZADOVOLJAVA

3.7 POPREČNA SILA (6.2)

Nosivost bez poprečne armature: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d \ \ge\ (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$

$C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c = 0{,}12$; $k = 1 + \sqrt{(200/d)} \le 2{,}0 = 1.667$; $\rho_l = A_{sl}/(b \cdot d) = 0.28$ % (A_{sl} = 50 % $A_{s1,prov}$); $\sigma_{cp} = -N_{Ed}/A_c = 0.67$ N/mm²; $v_{min} = 0{,}035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0.377$ N/mm²

$V_{Rd,c}$ = **65.32 kN**

VEd = 80.00 > VRd,c = 65.32 kN → potrebna poprečna armatura (spone).

Nagib spona: $\alpha = 90°$

Krak unutarnjih sila: $z = 0{,}9 \cdot d$ = 40.5 cm

Tlačne dijagonale: $\cot\theta$ = 2.50 ($1{,}0 \le \cot\theta \le 2{,}5$); $v_1 = 0{,}6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0.540$; $\alpha_{cw} = 1.04$

$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)/(1 + \cot^2\theta) = 392.15$ kN ≥ V_{Ed}

Potrebna poprečna armatura: $A_{sw}/s = V_{Ed} / (z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha) = 1.82$ cm²/m

Minimalna (9.2.2): $(A_{sw}/s)_{min} = \rho_{w,min} \cdot b \cdot \sin\alpha = 2.40$ cm²/m ($\rho_{w,min} = 0{,}08 \cdot \sqrt{f_{ck}}/f_{yk} = 0.800$ ‰)

Najveći razmak spona: $s_{max} = 0{,}75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 33.8$ cm

Odabrane spone: **Ø6/23 cm, 2-rezne** ($A_{sw}/s = 2.46$ cm²/m)

Kontrola: A_{sw}/s_{prov} = 2.46 ≥ max(A_{sw}/s; $(A_{sw}/s)_{min}$) = 2.40 cm²/m → ZADOVOLJAVA

3.8 NAPOMENE

Nema.

4 Program RCSimpleBeam

Proračun AB grede POZ 411

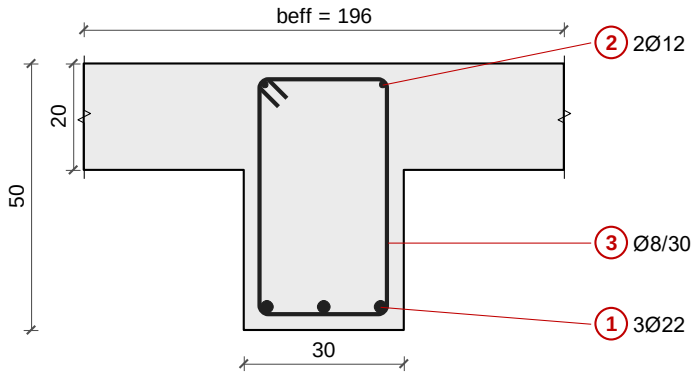
Prosta greda, T-presjek, jednoliko opterećenje. Proračun prema HRN EN 1992-1-1.

4.1 Ulazni podaci

Veličina	Vrijednost
Svijetli raspon	L_{sv} = 5,00 m
Širina ležaja	b_{sup} = 30,0 cm
Presjek	T-presjek
Rebro	b_w/h = 30,0/50,0 cm
Ploča	h_f = 20,0 cm; b_{eff} = 196,0 cm
Dodatno stalno opterećenje	g = 30,00 kN/m
Uporabno opterećenje	q = 10,00 kN/m; ψ_2 = 0,30
Beton	C20/25; γ_c = 1,50; α_{cc} = 1,00
Armatura	B500B; f_{yk} = 500 MPa; γ_s = 1,15
Zaštitni sloj	c_{nom} = 25 mm
Najveće zrno agregata	d_g = 16 mm
Dopuštena širina pukotina	w_{max} = 0,30 mm
Dopušteni progib	L/250
Puzanje i skupljanje	RH = 50 %; t_0 = 28 dana; cement N

4.2 Poprečni presjek

PRESJEK A-A



C20/25 – B500B – c = 25 mm – mjere u cm

Računski raspon: $L_{eff} = L_{sv} + 2 \cdot \min(b_{sup}/2; h/2) = 5{,}300$ m

Sudjelujuća širina (5.3.2.1): $l_0 = 530{,}0$ cm; $b_{eff,i} = \min(0{,}2 \cdot b_i + 0{,}1 \cdot l_0; 0{,}2 \cdot l_0; b_i)$

$b_{eff,1} = 83{,}0$ cm; $b_{eff,2} = 83{,}0$ cm; $b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} = 196{,}0$ cm

Ploština presjeka: $A_c = 4820$ cm^2

4.3 Analiza opterećenja

Vlastita težina rebra: g_{vl} = 2,25 kN/m
Ukupno stalno: g = 32,25 kN/m; uporabno: q = 10,00 kN/m
Računsko opterećenje (GSN): $p_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}5 \cdot q = 58{,}54$ kN/m
$M_{Ed} = p_{Ed} \cdot L_{eff}^2/8 = 205{,}54$ kNm; $V_{Ed} = p_{Ed} \cdot L_{eff}/2 = 155{,}12$ kN
Karakteristična kombinacija: $M_k = (g + q) \cdot L_{eff}^2/8 = 148{,}35$ kNm
Nazovistalna kombinacija: $M_{qp} = (g + \psi_2 \cdot q) \cdot L_{eff}^2/8 = 123{,}77$ kNm

4.4 GSN – savijanje u polju

Materijal: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 13{,}33$ MPa; $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 434{,}78$ MPa
Statička visina: $d = h - d_1 = 50{,}0 - 4{,}40 = 45{,}60$ cm
$\mu_{Ed} = M_{Ed}/(b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0{,}0378$ (b = 196,0 cm)
Tlačni blok (0,8x = 1,76 cm) je u ploči → proračun kao pravokutni presjek širine b_{eff}
$\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\mu)} = 0{,}0386$; $x = \omega \cdot d/0{,}8 = 2{,}20$ cm; $\xi = x/d = 0{,}048 \leq 0{,}45$
Potrebna armatura: $A_{s1,req} = 10{,}57$ cm^2
Minimalna armatura: $A_{s,min} = \max(0{,}26 \cdot f_{ctm}/f_{yk};\ 0{,}0013) \cdot b_w \cdot d = 1{,}78$ cm^2
Maksimalna armatura: $A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c = 192{,}80$ cm^2
Odabrano – Poz 1: 3Ø22, A_{s1} = 11,40 cm^2
$A_{s1,req} = 10{,}57 \leq A_{s1} = 11{,}40 \leq A_{s,max} = 192{,}80$ cm^2 → **ZADOVOLJAVA**

4.4.1 Gornja armatura

Djelomična upetost na ležaju (9.2.1.2): $M_{Ed,s} = 0{,}15 \cdot M_{Ed} = 30{,}83$ kNm; $\mu = 0{,}0363$; $A_{s,req} = 1{,}57$ cm^2
Mjerodavno: $A_{s2,req} = \max(A_{s2,tlak};\ A_{s,ležaj};\ 2Ø12) = 2{,}26$ cm^2
Odabrano – Poz 2: 2Ø12, A_{s2} = 2,26 cm^2
$A_{s2,req} = 2{,}26 \leq A_{s2} = 2{,}26$ cm^2 → **ZADOVOLJAVA**

4.5 GSN – poprečna sila

Na licu ležaja: $V_{Ed} = 146{,}34$ kN; na udaljenosti d od lica: $V_{Ed,red} = 119{,}65$ kN
Nosivost bez poprečne armature: k = 1,662; $\rho_l = 0{,}0083$; $v_{min} = 0{,}335$ MPa
$V_{Rd,c} = \max[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100\rho_l \cdot f_{ck})^{(1/3)};\ v_{min}] \cdot b_w \cdot d = \max(69{,}71;\ 45{,}89) = 69{,}71$ kN
$V_{Ed,red} > V_{Rd,c}$ → potrebna je proračunska poprečna armatura.
Nagib tlačnih dijagonala: $\theta = 21{,}8°$ ($\cot\theta = 2{,}50$); $z = 0{,}9d = 41{,}04$ cm; $v_1 = 0{,}552$
$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot\theta + \tan\theta) = 312{,}47$ kN
$V_{Ed} = 146{,}34 \leq V_{Rd,max} = 312{,}47$ kN → **ZADOVOLJAVA**
Spone: m = 2 reza, Ø8; $A_{sw} = 1{,}005$ cm^2
Minimalna armatura: $\rho_{w,min} = 0{,}08 \cdot \sqrt{f_{ck}}/f_{yk} = 0{,}00072$ → $s \leq A_{sw}/(\rho_{w,min} \cdot b_w) = 46{,}8$ cm
Najveći razmak: $s_{l,max} = \min(0{,}75d;\ 30\text{ cm}) = 30{,}0$ cm
Potreban razmak uz ležaj: $s = A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta/V_{Ed,red} = 37{,}5$ cm
Odabrano – Poz 3: Ø8/30,0 cm po cijeloj duljini
Ukupno 17 spona.

4.6 Sidrenje donje armature na ležaju

Šipke Poz 1 i Poz 2 su U-oblika – na krajevima su savijene vertikalno (Poz 1 prema gore, Poz 2 prema dolje).
Sila za sidrenje (9.2.1.4): $F_E = V_{Ed} \cdot \cot\theta/2 = 182{,}93$ kN; $\sigma_{sd} = F_E/A_{s1} = 160{,}4$ MPa
Čvrstoća prianjanja: $f_{bd} = 2{,}25 \cdot f_{ctd} = 2{,}25 \cdot 1{,}032 = 2{,}32$ MPa
$l_{b,rqd} = Ø/4 \cdot \sigma_{sd}/f_{bd} = 380$ mm; $l_{b,min} = 220$ mm; $\alpha_5 = 0{,}93$
$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 0{,}7 \cdot 0{,}93 \cdot 380$ → $l_{bd} = 248$ mm
$l_{bd} = 248 \leq b_{sup} - c_{nom} = 275$ mm → **ZADOVOLJAVA**

4.7 Granično stanje uporabljivosti

4.7.1 Materijal, puzanje i skupljanje

f_{cm} = 28 MPa; f_{ctm} = 2,21 MPa; E_{cm} = 29,96 GPa; α_e = 6,68

Srednji polumjer: $h_0 = 2A_c/u$ = 196 mm

Koeficijent puzanja: $\phi(\infty,t_0) = \phi_{RH}\cdot\beta(f_{cm})\cdot\beta(t_0)$ = 1,861·3,175·0,488 = 2,89

Skupljanje: $\varepsilon_{cs} = k_h\cdot\varepsilon_{cd,0} + \varepsilon_{ca}$ = 0,856·5,437·10^{-4} + 2,500·10^{-5} = 4,905·10^{-4}

Efektivni modul: $E_{c,eff} = E_{cm}/(1 + \phi)$ = 7,71 GPa; $\alpha_{e,eff}$ = 25,94

4.7.2 Karakteristike presjeka

Neraspucani presjek (α_e): y_c = 15,05 cm; I_I = 718337 cm^4

Raspucani presjek (α_e): x = 5,56 cm; I_{II} = 133305 cm^4

Neraspucani presjek (α_e,eff): y_c = 16,25 cm; I_I = 921285 cm^4; S_I = 307 cm^3

Raspucani presjek (α_e,eff): x = 10,17 cm; I_{II} = 442250 cm^4; S_{II} = 390 cm^3

Moment raspucavanja: $M_{cr} = f_{ctm}\cdot I_I/(h - y_c)$ = 45,43 kNm

M_{qp} = 123,77 kNm > M_{cr} → presjek je raspucan.

4.7.3 Ograničenje naprezanja (7.2)

$\sigma_c = M_k\cdot x/I_{II}$ = 6,2 ≤ 0,6·f_{ck} = 12,0 MPa → **ZADOVOLJAVA**

$\sigma_{c,qp}$ = 2,8 ≤ 0,45·f_{ck} = 9,0 MPa → **ZADOVOLJAVA**

$\sigma_s = \alpha_e\cdot M_k\cdot(d - x)/I_{II}$ = 297 ≤ 0,8·f_{yk} = 400 MPa → **ZADOVOLJAVA**

4.7.4 Širina pukotina (7.3.4)

$\sigma_{s,qp}$ = 257,2 MPa; $h_{c,ef}$ = 11,00 cm; $\rho_{p,eff} = A_{s1}/(b_w\cdot h_{c,ef})$ = 0,0346

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \max[(\sigma_s - k_t\cdot f_{ctm}/\rho_{p,eff}\cdot(1 + \alpha_e\cdot\rho_{p,eff}))/E_s;\ 0,6\cdot\sigma_s/E_s]$ = 1,129·10^{-3}

$s_{r,max} = 3,4\cdot c + 0,425\cdot k_1\cdot k_2\cdot Ø/\rho_{p,eff}$ = 3,4·33 + 0,17·22/0,0346 = 220 mm

$w_k = s_{r,max}\cdot(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ = 0,249 ≤ w_{max} = 0,30 mm → **ZADOVOLJAVA**

4.7.5 Progib (7.4.3)

Zakrivljenosti od opterećenja: $r_I = M_{qp}/(E_{c,eff}\cdot I_I)$ = 1,742·10^{-5} cm^{-1}; r_{II} = 3,630·10^{-5} cm^{-1}

Koeficijent raspodjele: $\zeta = 1 - 0,5\cdot(M_{cr}/M_{qp})^2$ = 0,933

$r_m = \zeta\cdot r_{II} + (1 - \zeta)\cdot r_I$ = 3,502·10^{-5} cm^{-1}

Zakrivljenost od skupljanja: $r_{cs} = \varepsilon_{cs}\cdot\alpha_{e,eff}\cdot S/I$: $r_{cs,I}$ = 4,235·10^{-6}; $r_{cs,II}$ = 1,122·10^{-5}; $r_{cs,m}$ = 1,075·10^{-5} cm^{-1}

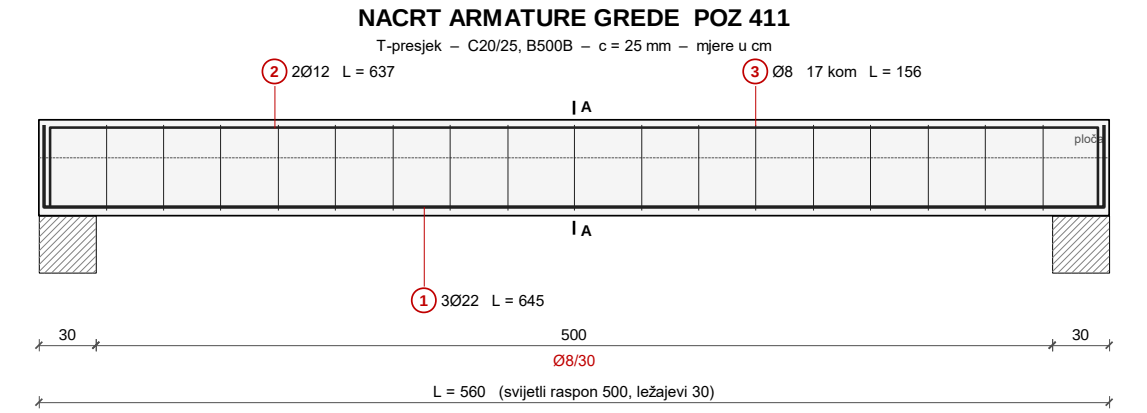
Ukupna zakrivljenost: r_{tot} = 4,577·10^{-5} cm^{-1}

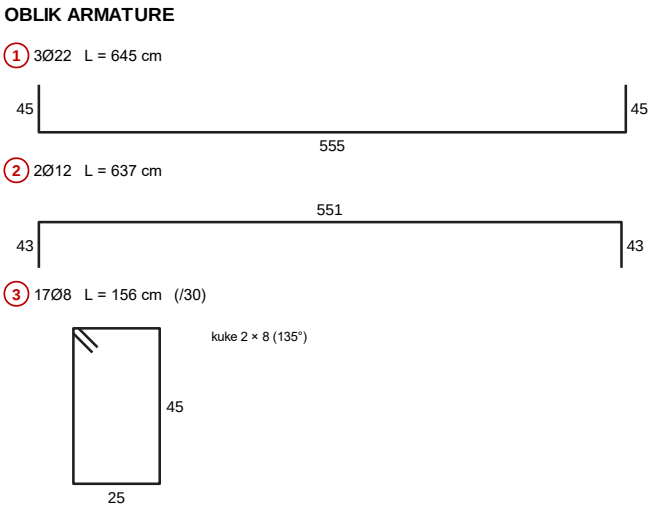
$v = 5/48\cdot L_{eff}^2\cdot r_{tot}$ = 1,34 cm ≤ L/250 = 2,12 cm → **ZADOVOLJAVA**

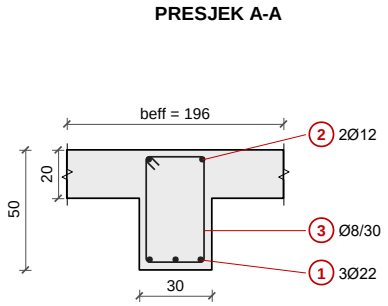
4.8 Sažetak

Kontrola	Rezultat
Savijanje (GSN)	zadovoljava
Poprečna sila (GSN)	zadovoljava
Sidrenje na ležaju	zadovoljava
Naprezanja (GSU)	zadovoljava
Širina pukotina (GSU)	w_k = 0,249 mm – zadovoljava
Progib (GSU)	v = 1,34 cm – zadovoljava
Armatura	Poz 1: 3Ø22; Poz 2: 2Ø12; Poz 3: Ø8/30,0–30,0

4.9 Nacrt armature i iskaz materijala







ISKAZ ARMATURE (B500B)

Poz	Oblik	Ø [mm]	L [m]	kom	Ø8 [m]	Ø12 [m]	Ø22 [m]
1	U-šipka	22	6,45	3			19,35
2	U-šipka	12	6,37	2		12,74	
3	spona	8	1,56	17	26,52		
				Ukupna duljina [m]	**26,52**	**12,74**	**19,35**
				Jedinična masa [kg/m]	0,395	0,888	2,986
				Masa [kg]	**10,5**	**11,3**	**57,8**
				UKUPNO ARMATURE [kg]			**79,6**

ISKAZ BETONA I OPLATE

Stavka	Količina
Beton C20/25 (rebro)	0,504 m³
Oplata	4,50 m²
Armatura B500B	79,6 kg
Utrošak armature	158 kg/m³

Beton i oplata ploče obračunavaju se uz ploču.

4.9.1 Iskaz armature B500B

Poz	Ø [mm]	Oblik	L [m]	kom	Ukupno [m]	Masa [kg]
1	22	U-šipka 45/555/45	6,45	3	19,35	57,8
2	12	U-šipka 43/551/43	6,37	2	12,74	11,3
3	8	spona 25·45	1,56	17	26,52	10,5
Ukupno						79,6

4.9.2 Iskaz betona i oplate

Beton C20/25 (rebro ispod ploče): V = 0,504 m^3
Oplata (dno i bokovi rebra): A = 4,50 m^2
Armatura B500B: 79,6 kg (158 kg/m^3)

Napomena:

RCContinuousBeam EN 1992-1-1 · ULS / SLS · Word · DXF · IFC	STATIČKI PRORAČUN **Kontinuirana greda POZ 101** Armiranobetonska kontinuirana greda T poprečnog presjeka, 3 raspona	OBJEKT / POZICIJA POZ 101	GRADIVA Beton C30/37 Armatura B500B c_{nom} = 35 mm	PROJEKTANT / DATUM 15.11.2026.

5 Program RCContinuousBeam

Proračun kontinuiranog nosača

Proračun je proveden prema HRN EN 1990:2011 + HRN EN 1990:2011/NA:2011, HRN EN 1991-1-1:2012 + HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012 te HRN EN 1992-1-1:2013 + Ispr.1:2015 + A1:2015 + HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015, uz Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20, 7/22). Izvođenje i kontrola prema HRN EN 13670.

NDP	Vrijednost	Izvor
Kombinacija GSN (STR)	izraz (6.10)	HRN EN 1990/NA, 2.5
γ_{G1} – vlastita težina	1,35 / 1,00	HRN EN 1990/NA, Tablica A1.3(HR)
γ_{G2} – nekonstrukcijski dijelovi	1,50 / 0,00	HRN EN 1990/NA, Tablica A1.3(HR)
γ_Q	1,50 / 0,00	HRN EN 1990/NA, Tablica A1.3(HR)
ψ_0, ψ_1, ψ_2	Tablica A1.1	HRN EN 1990/NA, 2.3
Granični progibi	stropovi: $w_{max} \le L/250$; $w_2 + w_3 \le L/300$	HRN EN 1990/NA, 2.9, Tablica A1.5(HR)
γ_c; γ_s	1,5; 1,15	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.7 i 2.8
α_{cc}; α_{ct}	1,0; 1,0	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.12 i 2.13
$C_{Rd,c}$; v_{min}; k_1	$0{,}18/\gamma_c$; $0{,}035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$; 0,15	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.45
cot θ; v_1	1,0; $0{,}6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.47 i 2.48
w_{max}	0,4 mm (XC1), projektno usvojeno 0,3 mm	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.66
$A_{s,min}$; $A_{s,max}$; β_1	$0{,}26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d \ge 0{,}0013 \cdot b_t \cdot d$; $0{,}022 \cdot A_c$ ($0{,}031 \cdot A_c$); 0,25	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.74, 2.75, 2.76
$\rho_{w,min}$; $s_{l,max}$; $s_{t,max}$	$0{,}15 \cdot f_{ctm}/f_{yd}$; Tablica 9.1(HR); Tablica 9.2(HR)	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.79, 2.80, 2.82

5.1.1 Opis konstrukcije

5.1.2 1.1 Geometrija i statički sustav

Greda je T poprečnog presjeka: širina hrpta b_w = 30 cm, ukupna visina h = 60 cm, debljina pojasnice h_f = 15 cm, stvarna širina pojasnice $b = b_1 + b_w + b_2 = 60 + 30 + 60 = 150$ cm (HRN EN 1992-1-1, Slika 5.3). Pojasnica je u gornjoj zoni presjeka.

Statički sustav je kontinuirani nosač preko 4 oslonaca s 3 raspona. Oslonci su nepomični i zglobni. Rasponi $l_{eff,i}$ su razmaci osi oslonaca; na krajnjim osloncima os je na a = min(h/2; t/2) od unutarnjeg lica (Slika 5.4), a na srednjim u sredini oslonca.

krajnji oslonci: $a_A = \min(600/2; 300/2) = 150$ mm; $a_D = 150$ mm [HRN EN 1992-1-1, Slika 5.4]

raspon 1: $l_{n,1} = l_{eff} - a_l - a_d = 6\,000 - 150 - 150 = 5\,700$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (5.8)]

raspon 2: $l_{n,2} = l_{eff} - a_l - a_d = 6\,000 - 150 - 150 = 5\,700$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (5.8)]

raspon 3: $l_{n,3} = l_{eff} - a_l - a_d = 6\,000 - 150 - 150 = 5\,700$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (5.8)]

$L_{uk} = 18\,300$ mm

Oslonac	t [cm]	os x [cm]	Vrsta
A	30	15	krajnji oslonac
B	30	615	srednji oslonac
C	30	1 215	srednji oslonac
D	30	1 815	krajnji oslonac

5.1.3 1.2 Proračunska širina pojasnice i svojstva presjeka

Proračunska širina b_{eff} određuje se iz razmaka l_0 nul-točaka momenta (HRN EN 1992-1-1, 5.3.2.1, Slika 5.2), posebno za svako polje (pojasnica u tlaku) i svaki srednji oslonac (pojasnica u vlaku).

$b_{eff} = \Sigma\, b_{eff,i} + b_w \le b$; $b_{eff,i} = 0{,}2 \cdot b_i + 0{,}1 \cdot l_0 \le 0{,}2 \cdot l_0$; $b_{eff,i} \le b_i$ [izrazi (5.7), (5.7a), (5.7b)]

l_0: krajnji raspon $0{,}85 \cdot l$; unutarnji raspon $0{,}70 \cdot l$; nad srednjim osloncem $0{,}15 \cdot (l_1 + l_2)$ (Slika 5.2)

Presjek	l_0 [cm]	$b_{eff,1}$ [cm]	$b_{eff,2}$ [cm]	b_{eff} [cm]	z_T [mm]	I_I [10^{10} mm^4]	Pojasnica
polje 1	510	60	60	150	187,5	1,0294	tlačna
polje 2	420	54	54	138	193,4	1,0020	tlačna
polje 3	510	60	60	150	187,5	1,0294	tlačna
oslonac B	180	30	30	90	225,0	0,8606	vlačna
oslonac C	180	30	30	90	225,0	0,8606	vlačna

(HRN EN 1992-1-1, 5.3.2.1; ista proračunska širina primjenjuje se u GSN i GSU; u statičkoj analizi b_{eff} polja konstantna po rasponu (5.3.2.1(4)))

5.1.4 1.3 Gradiva

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Izvor
Karakteristična tlačna čvrstoća	f_{ck}	30 MPa	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Srednja vlačna čvrstoća	f_{ctm}	2,9 MPa	Tablica 3.1
Karakteristična vlačna čvrstoća	$f_{ctk;0,05}$	2,0 MPa	Tablica 3.1
Modul elastičnosti	E_{cm}	33 000 MPa	Tablica 3.1
Proračunska tlačna čvrstoća	$f_{cd} = 30/1{,}5$	20,00 MPa	izraz (3.15)
Proračunska vlačna čvrstoća	f_{ctd}	1,33 MPa	izraz (3.16)
Koeficijenti dijagrama	λ; η; ε_{cu3}	0,800; 1,000; 3,5 ‰	3.1.7(3)
Čelik B500B (razred B)	f_{yk}; f_{yd}	500; 434,8 MPa	Dodatak C; 3.2.7

5.1.5 1.4 Zaštitni sloj i statičke visine

Nazivni zaštitni sloj $c_{nom} = 35$ mm mjeri se do vanjskog ruba spona Ø10 (pretpostavljen razred izloženosti XC1, HRN EN 1992-1-1, 4.4.1).

polje 1 (3Ø20, jedan red): d = 545 mm

polje 2 (3Ø12, jedan red): d = 549 mm

polje 3 (3Ø20, jedan red): d = 545 mm

gornja armatura Ø12: $d_g = h - c_{nom} - Ø_w - Ø/2 = 600 - 35 - 10 - 12/2 = 549$ mm

5.1.6 Analiza opterećenja

5.1.6.1 2.1 Djelovanja

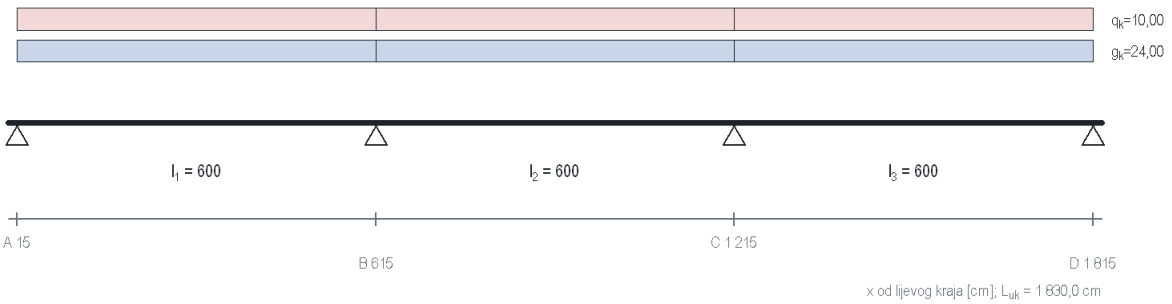
vlastita težina: $g_{k,vl} = 25 \cdot A_c = 25{,}0 \cdot 0{,}3600 = 9{,}00$ kN/m' (HRN EN 1991-1-1, Tablica A.1)

uporabno opterećenje: kategorija B1 – uredi, hodnici u uredskim zgradama, ordinacije bez teške opreme; $q_k = 2{,}0$ kN/m² (Tablica 6.1(HR))

$\psi_0 = 0{,}7$; $\psi_1 = 0{,}5$; $\psi_2 = 0{,}3$ (HRN EN 1990, Tablica A1.1)

Raspon	l_{eff} [m]	$g_{k,dod}$ [kN/m']	g_k [kN/m']	q_k [kN/m']
1	6,000	15,00	24,00	10,00
2	6,000	15,00	24,00	10,00
3	6,000	15,00	24,00	10,00

opterećenja u kN/m' i kN; rasponi u cm



5.1.6.2 2.2 Kombinacije djelovanja i raspored opterećenja

GSN: $E_d = \gamma_{G1} \cdot G_{k1} + \gamma_{G2} \cdot G_{k2} + \gamma_Q \cdot Q_k$ [HRN EN 1990, izraz (6.10)]

GSU karakteristična: $G_k + Q_k$; česta: $G_k + \psi_1 \cdot Q_k$; nazovistalna: $G_k + \psi_2 \cdot Q_k$ [izrazi (6.14b), (6.15b), (6.16b)]

Uporabno opterećenje podijeljeno je na 3 neovisnih dijelova: $q_k = 10{,}00$ kN/m' u rasponu 1; $q_k = 10{,}00$ kN/m' u rasponu 2; $q_k = 10{,}00$ kN/m' u rasponu 3. Svaki dio uključuje se samo kada je nepovoljan, čime su obuhvaćeni svi rasporedi po rasponima (HRN EN 1992-1-1, 5.1.3; NA 2.27). Anvelopa je određena superpozicijom u 733 presjeka.

5.1.7 Statički proračun

5.1.7.1 3.1 Momenti nad osloncima, reakcije i unutarnje sile

Kontinuirani nosač riješen je jednadžbom triju momenata; krutost raspona određena je bruto presjekom s b_{eff} polja ($k_i = I_{l,1}/I_{l,i}$).

$M_{j-1} \cdot k_j \cdot l_j + 2 \cdot M_j \cdot (k_j \cdot l_j + k_{j+1} \cdot l_{j+1}) + M_{j+1} \cdot k_{j+1} \cdot l_{j+1} = -6 \cdot (k_j \cdot EI \cdot \theta^o_{j,d} + k_{j+1} \cdot EI \cdot \theta^o_{j+1,l})$

jednoliko opterećenje: $EI \cdot \theta^o = w \cdot l^3/24$; sila F: $EI \cdot \theta^o_l = F \cdot a \cdot b \cdot (l + b)/(6 \cdot l)$, $EI \cdot \theta^o_d = F \cdot a \cdot b \cdot (l + a)/(6 \cdot l)$

oslonac B: $6{,}000 \cdot M_A + 24{,}328 \cdot M_B + 6{,}164 \cdot M_C = -2\,627{,}381$

oslonac C: $6{,}164 \cdot M_B + 24{,}328 \cdot M_C + 6{,}000 \cdot M_D = -2\,627{,}381$

stalno opterećenje: $M_A = 0{,}00$; $M_B = -86{,}17$; $M_C = -86{,}17$; $M_D = 0{,}00$ kNm

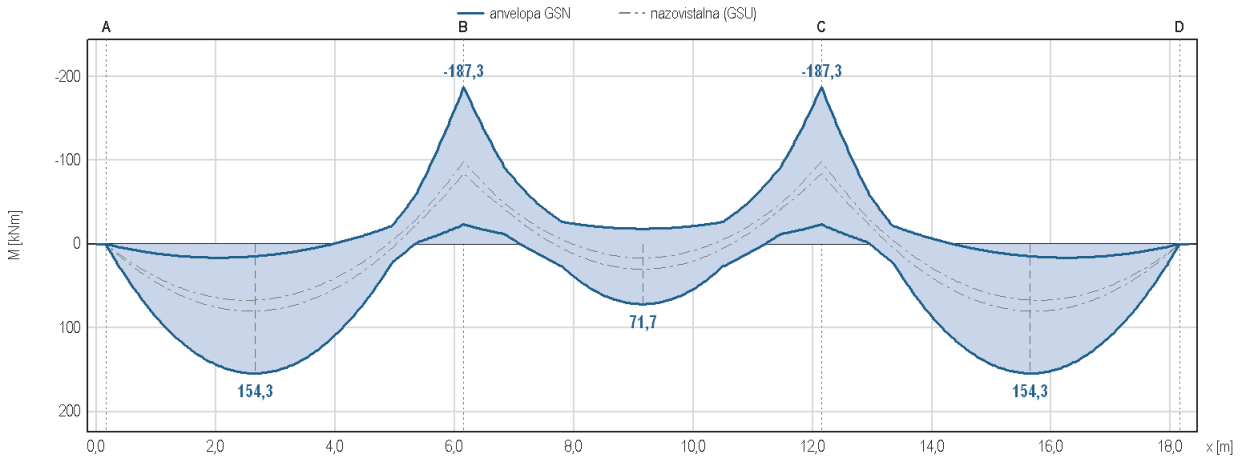
Polje	$M_{Ed,max}$ [kNm]	x [cm]	M_{kar}	M_{qp}	max|V_{Ed}| [kN]
1	154,31	265,0	105,47	80,06	180,16
2	71,73	915,0	48,64	29,87	180,16
3	154,31	1 565,0	105,47	80,06	180,16

Oslonac	$M_{Ed,min}$ [kNm]	$M_{qp,min}$	V_{Ed} lijevo	V_{Ed} desno	R_{max} [kN]

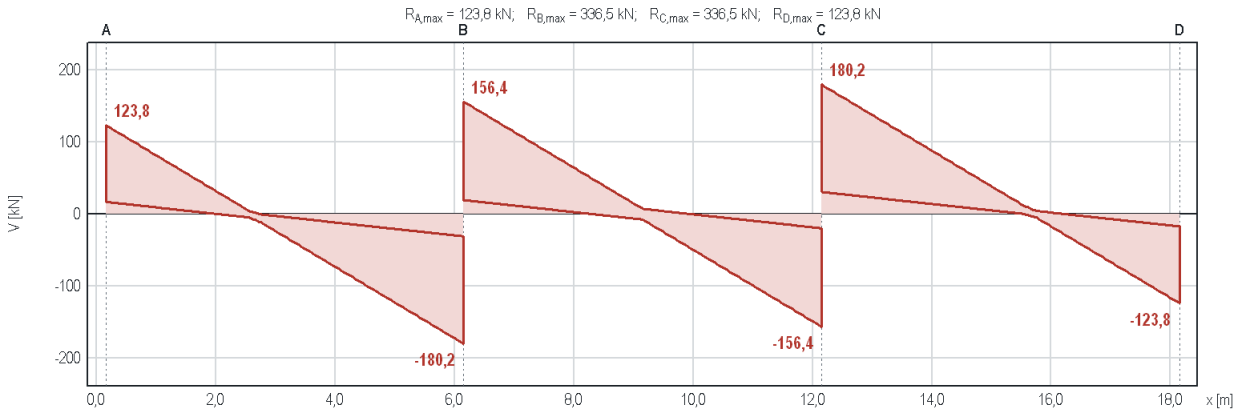
A	0,00	0,00	–	122,55	123,79
B	−187,27	−98,74	178,92	155,14	336,54
C	−187,27	−98,74	155,14	178,92	336,54
D	0,00	0,00	122,55	–	123,79

(Momenti nad srednjim osloncima u osi oslonca, bez zaobljenja (5.3.2.2(4)) i bez preraspodjele (5.5) – na strani sigurnosti)

5.1.7.2 3.2 Momenti savijanja M_{Ed} – anvelopa GSN



5.1.7.3 3.3 Poprečne sile V_{Ed} – anvelopa GSN



5.1.7.4 3.4 Uzdužne sile

N_{Ed} = 0 kN po cijeloj duljini – presjeci se dimenzioniraju na čisto savijanje.

5.1.8 Minimalna armatura

5.1.8.1 4.1 Minimalna uzdužna armatura

$A_{s,min} = 0{,}26\cdot(f_{ctm}/f_{yk})\cdot b_t\cdot d \geq 0{,}0013\cdot b_t\cdot d$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (9.1N)]

$A_{s,min,puk} = k_c\cdot k\cdot f_{ct,eff}\cdot A_{ct}/\sigma_s$; k = 0,790 [izrazi (7.1), (7.2), (7.3)]

polje 1: $A_{s,min}$ = 246,6 mm²; $A_{s,min,puk}$ = 0,4·0,790·2,9·123 750/500 = 226,8 mm²; $A_{s,pot}$ = 657,0 mm² → usvojeno (poz. 1) 3Ø20 = 942,5 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

polje 2: $A_{s,min}$ = 248,4 mm²; $A_{s,min,puk}$ = 0,4·0,790·2,9·121 974/500 = 223,6 mm²; $A_{s,pot}$ = 301,8 mm² → usvojeno (poz. 2) 3Ø12 = 339,3 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

polje 3: $A_{s,min}$ = 246,6 mm²; $A_{s,min,puk}$ = 0,4·0,790·2,9·123 750/500 = 226,8 mm²; $A_{s,pot}$ = 657,0 mm² → usvojeno (poz. 3) 3Ø20 = 942,5 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

krajnji oslonci – djelomična upetost $M_{Ed} = \beta_1\cdot M_{Ed,polje}$, β_1 = 0,25 (9.2.1.2(1); NA 2.76)

oslonac A: $|M_{Ed}|$ = max(0,25·154,31; 0,00) = 38,58 kNm → A_s = 163,4 mm²

oslonac D: $|M_{Ed}|$ = max(0,25·154,31; 0,00) = 38,58 kNm → A_s = 163,4 mm²

gornja kontinuirana armatura (poz. 4, 5): 2Ø12 = 226,2 mm² ≥ 163,4 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac B: $A_{s,min}$ = 579,5 mm² (b_t = 700,0 mm); $A_{s,min,puk}$ = 346,6 mm²; $A_{s,pot}$ = 830,0 mm² → 2Ø12 + 6Ø12 (poz. 6, 6 u pojasnici) = 904,8 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac C: $A_{s,min}$ = 579,5 mm² (b_t = 700,0 mm); $A_{s,min,puk}$ = 346,6 mm²; $A_{s,pot}$ = 830,0 mm² → 2Ø12 + 6Ø12 (poz. 7, 6 u pojasnici) = 904,8 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

(HRN EN 1992-1-1, 9.2.1.1; 7.3.2; 9.2.1.2(2) i Slika 9.1 – raspored vlačne armature po proračunskoj širini pojasnice)

5.1.8.2 4.2 Minimalna posmična armatura

$\rho_{w,min}$ = 0,15·2,9/434,8 = 0,001001 (NA 2.79)

A_{sw} = 2·π·10²/4 = 157,1 mm²; $s_{max,\rho}$ = 523,3 mm

$s_{t,max}$ = min(0,75·d; 600) = 409 mm; razmak krakova 220 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.82, Tablica 9.2(HR))

5.1.9 Maksimalna armatura i duktilnost

polje 1: A_c = 562 500 mm²; $A_{s,max}$ = 0,022·A_c = 12 375 mm² ≥ 942,5 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.75)

polje 2: A_c = 517 500 mm²; $A_{s,max}$ = 0,022·A_c = 11 385 mm² ≥ 339,3 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.75)

polje 3: A_c = 562 500 mm²; $A_{s,max}$ = 0,022·A_c = 12 375 mm² ≥ 942,5 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.75)

gornja kontinuirana: $A_{s,max}$ = 0,022·180 000 = 3 960 mm² ≥ 226,2 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac B: $A_{s,max}$ = 0,022·180 000 = 3 960 mm² ≥ 904,8 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac C: $A_{s,max}$ = 0,022·180 000 = 3 960 mm² ≥ 904,8 mm² ✓ **ZADOVOLJAVA**

polje 1: x/d = 0,031 ≤ 0,45 ✓ **ZADOVOLJAVA** (5.6.3(2))

polje 2: x/d = 0,012 ≤ 0,45 ✓ **ZADOVOLJAVA** (5.6.3(2))

polje 3: x/d = 0,031 ≤ 0,45 ✓ **ZADOVOLJAVA** (5.6.3(2))

oslonac B: x/d = 0,149 ≤ 0,45 ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac C: x/d = 0,149 ≤ 0,45 ✓ **ZADOVOLJAVA**

5.1.10 Granično stanje nosivosti

$\mu_{lim} = \lambda \cdot \xi_{lim} \cdot (1 - \lambda \cdot \xi_{lim}/2)$ = 0,2952 (HRN EN 1992-1-1, 3.1.7(3)).

5.1.10.1 Savijanje u poljima (pojasnica u tlaku)

5.1.10.1.1 Polje 1 – 3Ø20 (poz. 1)

M_{Ed} = 154,31 kNm; d = 545 mm; b_{eff} = 1 500 mm

$M_{Rd,f} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot (d - h_f/2)$ = 2 115,0 kNm → neutralna os u pojasnici – pravokutni presjek širine b_{eff}

$\mu = 154{,}31 \cdot 10^6/(1\,500 \cdot 545^2 \cdot 1{,}000 \cdot 20{,}00) = 0{,}01732 \le \mu_{lim}$

$\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\mu)} = 0{,}01747$; $A_{s,GSN}$ = 657,0 mm²

usvojeno 3Ø20: x = 17,1 mm; M_{Rd} = 220,5 kNm; ε_s = 108,2 ‰

M_{Ed} = 154,31 ≤ M_{Rd} = 220,5 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA** (iskoristivost 70,0 %)

5.1.10.1.2 Polje 2 – 3Ø12 (poz. 2)

M_{Ed} = 71,73 kNm; d = 549 mm; b_{eff} = 1 380 mm

$M_{Rd,f} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot (d - h_f/2)$ = 1 962,4 kNm → neutralna os u pojasnici – pravokutni presjek širine b_{eff}

$\mu = 71{,}73 \cdot 10^6 / (1\,380 \cdot 549^2 \cdot 1{,}000 \cdot 20{,}00) = 0{,}00862 \leq \mu_{lim}$

$\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\mu)} = 0{,}00866$; $A_{s,GSN}$ = 301,8 mm²

usvojeno 3Ø12: x = 6,7 mm; M_{Rd} = 80,6 kNm; ε_s = 284,1 ‰

M_{Ed} = 71,73 ≤ M_{Rd} = 80,6 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA** (iskoristivost 89,0 %)

5.1.10.1.3 Polje 3 – 3Ø20 (poz. 3)

M_{Ed} = 154,31 kNm; d = 545 mm; b_{eff} = 1 500 mm

$M_{Rd,f} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot (d - h_f/2)$ = 2 115,0 kNm → neutralna os u pojasnici – pravokutni presjek širine b_{eff}

$\mu = 154{,}31 \cdot 10^6 / (1\,500 \cdot 545^2 \cdot 1{,}000 \cdot 20{,}00) = 0{,}01732 \leq \mu_{lim}$

$\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\mu)} = 0{,}01747$; $A_{s,GSN}$ = 657,0 mm²

usvojeno 3Ø20: x = 17,1 mm; M_{Rd} = 220,5 kNm; ε_s = 108,2 ‰

M_{Ed} = 154,31 ≤ M_{Rd} = 220,5 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA** (iskoristivost 70,0 %)

5.1.10.2 Savijanje nad osloncima (pojasnica u vlaku)

kontinuirana 2Ø12: $M_{Rd,kont}$ = 53,2 kNm

krajnji oslonac A: $|M_{Ed}|$ = 38,58 ≤ 53,2 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA**

krajnji oslonac D: $|M_{Ed}|$ = 38,58 ≤ 53,2 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA**

5.1.10.2.1 Oslonac B

$|M_{Ed}|$ = 187,27 kNm; μ = 0,10356 ≤ μ_{lim} = 0,2952

$A_{s,GSN}$ = 830,0 mm²; usvojeno 8Ø12 = 904,8 mm²; x = 82,0 mm; M_{Rd} = 203,1 kNm

$|M_{Ed}|$ = 187,27 ≤ M_{Rd} = 203,1 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA** (iskoristivost 92,2 %)

5.1.10.2.2 Oslonac C

$|M_{Ed}|$ = 187,27 kNm; μ = 0,10356 ≤ μ_{lim} = 0,2952

$A_{s,GSN}$ = 830,0 mm²; usvojeno 8Ø12 = 904,8 mm²; x = 82,0 mm; M_{Rd} = 203,1 kNm

$|M_{Ed}|$ = 187,27 ≤ M_{Rd} = 203,1 kNm ✓ **ZADOVOLJAVA** (iskoristivost 92,2 %)

5.1.10.3 Duljina dodatne gornje armature

$a_l = 0{,}9 \cdot d/2$ = 247,1 mm; $f_{bd} = 2{,}25 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}333$ = 2,10 MPa; l_{bd} = 621 mm [izrazi (9.2), (8.2), (8.3)]

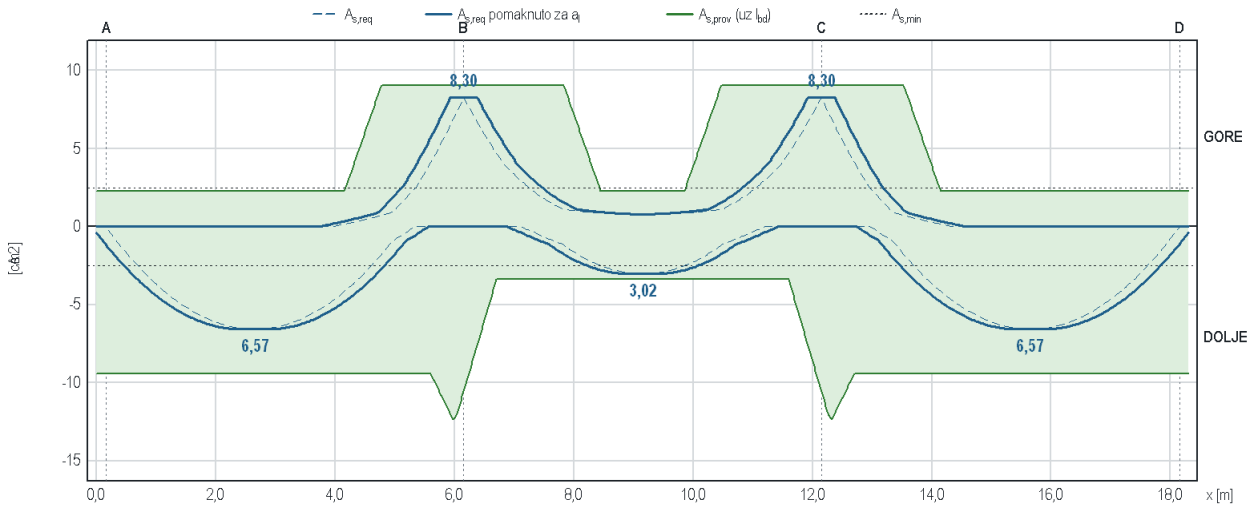
oslonac B (poz. 6, 6Ø12): lijevo 850 + 247 + 250 + 621 → 200 cm; desno 1 150 + 247 + 250 + 621 → 230 cm

oslonac C (poz. 7, 6Ø12): lijevo 1 150 + 247 + 250 + 621 → 230 cm; desno 850 + 247 + 250 + 621 → 200 cm

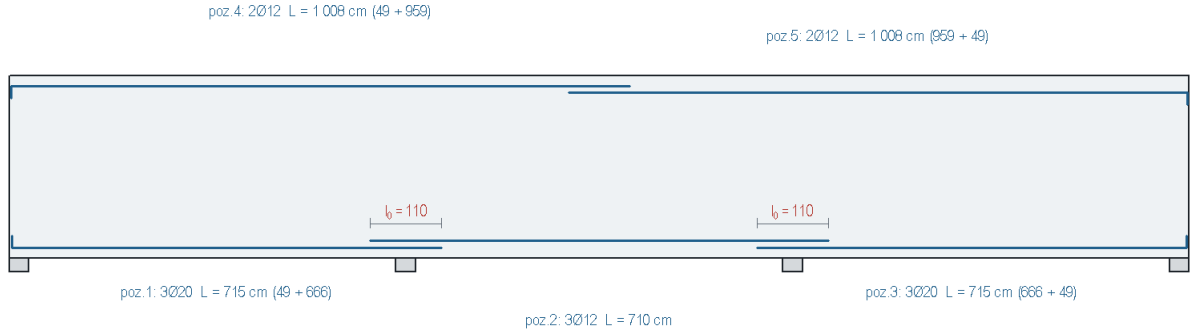
(HRN EN 1992-1-1, 9.2.1.3; 8.4)

5.1.10.4 Pokrivanje vlačne sile

pokrivenost: max $A_{s,req}(x \pm a_l)/A_{s,prov}(x)$ = 0,917 (gornja zona, x = 592,5 cm) ≤ 1,0 ✓ **ZADOVOLJAVA** (9.2.1.3, Slika 9.2)



5.1.10.4.1 Shema uzdužne armature



krajevi grede: šipke donje i gornje zone sidre se vertikalnim krakovima; donja armatura nastavlja se preklopom l_0 nad srednjim osloncima; poz.8: spone Ø10

5.1.10.5 Poprečne sile

V_{Ed} na udaljenosti d od lica oslonca (6.2.1(8)), cot θ = 1,0, b_w = 300 mm.

5.1.10.5.1 Polje 1

d = 545 mm; z = 491 mm

lijevi kraj (oslonac A): k = 1,606; ρ_l = 0,00576; $V_{Rd,c}$ = 81,5 kN; $V_{Ed,d}$ = 90,27 kN [izraz (6.2)]

desni kraj (oslonac B): k = 1,604; ρ_l = 0,00137; $V_{Rd,c}$ = 64,1 kN; $V_{Ed,d}$ = 146,65 kN [izraz (6.2)]

zona uz oslonac: V_{Ed} = 146,65 kN ⟶ s_1 = 225 mm, $V_{Rd,s}$ = 148,9 kN, 6×225 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

s_2 = 300 mm: $V_{Rd,s} = (157{,}1/300)\cdot 491\cdot 434{,}8\cdot 10^{-3}$ = 111,7 kN [izraz (6.8)]

$V_{Rd,max}$ = 777,0 kN ≥ 180,16 kN ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (6.9)]

$s_{l,max}$ = 300,0 mm; $s_2 \le \min(s_{max,\rho}; s_{l,max})$ ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.80, Tablica 9.1(HR))

5.1.10.5.2 Polje 2

d = 549 mm; z = 494 mm

lijevi kraj (oslonac B): k = 1,604; ρ_l = 0,00137; $V_{Rd,c}$ = 64,1 kN; $V_{Ed,d}$ = 122,87 kN [izraz (6.2)]

zona uz oslonac: V_{Ed} = 122,87 kN ⟶ s_1 = 250 mm, $V_{Rd,s}$ = 135,0 kN, 3×250 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

desni kraj (oslonac C): k = 1,604; ρ_l = 0,00137; $V_{Rd,c}$ = 64,1 kN; $V_{Ed,d}$ = 122,87 kN [izraz (6.2)]

zona uz oslonac: V_{Ed} = 122,87 kN ⟶ s_1 = 250 mm, $V_{Rd,s}$ = 135,0 kN, 3×250 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

s_2 = 300 mm: $V_{Rd,s}$ = (157,1/300)·494·434,8·10⁻³ = 112,5 kN [izraz (6.8)]

$V_{Rd,max}$ = 782,7 kN ≥ 180,16 kN ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (6.9)]

$s_{l,max}$ = 300,0 mm; $s_2 \leq \min(s_{max,\rho}; s_{l,max})$ ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.80, Tablica 9.1(HR))

5.1.10.5.3 Polje 3

d = 545 mm; z = 491 mm

lijevi kraj (oslonac C): k = 1,604; ρ_l = 0,00137; $V_{Rd,c}$ = 64,1 kN; $V_{Ed,d}$ = 146,65 kN [izraz (6.2)]

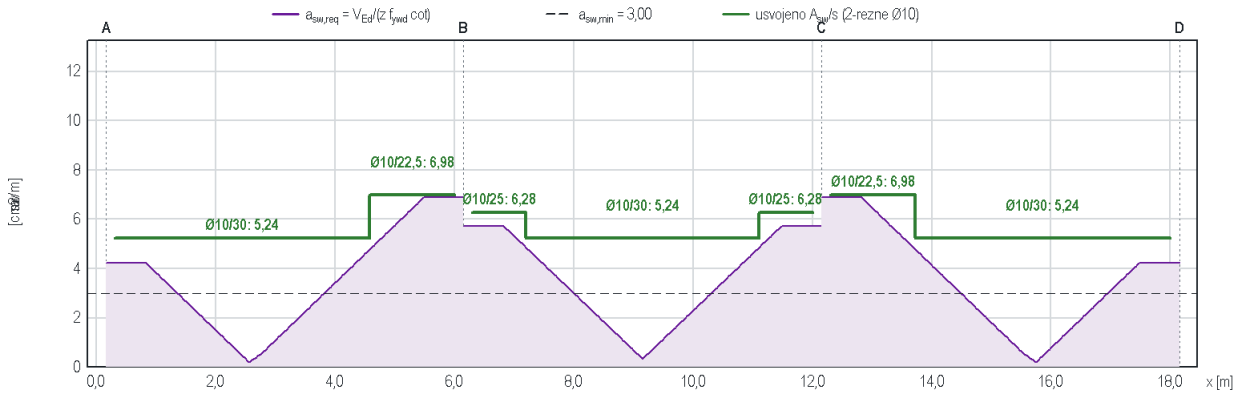
zona uz oslonac: V_{Ed} = 146,65 kN ⟶ s_1 = 225 mm, $V_{Rd,s}$ = 148,9 kN, 6×225 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

desni kraj (oslonac D): k = 1,606; ρ_l = 0,00576; $V_{Rd,c}$ = 81,5 kN; $V_{Ed,d}$ = 90,27 kN [izraz (6.2)]

s_2 = 300 mm: $V_{Rd,s}$ = (157,1/300)·491·434,8·10⁻³ = 111,7 kN [izraz (6.8)]

$V_{Rd,max}$ = 777,0 kN ≥ 180,16 kN ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (6.9)]

$s_{l,max}$ = 300,0 mm; $s_2 \leq \min(s_{max,\rho}; s_{l,max})$ ✓ **ZADOVOLJAVA** (NA 2.80, Tablica 9.1(HR))



5.1.10.6 Posmik između hrpta i pojasnice

$v_{Ed} = \Delta F_d/(h_f \cdot \Delta x)$; granica bez proračunske armature $k \cdot f_{ctd}$ = 0,533 MPa [izrazi (6.20)–(6.22)]

polje 1 (tlačna pojasnica): Δx = 1 250 mm; ΔM = 115,95 kNm; α = 0,400; ΔF_d = 86,18 kN; v_{Ed} = 0,460 MPa; v_{Rd} = 4,224 MPa (cot θ_f = 2,00) ✓ **ZADOVOLJAVA**

polje 2 (tlačna pojasnica): Δx = 1 025 mm; ΔM = 45,65 kNm; α = 0,391; ΔF_d = 32,70 kN; v_{Ed} = 0,213 MPa; v_{Rd} = 4,224 MPa (cot θ_f = 2,00) ✓ **ZADOVOLJAVA**

polje 3 (tlačna pojasnica): Δx = 1 250 mm; ΔM = 115,95 kNm; α = 0,400; ΔF_d = 86,18 kN; v_{Ed} = 0,460 MPa; v_{Rd} = 4,224 MPa (cot θ_f = 2,00) ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac B (vlačna pojasnica): Δx = 1 113 mm; ΔM = 28,24 kNm; α = 0,375; ΔF_d = 20,51 kN; v_{Ed} = 0,123 MPa; v_{Rd} = 5,151 MPa (cot θ_f = 1,25) ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac C (vlačna pojasnica): Δx = 1 112 mm; ΔM = 30,50 kNm; α = 0,375; ΔF_d = 22,16 kN; v_{Ed} = 0,133 MPa; v_{Rd} = 5,151 MPa (cot θ_f = 1,25) ✓ **ZADOVOLJAVA**

proračunska poprečna armatura nije potrebna; konstruktivno poz. 9: Ø8/22,5 cm u dva reda = 446,8 mm²/m ✓ **ZADOVOLJAVA**

(HRN EN 1992-1-1, 6.2.4; NA 2.49, 2.50, 2.83)

5.1.10.7 Sidrenje armature na krajevima grede – vertikalni krakovi

Na krajevima grede ne ugrađuju se U-šipke. Donja armatura krajnjih polja savija se na krajnjem osloncu vertikalno prema gore, a gornja armatura vertikalno prema dolje; vertikalni krakovi sežu do razine suprotne uzdužne armature, pa se krakovi donje i gornje zone preklapaju po cijeloj visini. Donja šipka postavlja se unutar vertikalnog kraka gornje šipke (pomak 12 mm).

5.1.10.7.1 Oslonac A – 3Ø20

$A_{s,oslonac}$ = 942,5 mm² ≥ 0,25·$A_{s,polje}$ ✓ **ZADOVOLJAVA** (9.2.1.4(1))

$F_E = V_{Ed}·a_l/z$ = 122,55·245,3/491 = 61,27 kN; σ_{sd} = 65,0 MPa [izraz (9.3)]

$l_{b,rqd}$ = (20/4)·(65,0/3,00) = 108,4 mm; l_{bd} = max($l_{b,rqd}$; $l_{b,min}$) = 200 mm [izrazi (8.3), (8.6)]

raspoloživo: (t − c_{nom} − 12) + vertikalni krak = 253 + 490 = 743 mm ≥ 200 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

gornja armatura 2Ø12: vertikalni krak 49 cm do razine donje armature

5.1.10.7.2 Oslonac D – 3Ø20

$A_{s,oslonac}$ = 942,5 mm² ≥ 0,25·$A_{s,polje}$ ✓ **ZADOVOLJAVA** (9.2.1.4(1))

$F_E = V_{Ed}·a_l/z$ = 122,55·245,3/491 = 61,27 kN; σ_{sd} = 65,0 MPa [izraz (9.3)]

$l_{b,rqd}$ = (20/4)·(65,0/3,00) = 108,4 mm; l_{bd} = max($l_{b,rqd}$; $l_{b,min}$) = 200 mm [izrazi (8.3), (8.6)]

raspoloživo: (t − c_{nom} − 12) + vertikalni krak = 253 + 490 = 743 mm ≥ 200 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

gornja armatura 2Ø12: vertikalni krak 49 cm do razine donje armature

(HRN EN 1992-1-1, 8.4; 9.2.1.4; savijanje šipki prema 8.3)

5.1.10.8 Nastavljanje donje armature preklopom nad srednjim osloncima

Donja armatura svakog polja produljuje se preko srednjeg oslonca tako da se šipke susjednih polja preklapaju na duljini najmanje l_0 (mjerodavna veća duljina preklopa dvaju promjera). Preklop je simetričan oko osi oslonca i najmanje 10·Ø iza lica oslonca (9.2.1.5(1)). Ova je armatura ujedno tlačna armatura nad osloncem kada je presjek dvostruko armiran.

Ø20 (dobri uvjeti, η_1 = 1,0): f_{bd} = 3,00 MPa; $l_{b,rqd}$ = 724,6 mm; l_0 = max(α_6·$l_{b,rqd}$; $l_{0,min}$) = max(1,5·724,6; 326,1) → 110 cm [izrazi (8.10), (8.11)]

Ø12 (dobri uvjeti, η_1 = 1,0): f_{bd} = 3,00 MPa; $l_{b,rqd}$ = 434,8 mm; l_0 = max(α_6·$l_{b,rqd}$; $l_{0,min}$) = max(1,5·434,8; 200,0) → 70 cm [izrazi (8.10), (8.11)]

oslonac B: 3Ø20 (poz. 1) / 3Ø12 (poz. 2): preklop od x = 560 do 670 cm = 110 cm ≥ l_0 = 110 cm ✓ **ZADOVOLJAVA**

oslonac C: 3Ø12 (poz. 2) / 3Ø20 (poz. 3): preklop od x = 1 160 do 1 270 cm = 110 cm ≥ l_0 = 110 cm ✓ **ZADOVOLJAVA**

(HRN EN 1992-1-1, 8.7.2, 8.7.3; 9.2.1.5)

5.1.10.9 Nastavljanje armature preklopom (duljina šipke ≤ 12 m)

Armatura	Pozicije	od x [cm]	do x [cm]	l_0 [cm]	M_{Ed} [kNm]
gornja kontinuirana armatura	poz. 4 / 5	867,5	962,5	95	18,4

najveća duljina šipke ≤ 12 m ✓ **ZADOVOLJAVA**

5.1.11 Granično stanje uporabljivosti – širina pukotina

$\alpha_e = E_s/E_{cm}$ = 6,061; k_t = 0,4; w_{max} = 0,3 mm

5.1.11.1.1 Polje 1 – donja zona

M_{cr} = 72,4 kNm; M_{qp} = 80,06 kNm ≥ M_{cr} → presjek raspucan

A_s = 942,5 mm²; d = 545 mm; x = 60,7 mm; I_{II} = 0,1452·10¹⁰ mm⁴

$\sigma_s = \alpha_e·M_{qp}·(d - x)/I_{II}$ = 6,061·80,06·10⁶·(545 − 60,7)/0,1452·10¹⁰ = 161,9 MPa

$h_{c,ef}$ = min(2,5·(h − d); (h − x)/3; h/2) = 137,5 mm; $A_{c,eff} = b_w·h_{c,ef}$ = 300·137,5 = 41 250 mm²; $\rho_{p,eff}$ = 0,02285 [HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3), Slika 7.1]

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [161,9 - 0,4 \cdot (2,9/0,02285) \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,02285)]/200\,000 = 5,204 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 4,857 \cdot 10^{-4} \rightarrow 5,204 \cdot 10^{-4}$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 95,0 mm ≤ 5·(c + Ø/2) = 275 mm: $s_{r,max} = 3,4 \cdot 45 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 20/0,02285 = 301,8$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 301,8 \cdot 5,204 \cdot 10^{-4} = 0,157$ mm ≤ 0,3 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

5.1.11.1.2 Polje 2 – donja zona

$M_{cr} = 71,5$ kNm; $M_{qp} = 29,87$ kNm < M_{cr} → presjek neraspucan (proračun formalno kao za raspucan)

$A_s = 339,3$ mm²; d = 549 mm; x = 39,0 mm; $I_{II} = 0,0562 \cdot 10^{10}$ mm⁴

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{qp} \cdot (d - x)/I_{II} = 6,061 \cdot 29,87 \cdot 10^6 \cdot (549 - 39,0)/0,0562 \cdot 10^{10} = 164,3$ MPa

$h_{c,ef} = \min(2,5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2) = 127,5$ mm; $A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef} = 300 \cdot 127,5 = 38\,250$ mm²; $\rho_{p,eff} = 0,00887$ [HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3), Slika 7.1]

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [164,3 - 0,4 \cdot (2,9/0,00887) \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,00887)]/200\,000 = 1,323 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 4,928 \cdot 10^{-4} \rightarrow 4,928 \cdot 10^{-4}$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 99,0 mm ≤ 5·(c + Ø/2) = 255 mm: $s_{r,max} = 3,4 \cdot 45 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 12/0,00887 = 383,0$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 383,0 \cdot 4,928 \cdot 10^{-4} = 0,189$ mm ≤ 0,3 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

5.1.11.1.3 Polje 3 – donja zona

$M_{cr} = 72,4$ kNm; $M_{qp} = 80,06$ kNm ≥ M_{cr} → presjek raspucan

$A_s = 942,5$ mm²; d = 545 mm; x = 60,7 mm; $I_{II} = 0,1452 \cdot 10^{10}$ mm⁴

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{qp} \cdot (d - x)/I_{II} = 6,061 \cdot 80,06 \cdot 10^6 \cdot (545 - 60,7)/0,1452 \cdot 10^{10} = 161,9$ MPa

$h_{c,ef} = \min(2,5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2) = 137,5$ mm; $A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef} = 300 \cdot 137,5 = 41\,250$ mm²; $\rho_{p,eff} = 0,02285$ [HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3), Slika 7.1]

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [161,9 - 0,4 \cdot (2,9/0,02285) \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,02285)]/200\,000 = 5,204 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 4,857 \cdot 10^{-4} \rightarrow 5,204 \cdot 10^{-4}$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 95,0 mm ≤ 5·(c + Ø/2) = 275 mm: $s_{r,max} = 3,4 \cdot 45 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 20/0,02285 = 301,8$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 301,8 \cdot 5,204 \cdot 10^{-4} = 0,157$ mm ≤ 0,3 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

5.1.11.1.4 Oslonac B – gornja zona

$M_{cr} = 110,9$ kNm; $M_{qp} = 98,74$ kNm < M_{cr} → presjek neraspucan (proračun formalno kao za raspucan)

$A_s = 904,8$ mm²; d = 549 mm; x = 124,6 mm; $I_{II} = 0,1181 \cdot 10^{10}$ mm⁴

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{qp} \cdot (d - x)/I_{II} = 6,061 \cdot 98,74 \cdot 10^6 \cdot (549 - 124,6)/0,1181 \cdot 10^{10} = 215,1$ MPa

$h_{c,ef} = \min(2,5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2) = 127,5$ mm; $A_{c,eff} = b_{eff} \cdot \min(h_{c,ef}; h_f) + b_w \cdot \max(0; h_{c,ef} - h_f) = 900 \cdot 127,5 + 300 \cdot 0,0 = 114\,750$ mm²; $\rho_{p,eff} = 0,00788$ [HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3), Slika 7.1]

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [215,1 - 0,4 \cdot (2,9/0,00788) \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,00788)]/200\,000 = 3,045 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 6,452 \cdot 10^{-4} \rightarrow 6,452 \cdot 10^{-4}$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 198,0 mm ≤ 5·(c + Ø/2) = 255 mm: $s_{r,max} = 3,4 \cdot 45 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 12/0,00788 = 411,7$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 411,7 \cdot 6,452 \cdot 10^{-4} = 0,266$ mm ≤ 0,3 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

5.1.11.1.5 Oslonac C – gornja zona

M_{cr} = 110,9 kNm; M_{qp} = 98,74 kNm < M_{cr} ⟶ presjek neraspucan (proračun formalno kao za raspucan)

A_s = 904,8 mm²; d = 549 mm; x = 124,6 mm; I_{II} = 0,1181·10¹⁰ mm⁴

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{qp} \cdot (d - x)/I_{II}$ = 6,061·98,74·10⁶·(549 − 124,6)/0,1181·10¹⁰ = 215,1 MPa

$h_{c,ef}$ = min(2,5·(h − d); (h − x)/3; h/2) = 127,5 mm; $A_{c,eff} = b_{eff} \cdot \min(h_{c,ef}; h_f) + b_w \cdot \max(0; h_{c,ef} - h_f)$ = 900·127,5 + 300·0,0 = 114 750 mm²; $\rho_{p,eff}$ = 0,00788 [HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3), Slika 7.1]

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ = [215,1 − 0,4·(2,9/0,00788)·(1 + 6,061·0,00788)]/200 000 = 3,045·10⁻⁴ ≥ $0,6 \cdot \sigma_s/E_s$ = 6,452·10⁻⁴ ⟶ 6,452·10⁻⁴ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 198,0 mm ≤ 5·(c + Ø/2) = 255 mm: $s_{r,max}$ = 3,4·45 + 0,8·0,5·0,425·12/0,00788 = 411,7 mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ = 411,7·6,452·10⁻⁴ = 0,266 mm ≤ 0,3 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

(HRN EN 1992-1-1, 7.3.2–7.3.4; NA 2.66, 2.68)

5.1.12 Granično stanje uporabljivosti – progib

5.1.12.1 Omjer raspon/statička visina

raspon 1 (K = 1,3): ρ = 0,001913, ρ_0 = 0,00548 ⟶ $(l/d)_{lim}$ = 82,3; l/d = 11,01 ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (7.16.a)]

raspon 2 (K = 1,5): ρ = 0,000924, ρ_0 = 0,00548 ⟶ $(l/d)_{lim}$ = 301,8; l/d = 10,93 ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (7.16.a)]

raspon 3 (K = 1,3): ρ = 0,001913, ρ_0 = 0,00548 ⟶ $(l/d)_{lim}$ = 82,3; l/d = 11,01 ✓ **ZADOVOLJAVA** [izraz (7.16.a)]

5.1.12.2 Proračun progiba s puzanjem i raspucavanjem

$h_0 = 2 \cdot A_c/u$ = 171,4 mm; $\varphi(\infty,t_0)$ = 1,820·2,725·0,488 = 2,422 [Dodatak B]

$E_{c,eff}$ = 33 000/(1 + 2,422) = 9 643 MPa [izraz (7.20)]

$1/r = \zeta \cdot (1/r)_{II} + (1 - \zeta) \cdot (1/r)_I$; $\zeta = 1 - 0,5 \cdot (M_{cr}/M)^2$ [izrazi (7.18), (7.19)]

raspon 1: f_∞ = 3,69 mm ≤ L/250 = 24,0 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**; (bez raspucavanja 2,55 mm)

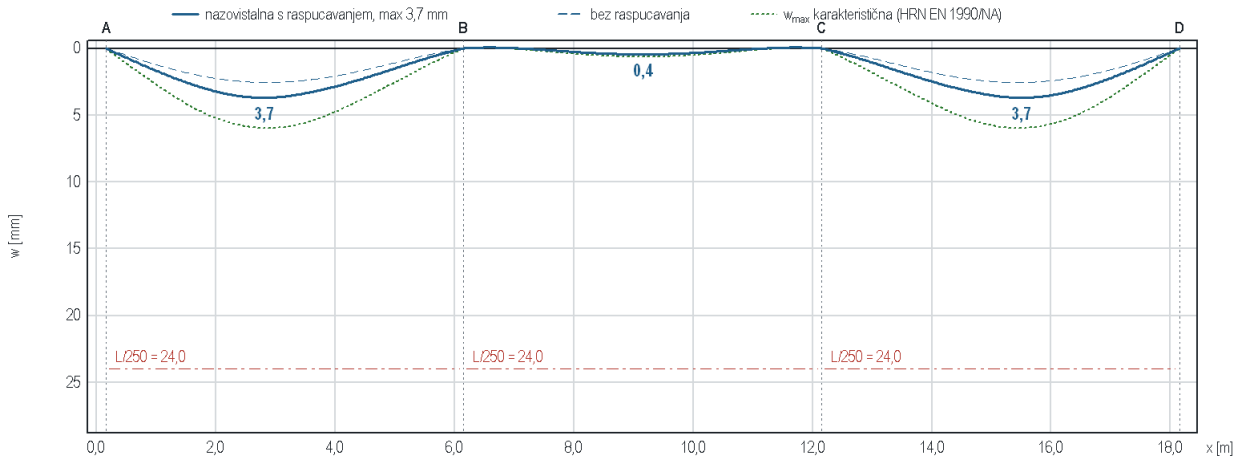
w_1 = 3,12; w_2 = 1,12; w_3 = 1,73 mm ⟶ w_{max} = 5,97 ≤ L/250 = 24,0 ✓ **ZADOVOLJAVA**; $w_2 + w_3$ = 2,85 ≤ L/300 = 20,0 ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1990/NA, Tablica A1.5(HR))

raspon 2: f_∞ = 0,45 mm ≤ L/250 = 24,0 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**; (bez raspucavanja 0,45 mm)

w_1 = 0,05; w_2 = 0,32; w_3 = 0,26 mm ⟶ w_{max} = 0,63 ≤ L/250 = 24,0 ✓ **ZADOVOLJAVA**; $w_2 + w_3$ = 0,58 ≤ L/300 = 20,0 ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1990/NA, Tablica A1.5(HR))

raspon 3: f_∞ = 3,69 mm ≤ L/250 = 24,0 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**; (bez raspucavanja 2,55 mm)

w_1 = 3,12; w_2 = 1,12; w_3 = 1,73 mm ⟶ w_{max} = 5,97 ≤ L/250 = 24,0 ✓ **ZADOVOLJAVA**; $w_2 + w_3$ = 2,85 ≤ L/300 = 20,0 ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1990/NA, Tablica A1.5(HR))



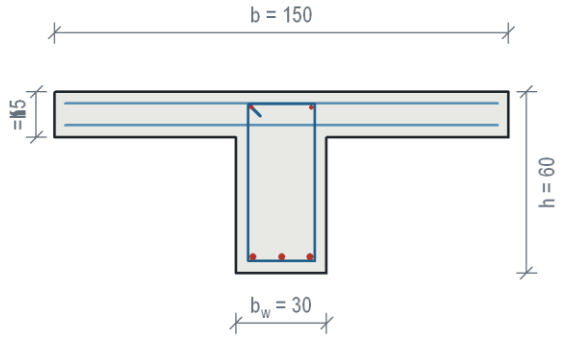
(HRN EN 1992-1-1, 7.4; HRN EN 1990, A1.4.3; progib od skupljanja nije obuhvaćen)

5.1.13 Oblikovanje i nacrti armature

Donja armatura svakog polja (poz. 1 … 3) vodi se cijelim poljem; na krajnjim osloncima savija se vertikalno prema gore, a nad srednjim osloncima nastavlja se preklopom ≥ l_0 s armaturom susjednog polja. Gornja kontinuirana armatura (poz. 4, 5) vodi se cijelom duljinom grede s vertikalnim krakovima na krajevima. Nad srednjim osloncima dodana je gornja armatura prema anvelopi momenata, raspoređena i po proračunskoj širini vlačne pojasnice (9.2.1.2(2)). Spone su zatvorene, s kukama 135° i produljenjem $10 \cdot Ø_w$ = 100 mm (8.5).

5.1.13.1 9.1 Poprečni presjeci

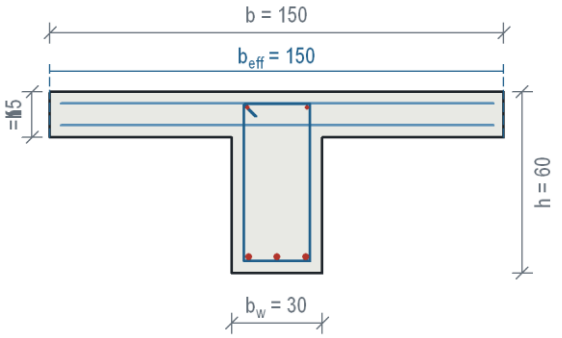
Presjek na početku grede (oslonac A)



1 3Ø20 (dolje)
4 2Ø12 (gore)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

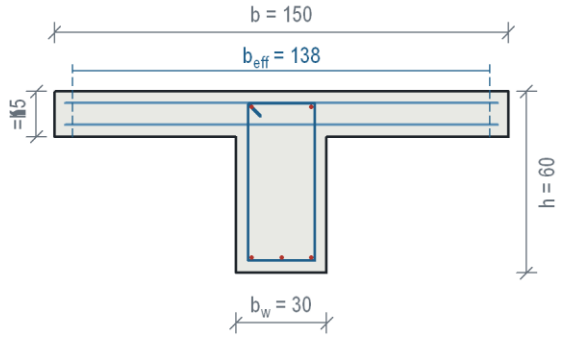
krajevi šipki savijeni vertikalno (sidrenje)

Presjek u polju 1



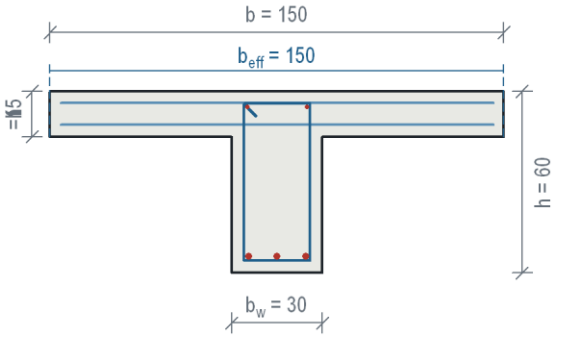
1 3Ø20 (dolje)
4 2Ø12 (gore)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

Presjek u polju 2



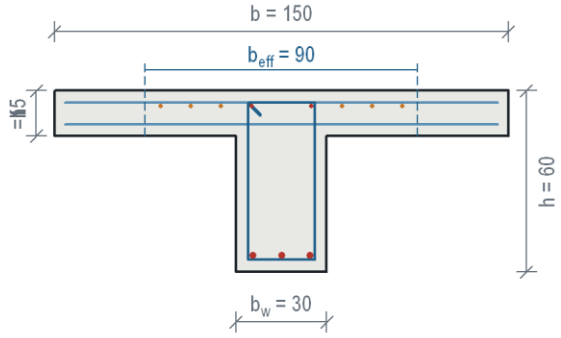
2 3Ø12 (dolje)
4 2Ø12 (gore)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

Presjek u polju 3



3 3Ø20 (dolje)
5 2Ø12 (gore)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

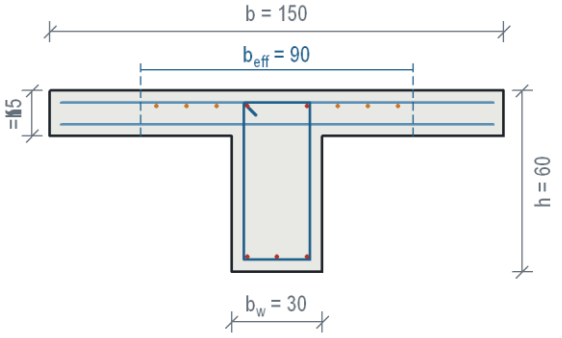
Presjek nad osloncem B



1 3Ø20 (dolje)
4 2Ø12 (gore)
6 +6Ø12 (6 u pojasnici)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

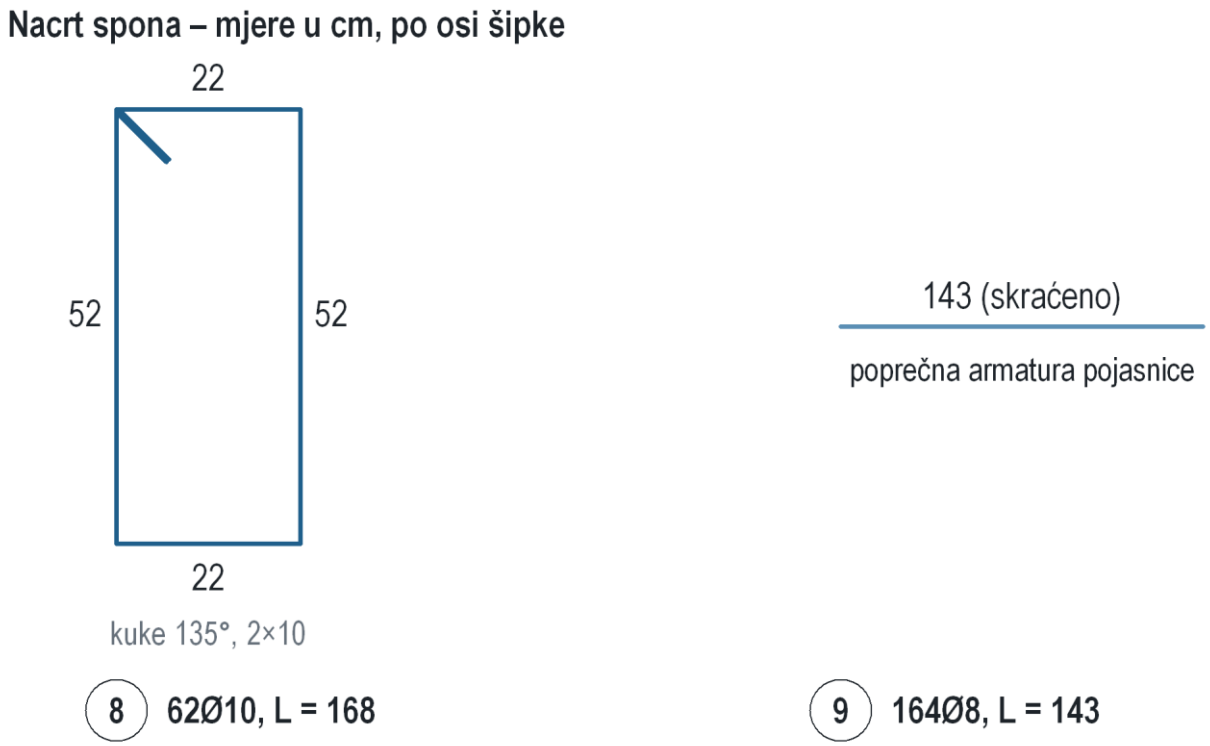
donja: poz. 1 i 2 u preklopu l_0 = 110 cm

Presjek nad osloncem C

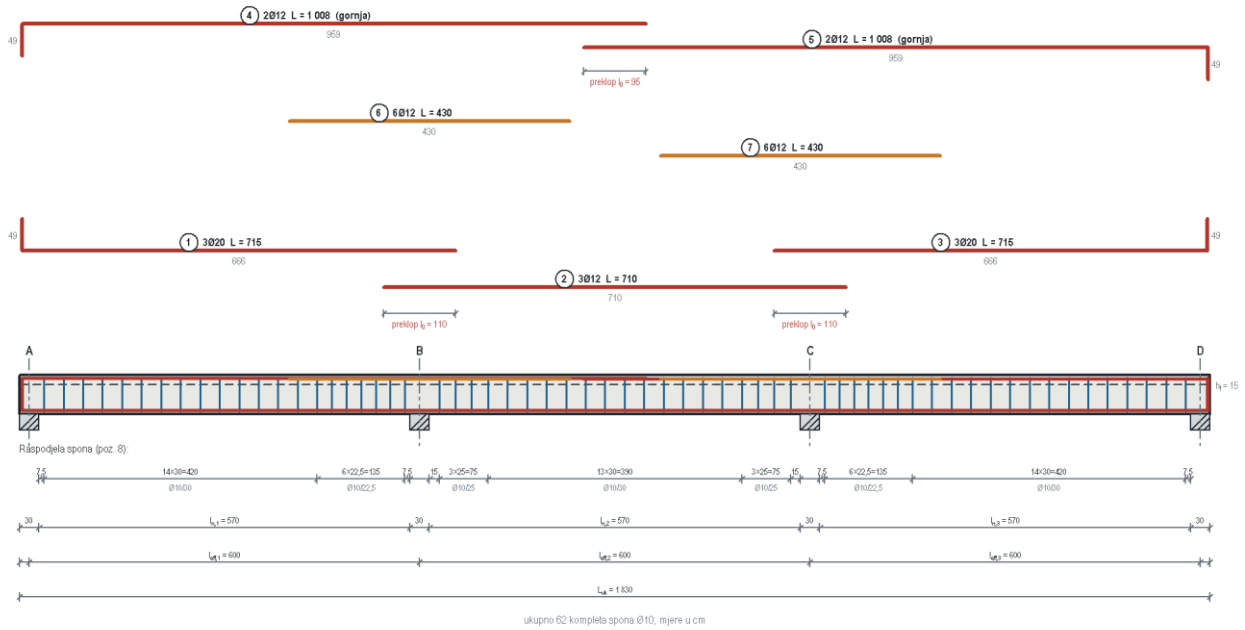


2 3Ø12 (dolje)
5 2Ø12 (gore)
7 +6Ø12 (6 u pojasnici)
8 spone Ø10
9 Ø8/22,5 (2 reda, pojasnica)

donja: poz. 2 i 3 u preklopu l_0 = 110 cm



5.1.13.2 9.2 Uzdužni presjek



5.1.13.3 9.3 Iskaz armature B500B

Poz.	Opis	Ø [mm]	kom	L [m]	ΣL [m]	kg/m	masa [kg]
1	donja, polje 1: 49|666 cm	20	3	7,15	21,45	2,466	52,9
2	donja, polje 2: 710 cm	12	3	7,10	21,30	0,888	18,9
3	donja, polje 3: 666|49 cm	20	3	7,15	21,45	2,466	52,9
4	gornja kontinuirana (dio 1/2): 49|959 cm	12	2	10,08	20,16	0,888	17,9
5	gornja kontinuirana (dio 2/2): 959|49 cm	12	2	10,08	20,16	0,888	17,9
6	gornja dodatna nad osloncem B: 430 cm	12	6	4,30	25,80	0,888	22,9
7	gornja dodatna nad osloncem C: 430 cm	12	6	4,30	25,80	0,888	22,9

8	vanjska spona 22×52 cm, kuke 135° 2×10 cm	10	62	1,68	104,16	0,617	64,2
9	poprečna armatura pojasnice, ravna šipka 143 cm, Ø8/22,5 cm u dva reda (82 + 82 kom)	8	164	1,43	234,52	0,395	92,5
Ukupno							**363,1**

(Duljine spona po osi šipke s produljenjima kuka 2·10·$Ø_w$; duljine dijelova šipki zaokružene na cijeli centimetar)

5.1.14 Sažetak provjera

Provjera	Rezultat
Uzdužna armatura ($A_{s,min}$, $A_{s,max}$, razmaci)	✓ ZADOVOLJAVA
Nosivost na savijanje i duktilnost	✓ ZADOVOLJAVA
Poprečne sile i spone	✓ ZADOVOLJAVA
Posmik hrbat–pojasnica	✓ ZADOVOLJAVA
Pokrivanje vlačne sile	✓ ZADOVOLJAVA
Sidrenje (vertikalni krakovi) i preklop donje armature nad osloncima	✓ ZADOVOLJAVA
Duljina šipki ≤ 12 m	✓ ZADOVOLJAVA
Širina pukotina	✓ ZADOVOLJAVA
Progib (l/d, L/250, HRN EN 1990/NA)	✓ ZADOVOLJAVA

SVE PROVJERE ZADOVOLJAVAJU.

5.1.15 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCContinuousBeam

RCPrestressedBeam
EN 1992-1-1

6 Program RCPrestressedBeam

Prednapeta greda T presjeka

Program	RCPrestressedBeam 1.1
Projekt	Hala – primjer
Nosač	Glavni krovni nosač T presjeka
Datum	15.11.2026.
Način prednapinjanja	naknadno napinjanje (kabeli s injektiranjem)
Propis	HRN EN 1990, HRN EN 1992-1-1 (EN 1992-1-1:2004+A1:2014)
Ukupni rezultat	Sve provedene provjere zadovoljavaju.

Napomene o primjeni

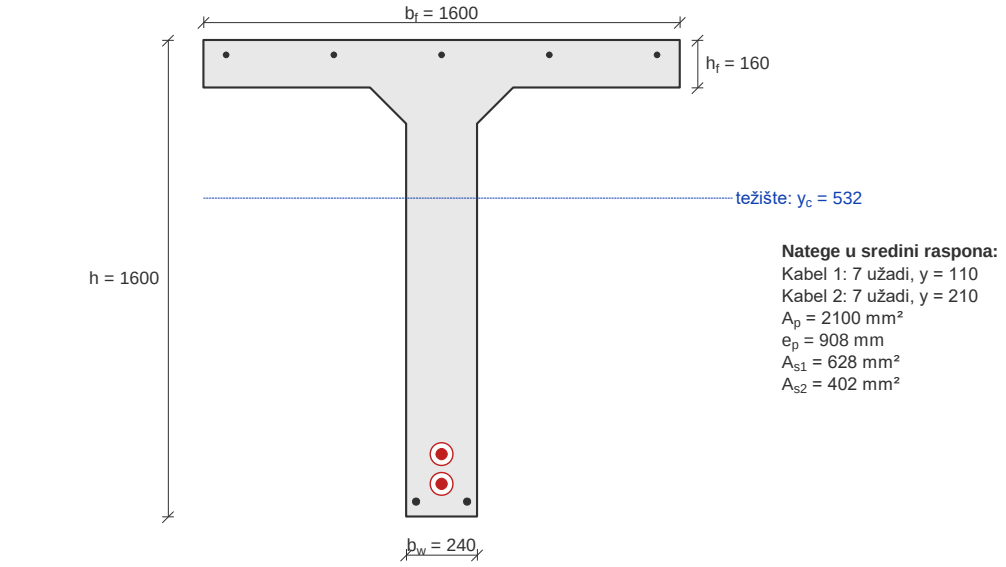
Vrijednosti koje nacionalni dodatak može mijenjati (α_{cc}, α_{ct}, γ_c, γ_s, k_6, r_{sup}, r_{inf}, ψ_i) zadaje korisnik i treba ih provjeriti prema važećem HRN EN 1992-1-1/NA.

Proračun ne obuhvaća: lokalno unošenje sile i armaturu zone sidrenja, stanja transporta i montaže, detaljnu bočnu stabilnost (provjerava se samo kriterij 5.9(3)), minimalnu armaturu za ograničenje pukotina (7.3.2), dokaz prema 6.2.2(6), požar, zamor ni potres. Rezultate mora provjeriti ovlašteni inženjer.

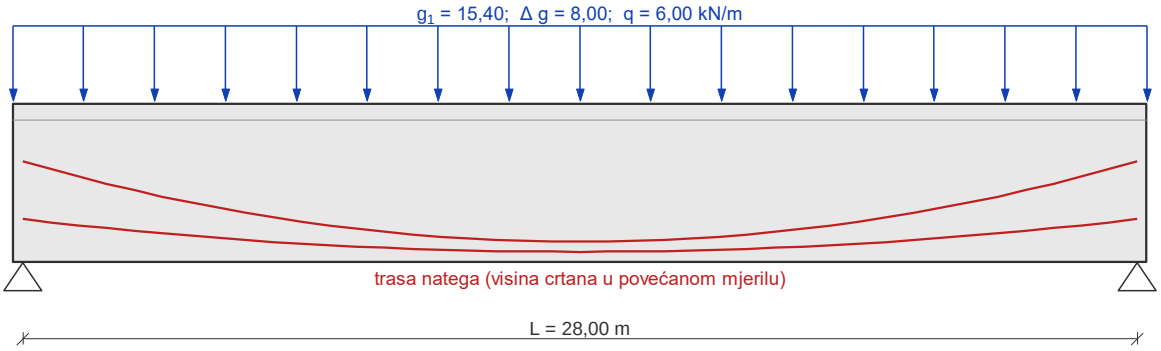
6.1 Ulazni podaci

6.1.1 1.1 Geometrija i statički sustav

Nosač je prosta greda T presjeka. Koordinata x mjeri se od lijevog ležaja, a položaj natega y od donjeg ruba presjeka.



Slika 1. Poprečni presjek u sredini raspona



Slika 2. Uzdužni presjek, trasa natega i opterećenje

Tablica 1. Geometrija

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Širina pojasa b_f	1600	mm
Debljina pojasa h_f	160	mm
Širina hrpta b_w	240	mm
Ukupna visina h	1600	mm
Visina vute h_v	120	mm
Širina vute b_v (sa svake strane)	120	mm
Raspon L	28,00	m
Prepust iza osi ležaja a	0,25	m

6.1.2 1.2 Materijali

Tablica 2. Materijali i koeficijenti

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Karakteristična tlačna čvrstoća betona f_{ck}	45	MPa
Razred cementa	R	-
Starost betona pri unosu sile t_0	14,0	dana
Relativna vlažnost RH	70	%
Natege: f_{pk}	1860	MPa
Natege: $f_{p0,1k}$	1640	MPa
Natege: E_p	195000	MPa
Površina jednog užeta A_{p1}	150	mm^2
Razred relaksacije / ρ_{1000}	2 / 2,5	- / %
Meka armatura f_{yk} / E_s	500 / 200000	MPa
Vlačna armatura A_{s1} na y_{s1}	628 / 50	mm^2 / mm
Tlačna armatura A_{s2} na y_{s2} od vrha	402 / 50	mm^2 / mm
Parcijalni koeficijenti γ_c / γ_s	1,50 / 1,15	-
α_{cc} / α_{ct}	1,00 / 1,00	-
r_{sup} / r_{inf}	1,10 / 0,90	-

6.1.3 1.3 Natege

Tablica 3. Raspored natega

Kabel	Broj užadi	y u sredini [mm]	y na kraju nosača [mm]
1	7	110	450
2	7	210	1050

$$A_p = \sum_i n_i \cdot A_{p1} = 2100\ mm^2$$

6.2 Svojstva materijala

6.2.1 2.1 Beton u dobi od 28 dana (tablica 3.1)

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 45{,}0 + 8 = 53{,}0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0{,}30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0{,}30 \cdot 45{,}0^{2/3} = 3{,}80\ MPa$$

$$f_{ctk,0,05} = 0{,}7 \cdot f_{ctm} = 0{,}7 \cdot 3{,}80 = 2{,}66\ MPa$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \cdot \left(\frac{53{,}0}{10}\right)^{0,3} = 36283\ MPa$$

6.2.2 2.2 Računske čvrstoće

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1{,}00 \cdot 45{,}0}{1{,}50} = 30{,}00\ MPa$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1{,}00 \cdot 2{,}66}{1{,}50} = 1{,}77\ MPa$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8\ MPa$$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,1 \text{ MPa}$$

6.2.3 2.3 Beton pri unosu sile prednapinjanja (3.1.2)

$$\beta_{cc}(t_0) = \exp\left[s \cdot \left(1\text{-}\sqrt{\frac{28}{t_0}}\right)\right] = \exp\left[0,20 \cdot \left(1\text{-}\sqrt{\frac{28}{14,0}}\right)\right] = 0,920$$

$$f_{cm}(t_0) = \beta_{cc} \cdot f_{cm} = 0,920 \cdot 53,0 = 48,79 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(t_0) = 40,79 \text{ MPa}, \quad f_{ctm}(t_0) = 3,49 \text{ MPa}$$

$$E_{cm}(t_0) = E_{cm} \cdot \left(\frac{f_{cm}(t_0)}{f_{cm}}\right)^{0,3} = 35393 \text{ MPa}$$

6.3 Geometrijske karakteristike presjeka

6.3.1 3.1 Sudjelujuća širina pojasa (5.3.2.1)

$$b_{eff,1} = \min(0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0;\quad 0,2 \cdot l_0;\quad b_1) = 680 \text{ mm}, \quad l_0 = L$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{eff,1} + b_w = 1600 \text{ mm}$$

6.3.2 3.2 Bruto presjek

Presjek je podijeljen u slojeve (pravokutnici i trapez). Za svaki sloj računaju se površina i moment tromosti integracijom širine $b(y)$ po visini:

$$A_c = \int_0^h b(y)\,dy, \qquad y_c = \frac{1}{A_c}\int_0^h b(y) \cdot y\,dy, \qquad I_c = \int_0^h b(y) \cdot y^2\,dy - A_c \cdot y_c^2$$

Tablica 4. Slojevi presjeka (y od gornjeg ruba)

Sloj	b_{gore} **/** b_{dolje} **[mm]**	y_1 **/** y_2 **[mm]**	A_i [mm^2]	y_i **[mm]**
1	1600 / 1600	0 / 160	256000	80,0
2	480 / 240	160 / 280	43200	213,3
3	240 / 240	280 / 1600	316800	940,0

$$A_c = 616000 \text{ mm}^2, \quad y_c = 531,6 \text{ mm}, \quad I_c = 1,5602 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$W_g = \frac{I_c}{y_c} = 2,9347 \cdot 10^8 \text{ mm}^3, \quad W_d = \frac{I_c}{h\text{-}y_c} = 1,4604 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

Stvarna površina presjeka (za vlastitu težinu) i srednja debljina:

$$A_{c,st} = 616000 \text{ mm}^2, \quad u = 6259 \text{ mm}, \quad h_0 = \frac{2 \cdot A_{c,st}}{u} = 196,8 \text{ mm}$$

6.3.3 3.3 Neto i idealni presjek

Do injektiranja djeluje neto presjek (odbijeni otvori kabela, promjer 75 mm). Nakon injektiranja dodatna opterećenja djeluju na idealni presjek.

$$\alpha_p = \frac{E_p}{E_{cm}} = 5,37, \quad \alpha_s = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5,51$$

Tablica 5. Karakteristike presjeka uzduž nosača

x [m]	A_n [cm^2]	y_n **[mm]**	I_n [mm^4]	A_i [cm^2]	y_i **[mm]**	I_i [mm^4]
0,00	6072	526,7	$1,542 \cdot 10^{11}$	6231	536,2	$1,599 \cdot 10^{11}$
7,00	6072	520,5	$1,507 \cdot 10^{11}$	6231	537,9	$1,608 \cdot 10^{11}$
14,00	6072	518,4	$1,486 \cdot 10^{11}$	6231	538,4	$1,614 \cdot 10^{11}$

x [m]	A_n [cm^2]	y_n [mm]	I_n [mm^4]	A_i [cm^2]	y_i [mm]	I_i [mm^4]
21,00	6072	520,5	$1{,}507 \cdot 10^{11}$	6231	537,9	$1{,}608 \cdot 10^{11}$
28,00	6072	526,7	$1{,}542 \cdot 10^{11}$	6231	536,2	$1{,}599 \cdot 10^{11}$

6.4 Opterećenja i rezne sile

6.4.1 4.1 Karakteristična opterećenja

$g_1 = \gamma_b \cdot A_{c,st} = 25{,}0 \cdot 0{,}6160 = 15{,}40\ \text{kN/m}$

$\Delta g = 8{,}00\ \text{kN/m}, \quad q_k = 6{,}00\ \text{kN/m}, \quad \psi_0 = 0{,}50, \quad \psi_1 = 0{,}20, \quad \psi_2 = 0{,}00$

6.4.2 4.2 Rezne sile proste grede

$$M_q(x) = \frac{q \cdot x \cdot (L\text{-}x)}{2}, \qquad V_q(x) = q \cdot \left(\frac{L}{2}\text{-}x\right)$$

$$M_F(x) = \frac{F \cdot (L\text{-}a) \cdot x}{L} \quad (x < a), \qquad M_F(x) = \frac{F \cdot (L\text{-}a) \cdot x}{L} - F \cdot (x\text{-}a) \quad (x \geq a)$$

6.4.3 4.3 Kombinacije djelovanja

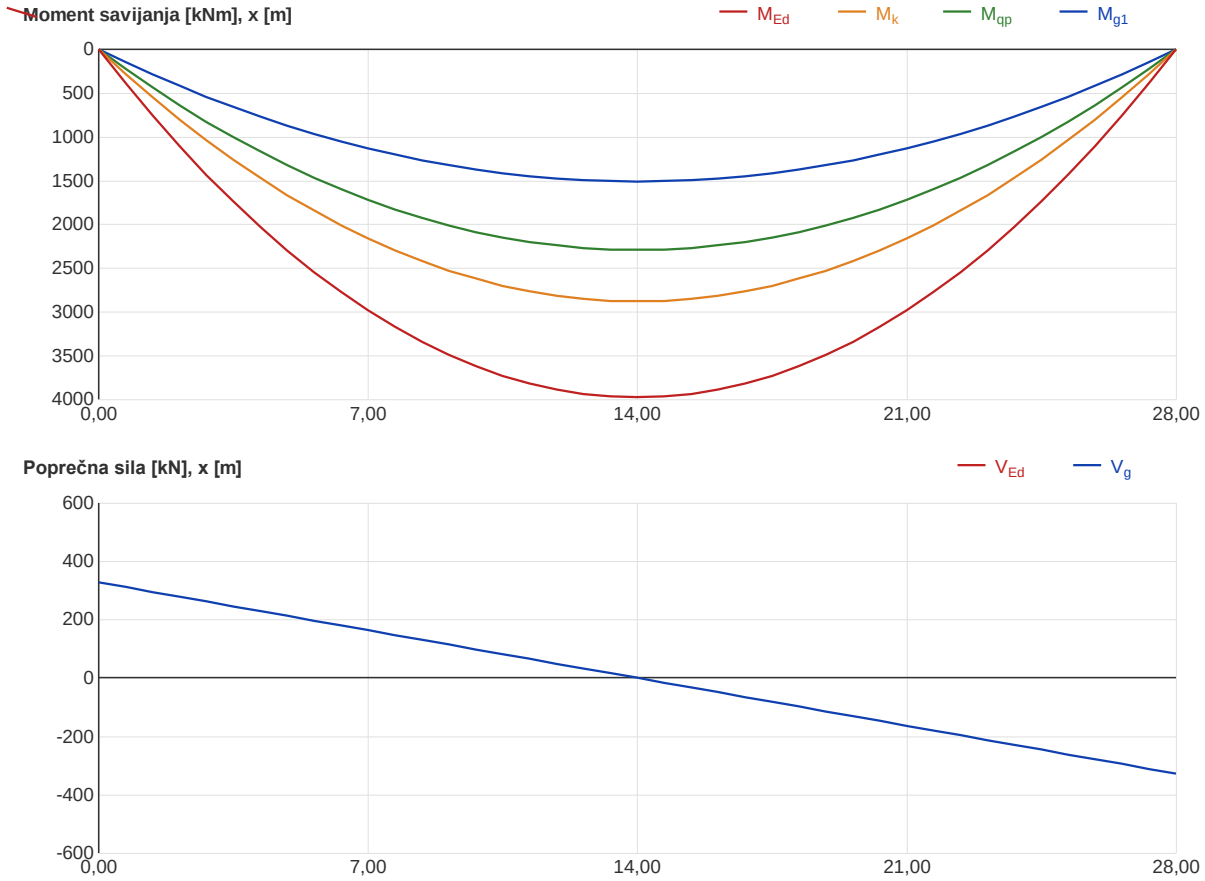
$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_G + \gamma_Q \cdot M_Q, \qquad \gamma_G = 1{,}35, \quad \gamma_Q = 1{,}50$

$M_k = M_G + M_Q, \qquad M_f = M_G + \psi_1 \cdot M_Q, \qquad M_{qp} = M_G + \psi_2 \cdot M_Q$

Kritični presjek za savijanje je na x = 14,00 m:

$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot 2293{,}2 + 1{,}50 \cdot 588{,}0 = 3977{,}8\ \text{kNm}$

$M_k = 2881{,}2\ \text{kNm}, \quad M_f = 2410{,}8\ \text{kNm}, \quad M_{qp} = 2293{,}2\ \text{kNm}$



Slika 3. Dijagrami momenata savijanja i poprečnih sila

Tablica 6. Rezne sile uzduž nosača

x [m]	M_{g1} [kNm]	M_{qp} [kNm]	M_f [kNm]	M_k [kNm]	M_{Ed} [kNm]	V_{Ed} [kN]
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	568,3
2,80	543,3	825,6	867,9	1037,2	1432,0	454,6
5,60	965,9	1467,6	1542,9	1844,0	2545,8	341,0
8,40	1267,7	1926,3	2025,1	2420,2	3341,4	227,3
11,20	1448,8	2201,5	2314,4	2766,0	3818,7	113,7
14,00	1509,2	2293,2	2410,8	2881,2	3977,8	0,0
16,80	1448,8	2201,5	2314,4	2766,0	3818,7	-113,7
19,60	1267,7	1926,3	2025,1	2420,2	3341,4	-227,3
22,40	965,9	1467,6	1542,9	1844,0	2545,8	-341,0
25,20	543,3	825,6	867,9	1037,2	1432,0	-454,6
28,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-568,3

6.5 Puzanje i skupljanje betona

6.5.1 5.1 Koeficijent puzanja (dodatak B)

$$t_{0,adj} = t_0 \cdot \left(\frac{9}{2 + t_0^{1,2}} + 1\right)^{\alpha} = 18{,}90 \text{ dana}$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = 0{,}748, \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = 0{,}920, \quad \alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} = 0{,}813$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1\text{-}RH/100}{0{,}1 \cdot h_0^{1/3}} \cdot \alpha_1\right] \cdot \alpha_2 = \left[1 + \frac{1\text{-}70/100}{0{,}1 \cdot 196{,}8^{1/3}} \cdot 0{,}748\right] \cdot 0{,}920 = 1{,}275$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16{,}8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2{,}308, \qquad \beta(t_0) = \frac{1}{0{,}1 + t_{0,adj}^{0,2}} = 0{,}526$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1{,}275 \cdot 2{,}308 \cdot 0{,}526 = 1{,}549$$

$$\beta_H = 1{,}5 \cdot [1 + (0{,}012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 = 511 \qquad (\leq 1500 \cdot \alpha_3)$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left(\frac{t\text{-}t_0}{\beta_H + t\text{-}t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{36486}{511 + 36486}\right)^{0,3} = 0{,}996$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 1{,}549 \cdot 0{,}996 = 1{,}543$$

6.5.2 5.2 Skupljanje (3.1.4 i dodatak B.2)

$$\beta_{RH} = 1{,}55 \cdot \left[1\text{-}\left(\frac{RH}{100}\right)^3\right] = 1{,}018$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(\text{-}\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10}\right)\right] \cdot 10^{\text{-}6} \cdot \beta_{RH} = 4{,}252 \cdot 10^{\text{-}4}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t\text{-}t_s}{(t\text{-}t_s) + 0{,}04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = 0{,}997, \quad k_h = 0{,}855$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 3{,}624 \cdot 10^{\text{-}4}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \cdot (f_{ck}\text{-}10) \cdot 10^{\text{-}6} = 8{,}750 \cdot 10^{\text{-}5}, \quad \beta_{as}(t) = 1\text{-}\exp(\text{-}0{,}2 \cdot \sqrt{t}) = 1{,}000$$

$$\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cd} + \beta_{as} \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 4{,}499 \cdot 10^{\text{-}4}$$

Skupljanje nakon unosa sile (vrijednost ostvarena do t_0 se oduzima):

$$\Delta\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cs}(t)\text{-}\varepsilon_{cs}(t_0) = 4{,}499 \cdot 10^{\text{-}4}\text{-}7{,}902 \cdot 10^{\text{-}5} = 3{,}708 \cdot 10^{\text{-}4}$$

6.6 Sila prednapinjanja i gubici

6.6.1 6.1 Početna sila (5.10.2.1)

$$\sigma_{p,max} = \min\left(0{,}80 \cdot f_{pk};\quad 0{,}90 \cdot f_{p0,1k}\right) = \min(1488;\quad 1476) = 1476\ \text{MPa}$$

$$P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p0} = 2100 \cdot 1430{,}0 = 3003{,}0\ \text{kN}$$

6.6.2 6.2 Trasa natega

Trasa rezultante je parabola po duljini nosača L_u = 28500 mm, sa strijelom f = 590,0 mm (s je udaljenost od lijevog kraja nosača):

$$y(s) = y_k + (y_s\text{-}y_k) \cdot \frac{4 \cdot s \cdot (L_u\text{-}s)}{L_u^2}, \qquad \theta(s) = \frac{8 \cdot f \cdot s}{L_u^2}$$

$$\theta_{sred} = \frac{4 \cdot f}{L_u} = 0{,}0828\ \text{rad}$$

6.6.3 6.3 Gubici od trenja (5.10.5.2)

$$P_\mu(s) = P_{max} \cdot e^{-\mu \cdot (\theta + k \cdot s)} = P_{max} \cdot e^{-c \cdot s}$$

$$c = \mu \cdot \left(\frac{8 \cdot f}{L_u^2} + k\right) = 0{,}190 \cdot \left(\frac{8 \cdot 590{,}0}{28500^2} + \frac{0{,}0050}{1000}\right) = 2{,}0541 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{mm}$$

Napinjanje se provodi s lijevog kraja.

6.6.4 6.4 Gubici od uvlačenja klina

Duljina utjecaja l_s određuje se iz uvjeta da je površina između krivulje sile prije i poslije uvlačenja jednaka umnošku uvlačenja i krutosti:

$$\int_0^{l_s} 2 \cdot \left[P_\mu(s)\text{-}P_\mu(l_s)\right] ds = \Delta_s \cdot E_p \cdot A_p$$

$$\Delta_s \cdot E_p \cdot A_p = 6{,}0 \cdot 195000 \cdot 2100 = 2{,}4570 \cdot 10^9\ \text{Nmm}$$

$$l_s \approx \sqrt{\frac{\Delta_s \cdot E_p \cdot A_p}{P_{max} \cdot c}} = 19958\ \text{mm – približno}, \qquad l_s = 20236\ \text{mm – točno rješenje}$$

6.6.5 6.5 Elastično skraćenje betona (5.10.5.1)

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot j \cdot \frac{\Delta\sigma_c}{E_{cm}(t_0)}, \qquad j = \frac{n\text{-}1}{2 \cdot n} = 0{,}250, \qquad n = 2$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{P}{A_n} + \frac{P \cdot e_n^2}{I_n} - \frac{M_{g1} \cdot e_n}{I_n}$$

$$P_{m0} = P\text{-}\Delta P_{el} = 2845{,}1\text{-}33{,}5 = 2811{,}6\ \text{kN} \qquad (x = 14{,}00\ \text{m})$$

6.6.6 Vremenski ovisni gubici (5.10.6)

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \cdot \frac{\Delta\varepsilon_{cs} \cdot E_p + 0{,}8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \alpha_p \cdot \varphi \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \alpha_p \cdot \frac{A_p}{A_n} \cdot \left(1 + \frac{A_n}{I_n} \cdot z_{cp}^2\right) \cdot (1 + 0{,}8 \cdot \varphi)}$$

Vrijednosti u kritičnom presjeku (x = 14,00 m):

$$z_{cp} = 921{,}6\ \text{mm}, \quad A_n = 607164\ \text{mm}^2, \quad I_n = 1{,}4860 \cdot 10^{11}\ \text{mm}^4$$

$$\sigma_{c,QP} = \frac{P_{m0}}{A_n} + \frac{P_{m0} \cdot z_{cp}^2}{I_n} - \frac{M_{g1} \cdot z_{cp}}{I_n} - \frac{(M_{qp}\text{-}M_{g1}) \cdot z_i}{I_i} = 6{,}96\ \text{MPa – tlak}$$

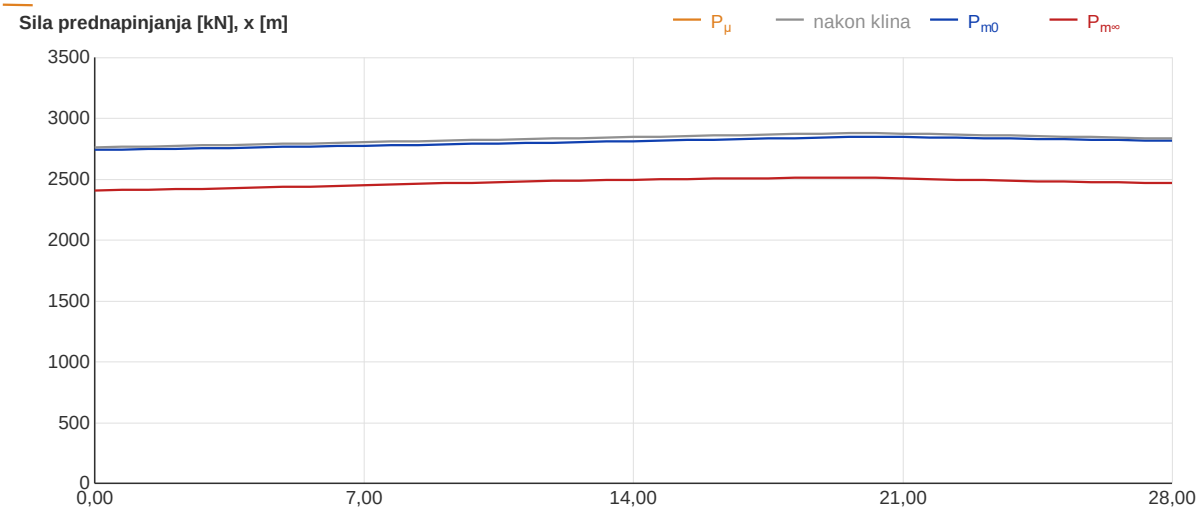
$$\sigma_{p,QP} = \frac{P_{m0}}{A_p} + \alpha_p \cdot \frac{(M_{qp}\text{-}M_{g1}) \cdot z_i}{I_i} = 1362{,}4\ \text{MPa}, \qquad \mu = \frac{\sigma_{p,QP}}{f_{pk}} = 0{,}732$$

Gubitak od relaksacije prema izrazima (3.28)-(3.30), za t = 500 000 h:

$$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{p,QP} \cdot 0{,}66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9{,}1\cdot\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0{,}75\cdot(1-\mu)} \cdot 10^{-5} = 61{,}4 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{c+s+r} = 2100 \cdot \frac{179{,}1}{1{,}186} = 317{,}3 \text{ kN}$$

$$P_{m\infty} = P_{m0} - \Delta P_{c+s+r} = 2811{,}6 - 317{,}3 = 2494{,}3 \text{ kN}$$



Slika 4. Sila prednapinjanja uzduž nosača

Tablica 7. Sila prednapinjanja uzduž nosača [kN]

x [m]	P_μ	P	ΔP_{el}	P_{m0}	ΔP_{c+s+r}	$P_{m\infty}$
0,00	3001,5	2760,0	19,3	2740,7	332,9	2407,8
2,80	2984,2	2777,2	23,6	2753,7	334,2	2419,4
5,60	2967,1	2794,3	27,3	2767,0	327,6	2439,4
8,40	2950,1	2811,4	30,4	2781,0	320,3	2460,7
11,20	2933,2	2828,3	32,5	2795,7	316,2	2479,6
14,00	2916,4	2845,1	33,5	2811,6	317,3	2494,3
16,80	2899,6	2861,8	33,2	2828,6	323,9	2504,7
19,60	2883,0	2878,5	31,6	2846,8	335,1	2511,8
22,40	2866,5	2866,5	28,4	2838,1	342,4	2495,7
25,20	2850,0	2850,0	24,3	2825,7	347,7	2478,0
28,00	2833,7	2833,7	19,8	2813,9	345,2	2468,7

6.7 Naprezanja u betonu (granično stanje uporabljivosti)

6.7.1 7.1 Izraz za naprezanje

Sila prednapinjanja i moment od vlastite težine djeluju na neto presjek, a dodatni momenti na idealni presjek. Vlak je pozitivan, tlak negativan, a y se mjeri od gornjeg ruba.

$$\sigma(y) = -\frac{r \cdot P}{A_n} - \frac{r \cdot P \cdot e_n \cdot (y - y_n)}{I_n} + \frac{M_{g1} \cdot (y - y_n)}{I_n} + \frac{\Delta M \cdot (y - y_i)}{I_i}$$

Računa se s obje karakteristične vrijednosti sile (5.10.9): $P_{k,sup} = r_{sup} \cdot P_m$ i $P_{k,inf} = r_{inf} \cdot P_m$, a mjerodavna je nepovoljnija.

6.7.2 7.2 Naprezanja u kritičnom presjeku

Presjek x = 14,00 m. Primjer uvrštavanja za gornji rub ($y - y_n = -y_n$), a za donji rub vrijedi isti izraz uz $y = h$:

Unos sile, r_{sup} = 1,10

$$\sigma_g = -\frac{3093 \cdot 10^3}{607164} - \frac{3093 \cdot 10^3 \cdot 921{,}6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{1509{,}2 \cdot 10^6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{0{,}0 \cdot 10^6 \cdot (-538{,}4)}{1{,}6138 \cdot 10^{11}} = -0{,}42 \text{ MPa}$$

$\sigma_d = -14{,}85$ MPa

Karakteristična kombinacija, r_{inf} = 0,90

$$\sigma_g = -\frac{2245 \cdot 10^3}{607164} - \frac{2245 \cdot 10^3 \cdot 921{,}6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{1509{,}2 \cdot 10^6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{1372{,}0 \cdot 10^6 \cdot (-538{,}4)}{1{,}6138 \cdot 10^{11}} = -6{,}32 \text{ MPa}$$

$\sigma_d = 1{,}25$ MPa

Česta kombinacija, r_{inf} = 0,90

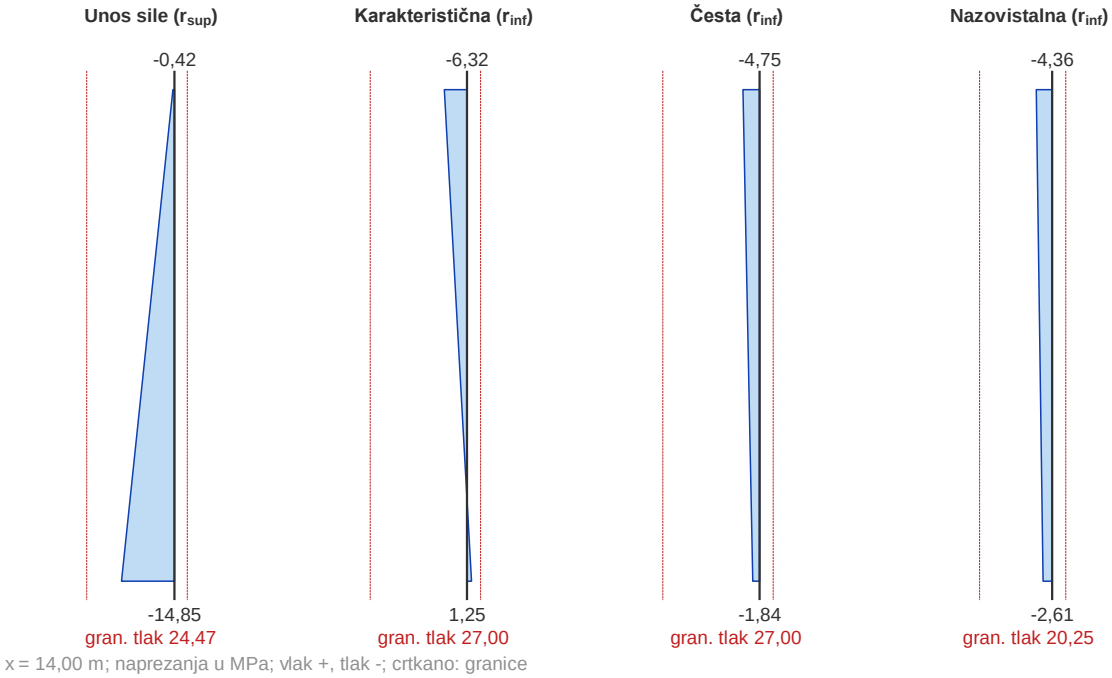
$$\sigma_g = -\frac{2245 \cdot 10^3}{607164} - \frac{2245 \cdot 10^3 \cdot 921{,}6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{1509{,}2 \cdot 10^6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{901{,}6 \cdot 10^6 \cdot (-538{,}4)}{1{,}6138 \cdot 10^{11}} = -4{,}75 \text{ MPa}$$

$\sigma_d = -1{,}84$ MPa

Nazovistalna kombinacija, r_{inf} = 0,90

$$\sigma_g = -\frac{2245 \cdot 10^3}{607164} - \frac{2245 \cdot 10^3 \cdot 921{,}6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{1509{,}2 \cdot 10^6 \cdot (-518{,}4)}{1{,}4860 \cdot 10^{11}} + \frac{784{,}0 \cdot 10^6 \cdot (-538{,}4)}{1{,}6138 \cdot 10^{11}} = -4{,}36 \text{ MPa}$$

$\sigma_d = -2{,}61$ MPa



Slika 5. Dijagrami naprezanja u kritičnom presjeku

6.7.3 7.3 Granične vrijednosti

$\sigma_c(t_0) \le k_6 \cdot f_{ck}(t_0) = 0{,}60 \cdot 40{,}79 = 24{,}47$ MPa, $\quad \sigma_{ct}(t_0) \le f_{ctm}(t_0) = 3{,}49$ MPa

$\sigma_{c,k} \le 0{,}6 \cdot f_{ck} = 27{,}00$ MPa, $\quad \sigma_{c,qp} \le 0{,}45 \cdot f_{ck} = 20{,}25$ MPa

$$\sigma_{p,k} = \frac{P_{m\infty}}{A_p} + \alpha_p \cdot \frac{(M_k\text{-}M_{g1}) \cdot z_i}{I_i} = 1231{,}4\ \text{MPa} \le 0{,}75 \cdot f_{pk} = 1395{,}0\ \text{MPa}$$

Tablica 8. Naprezanja uzduž nosača [MPa], gornji / donji rub

x [m]	Unos sile (r_{sup})	Karakt. (r_{inf})	Česta (r_{inf})	Nazovistalna (r_{inf})
0,00	-1,43 / -12,18	-1,02 / -8,75	-1,02 / -8,75	-1,02 / -8,75
2,80	-1,13 / -12,92	-2,99 / -4,94	-2,42 / -6,06	-2,28 / -6,34
5,60	-0,86 / -13,60	-4,49 / -2,09	-3,48 / -4,08	-3,23 / -4,58
8,40	-0,64 / -14,18	-5,53 / -0,14	-4,21 / -2,75	-3,88 / -3,40
11,20	-0,49 / -14,60	-6,13 / 0,96	-4,63 / -2,02	-4,25 / -2,76
14,00	-0,42 / -14,85	-6,32 / 1,25	-4,75 / -1,84	-4,36 / -2,61
16,80	-0,43 / -14,90	-6,10 / 0,77	-4,59 / -2,20	-4,22 / -2,94
19,60	-0,55 / -14,73	-5,47 / -0,49	-4,15 / -3,10	-3,82 / -3,75
22,40	-0,80 / -14,13	-4,45 / -2,43	-3,44 / -4,42	-3,19 / -4,92
25,20	-1,11 / -13,36	-2,98 / -5,23	-2,41 / -6,35	-2,27 / -6,64
28,00	-1,46 / -12,50	-1,05 / -8,97	-1,05 / -8,97	-1,05 / -8,97

6.8 Granično stanje nosivosti – savijanje (6.1)

Primijenjen je pravokutni dijagram naprezanja betona i ravninski zakon deformacija. Čelik natega i meka armatura imaju bilinearni dijagram s vodoravnom granom. Mjerodavni presjek je x = 14,00 m.

$$\lambda = 0{,}80, \quad \eta = 1{,}00, \quad \varepsilon_{cu3} = 3{,}50‰$$

Početna deformacija natega od sile u beskonačnosti (γ_P = 1,0):

$$\varepsilon_{p0} = \frac{P_{m\infty}}{A_p \cdot E_p} = \frac{2494{,}3 \cdot 10^3}{2100 \cdot 195000} = 6{,}09‰$$

Deformacija i naprezanje na dubini d_i, uz položaj neutralne osi x iz uvjeta ravnoteže:

$$\varepsilon_{pi} = \varepsilon_{p0} + \varepsilon_{cu3} \cdot \frac{d_i\text{-}x}{x}, \qquad \sigma_{pi} = \min\left(E_p \cdot \varepsilon_{pi};\ \ f_{pd}\right)$$

$$\eta \cdot f_{cd} \cdot A_c(\lambda \cdot x) + F_{s2} = \sum_i F_{pi} + F_{s1}$$

$$x = 82{,}2\ \text{mm}, \qquad \lambda \cdot x = 65{,}8\ \text{mm}, \qquad \frac{x}{d_p} = 0{,}057$$

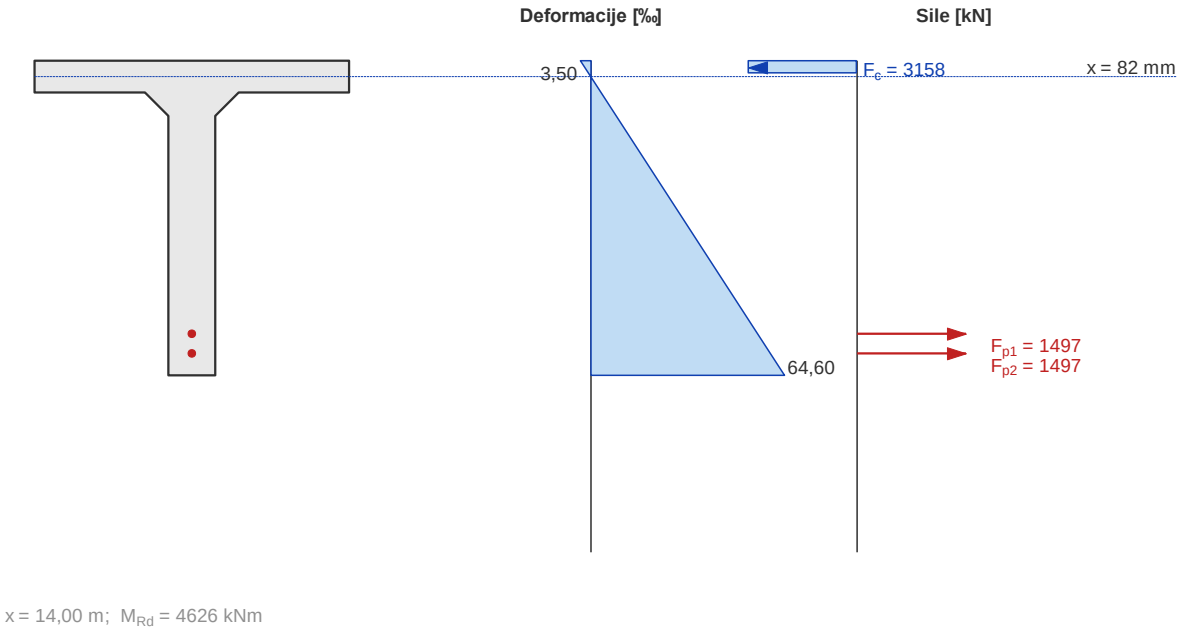
Tablica 9. Sile u presjeku pri slomu

Element	d_i [mm]	ε [‰]	σ [MPa]	Sila [kN]
Beton (tlak), težište na z_c	32,9	-	30,00	-3157,5
Tlačna armatura A_{s2}	50,0	-	-	-110,3
Vlačna armatura A_{s1}	1550,0	62,48	434,8	273,0
Natega 1	1490,0	66,01	1426,1	1497,4
Natega 2	1390,0	61,76	1426,1	1497,4

Moment nosivosti je zbroj momenata svih sila oko gornjeg ruba:

$$M_{Rd} = \sum_i F_{pi} \cdot d_i + F_{s1} \cdot d_{s1}\text{-}F_{s2} \cdot d_{s2}\text{-}F_c \cdot z_c = 4626{,}3\ \text{kNm}$$

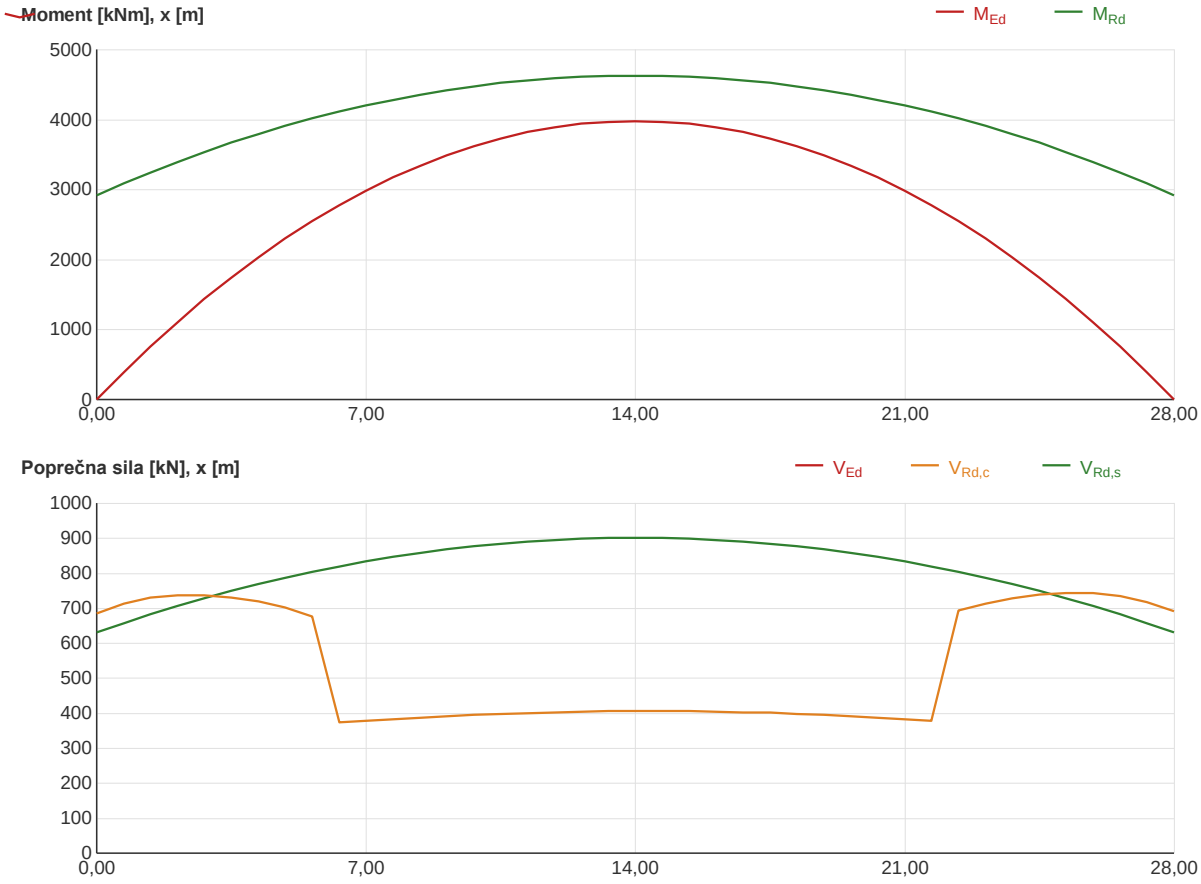
$$M_{Ed} = 3977{,}8\ \text{kNm} \le M_{Rd} = 4626{,}3\ \text{kNm}, \qquad \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0{,}860$$



Slika 6. Stanje deformacija i sile pri slomu

Sprječavanje krtog loma (5.10.1(6), metoda E): pukotine se moraju pojaviti prije sloma. Moment pojave pukotina računa se s gornjom vrijednošću sile:

$$M_{cr} = \left[f_{ctm} + \frac{r_{sup} \cdot P_{m\infty}}{A_n} + \frac{r_{sup} \cdot P_{m\infty} \cdot e_n \cdot y_d}{I_n}\right] \cdot \frac{I_n}{y_d} = 3670{,}9\ \text{kNm}$$



Slika 7. Računske vrijednosti i otpornosti uzduž nosača

6.9 Granično stanje nosivosti – poprečna sila (6.2)

6.9.1 9.1 Mjerodavni presjek

Provjera je provedena u svih 41 presjeka; prikazan je presjek s najvećim iskorištenjem, x = 6,30 m (udaljenost od ležaja najmanje d).

$$d = \frac{A_p \cdot d_p + A_{s1} \cdot d_{s1}}{A_p + A_{s1}} = 1332{,}7 \text{ mm}, \qquad z = 0{,}9 \cdot d = 1199{,}4 \text{ mm}$$

Vertikalna komponenta sile u nagnutom kabelu smanjuje poprečnu silu:

$$V_p = P_{m\infty} \cdot \tan\alpha = 109{,}4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} - V_p = 312{,}5 - 109{,}4 = 203{,}2 \text{ kN}$$

6.9.2 9.2 Nosivost bez poprečne armature

$$\sigma_{cp} = \min\left(\frac{P_{m\infty}}{A_n};\quad 0{,}2 \cdot f_{cd}\right) = 4{,}03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d(M_{Ed}) = 2{,}75 \text{ MPa}, \qquad f_{ctd} = 1{,}77 \text{ MPa}$$

Presjek je raspucao savijanjem, pa se primjenjuju izrazi (6.2a) i (6.2b):

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1{,}387 \le 2, \qquad \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = 0{,}0085 \le 0{,}02$$

$$V_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right] \cdot b_w \cdot d = 372{,}8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = \left(0{,}035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d = 315{,}9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 372{,}8 \text{ kN}$$

6.9.3 9.3 Poprečna armatura

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{n \cdot \pi \cdot \varphi^2/4}{s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^2/4}{200} = 0{,}785 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = 0{,}785 \cdot 1199{,}4 \cdot 434{,}8 \cdot 2{,}00 = 819{,}2 \text{ kN}$$

$$(A_{sw}/s)_{potr} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} = 0{,}195 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = 0{,}0033 \ge \rho_{w,min} = \frac{0{,}08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0{,}0011, \qquad s \le s_{max} = 0{,}75 \cdot d = 1000 \text{ mm}$$

6.9.4 9.4 Tlačne dijagonale

$$b_{w,nom} = 202{,}5 \text{ mm}, \qquad \nu_1 = 0{,}6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}492, \qquad \alpha_{cw} = 1{,}134$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{w,nom} \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = 1626{,}5 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih dijagonala provodi se za poprečnu silu na ležaju, bez redukcije:

$$V_{Ed,0} = 568{,}3 \text{ kN} \le V_{Rd,max} = 1251{,}1 \text{ kN}$$

6.9.5 9.5 Posmik između hrpta i pojasa (6.2.4)

$$\Delta F_d = \frac{\Delta M_{Ed}}{z_f} \cdot \frac{b_{eff} - b_w}{2 \cdot b_{eff}} = 901{,}1 \text{ kN}, \qquad \Delta M_{Ed} = 2983{,}4 \text{ kNm}, \qquad \Delta x = \frac{L}{4} = 7000 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} = 0{,}805 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} \le \nu \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta_f \cdot \cos\theta_f = 7{,}26 \text{ MPa}, \qquad \cot\theta_f = 1{,}20$$

$$A_{sf}/s_f = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot\theta_f} = 247\ mm^2/m$$

6.9.6 9.6 Minimalna uzdužna armatura (9.2.1.1)

$$A_{s,min} = \max\left(0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}};\quad 0{,}0013\right) \cdot b_w \cdot d = 631\ mm^2, \qquad A_{s,prov} = A_{s1} + A_p = 2728\ mm^2$$

6.10 Granično stanje uporabljivosti

6.10.1 10.1 Dekompresija i pukotine (7.3)

Razred izloženosti X0/XC1: w_{max} = 0,20 mm za čestu kombinaciju.

$\sigma_{d,f}$ = -1,83 MPa, $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 3{,}80$ MPa

Vlačno naprezanje u čestoj kombinaciji ne prelazi $f_{ct,eff}$, pa je presjek neraspucan i w_k = 0.

6.10.2 10.2 Progib (7.4)

Progib je dobiven numeričkom integracijom zakrivljenosti metodom jediničnog opterećenja. Pozitivan progib je prema dolje, a negativan označava nadvišenje.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\varphi} = \frac{36283}{1+1{,}543} = 14270\ MPa$$

$$\kappa(t_0) = \frac{M_{g1}\text{-}P_{m0} \cdot e}{E_{cm}(t_0) \cdot I_c}$$

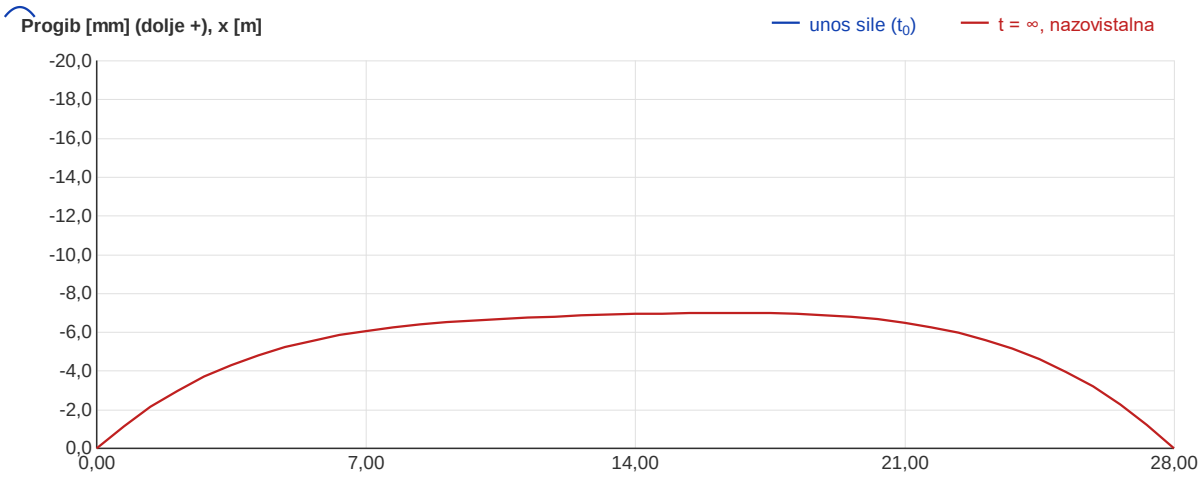
$$\kappa(\infty) = \frac{M_{qp}}{E_{c,eff} \cdot I_c} - \frac{P_{m\infty} \cdot e}{E_{cm} \cdot I_c} - \frac{P_{m0} + P_{m\infty}}{2} \cdot \frac{e \cdot \varphi}{E_{cm} \cdot I_c} + \kappa_{cs}$$

$$\kappa_{cs} = \Delta\varepsilon_{cs} \cdot \frac{E_s}{E_{c,eff}} \cdot \frac{S}{I_c} = 1{,}485 \cdot 10^{-8}\ 1/mm$$

Ako je vlačno naprezanje veće od f_{ctm}, zakrivljenost se interpolira između neraspucanog i raspucanog stanja: $\kappa = \zeta \cdot \kappa_{II} + (1\text{-}\zeta) \cdot \kappa_I$, $\zeta = 1\text{-}0{,}5 \cdot (M_{cr}/M)^2$.

$$w(x_j) = \int_0^L \kappa(x) \cdot m_j(x)\, dx$$

$$w(t_0) = \text{-}18{,}2\ mm, \qquad w(\infty) = \text{-}7{,}0\ mm, \qquad \frac{L}{250} = 112{,}0\ mm$$



Slika 8. Progib nosača

6.11 Zbirna tablica provjera

Provjera	Odredba	Učinak	Granica	Jed.	Isk.	Rezultat
Naprezanje napinjanja	5.10.2.1 (5.41)	1430,00	1476,00	MPa	0,97	zadovoljava
Naprezanje u nategi nakon unosa sile	5.10.3 (5.43)	1356,16	1394,00	MPa	0,97	zadovoljava
Tlak u betonu pri unosu sile	5.10.2.2(5)	14,91	24,47	MPa	0,61	zadovoljava
Vlak u betonu pri unosu sile	7.1(2)	0,00	3,49	MPa	0,00	zadovoljava
Linearno puzanje: tlak u razini natege	3.1.4(4)	11,36	18,35	MPa	0,62	zadovoljava
Tlak u betonu, karakteristična kombinacija	7.2(2)	10,97	27,00	MPa	0,41	zadovoljava
Tlak u betonu, nazovistalna kombinacija	7.2(3)	10,97	20,25	MPa	0,54	zadovoljava
Naprezanje u nategi, karakteristična kombinacija	7.2(5)	1231,38	1395,00	MPa	0,88	zadovoljava
Širina pukotina, česta kombinacija	7.3.4, T.7.1N	0,00	0,20	mm	0,00	zadovoljava
Progib, nazovistalna kombinacija	7.4.1(4)	6,99	112,00	mm	0,06	zadovoljava
Moment savijanja	6.1	3977,82	4626,34	kNm	0,86	zadovoljava
Sprječavanje krtog loma: Mcr <= MRd	5.10.1(6)E	3670,91	4626,34	kNm	0,79	zadovoljava
Poprečna sila, armatura hrpta	6.2.2, 6.2.3	203,15	372,81	kN	0,54	zadovoljava
Poprečna sila, tlačne dijagonale (ležaj)	6.2.3 (6.9)	568,26	1251,06	kN	0,45	zadovoljava
Minimalni koeficijent poprečne armature	9.2.2 (9.5N)	0,11	0,33	%	0,33	zadovoljava
Razmak spona	9.2.2 (9.6N)	200,00	999,53	mm	0,20	zadovoljava
Posmik hrbat-pojas, tlačne dijagonale	6.2.4 (6.22)	0,80	7,26	MPa	0,11	zadovoljava
Posmik hrbat-pojas, poprečna armatura	6.2.4 (6.21)	246,73	393,00	mm^2/m	0,63	zadovoljava
Minimalna uzdužna armatura	9.2.1.1	631,27	2728,00	mm^2	0,23	zadovoljava
Bočna vitkost nosača l0t/b	5.9(3) (5.40a)	17,50	50,00	-	0,35	zadovoljava

Sve provedene provjere zadovoljavaju.

6.11.1 Literatura

HRN EN 1990: Osnove projektiranja konstrukcija.
HRN EN 1992-1-1: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade.

6.11.2 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCSlab
Reinforced concrete slab design · EN 1992-1-1

7 Program RCSlab

STATIČKI PRORAČUN - POZ 101 - Ploča

Armiranobetonska ploča oslonjena na četiri ruba. Proračun prema HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-1 i HRN EN 1992-1-1 (Eurokod 2). Datum: 15.11.2026.

7.1 ULAZNI PODACI

1.1 Geometrija

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Raspon u smjeru x (osni)	Lx	4,50	m
Raspon u smjeru y (osni)	Ly	6,00	m
Debljina ploče	h	18,0	cm
Širina oslonaca (zidova/greda)	t	25,0	cm
Zaštitni sloj betona	cnom	20	mm

1.2 Rubni uvjeti

Rub	Oslanjanje	Susjedno polje
lijevi (x=0)	slobodno oslonjen	-
desni (x=Lx)	slobodno oslonjen	-
donji (y=0)	slobodno oslonjen	-
gornji (y=Ly)	slobodno oslonjen	-

1.3 Materijal

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Beton C25/30, karakteristična čvrstoća	fck	25,0	MPa
Proračunska čvrstoća betona (alfa,cc = 1,00)	fcd	16,67	MPa
Srednja vlačna čvrstoća	fctm	2,56	MPa
Modul elastičnosti betona	Ecm	31476	MPa
Koeficijent puzanja	fi(t,t0)	2,50	-
Armatura B500B, granica popuštanja	fyk	500	MPa
Proračunska granica popuštanja	fyd	434,8	MPa
Modul elastičnosti čelika	Es	200000	MPa

7.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

Opterećenje	Izračun	Vrijednost [kN/m2]
Vlastita težina ploče	25,0 x 0,18	4,50
Dodatno stalno opterećenje	zadano	2,00
Ukupno stalno gk		6,50
Uporabno qk	zadano	3,00

Kombinacije djelovanja

GSN: pEd = gamaG x gk + gamaQ x qk = 1,35 x 6,50 + 1,50 x 3,00 = 13,28 kN/m2

GSU karakteristična: pk = gk + qk = 9,50 kN/m2

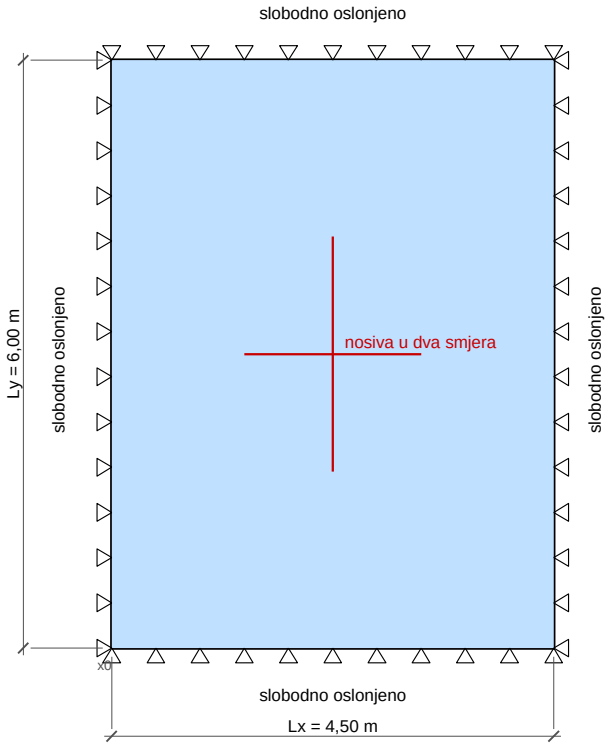
GSU nazovistalna: pqp = gk + psi2 x qk = 6,50 + 0,30 x 3,00 = 7,40 kN/m2

7.3 STATIČKI SUSTAV I REZNE SILE

Omjer stranica: Ldulji / Lkraći = 6,00 / 4,50 = 1,33

Omjer stranica nije veći od 2 - ploča je nosiva u DVA smjera. Momenti i reakcije određeni su numerički, metodom konačnih razlika za tanku ploču (Kirchhoff), D x nabla4(w) = p, Poissonov koeficijent nu = 0,2, mreža

30 x 40 polja. Slobodno oslonjeni rub: w = 0, Mn = 0; upeti rub: w = 0, dw/dn = 0.



h = 18,0 cm; gk = 6,50 kN/m2; qk = 3,00 kN/m2; pEd = 13,28 kN/m2

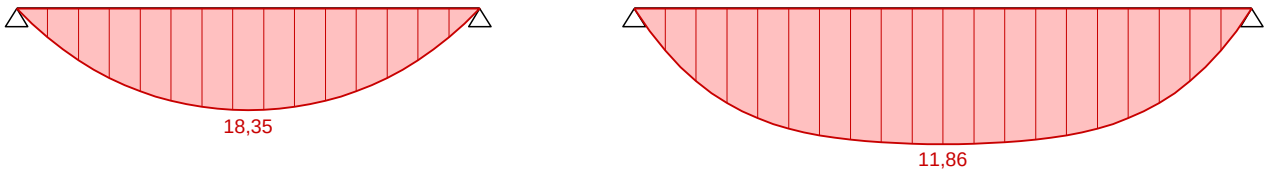
Slika 1. Statički sustav ploče

3.1 Momenti savijanja (M = k x p)

Mjesto	k [m2]	MEd [kNm/m]	Mk [kNm/m]	Mqp [kNm/m]
Polje, donja zona, smjer x	1,3825	18,35	13,13	10,23
Polje, donja zona, smjer y	0,8935	11,86	8,49	6,61

MEd,x [kNm/m] u presjeku y = Ly/2

MEd,y [kNm/m] u presjeku x = Lx/2



Slika 2. Dijagrami momenata savijanja MEd (GSN)

3.2 Poprečne sile / reakcije (V = k x p)

Rub	k [m]	VEd [kN/m]	Vk [kN/m]
lijevi (x=0)	2,165	28,74	20,57
desni (x=Lx)	2,165	28,74	20,57
donji (y=0)	2,167	28,76	20,58
gornji (y=Ly)	2,167	28,76	20,58

7.4 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

4.1 Savijanje

Pravokutni presjek b = 100 cm, pravokutni proračunski dijagram naprezanja betona (lambda = 0,8; eta = 1,0), ograničenje xi = x/d <= 0,45 (mi,lim = 0,295).

mi,Ed = MEd / (b d2 fcd); omega = 1 - sqrt(1 - 2 mi,Ed); z = d (1 - omega/2); As1 = MEd / (z fyd)

As,min = max(0,26 fctm/fyk b d ; 0,0013 b d); As,max = 0,04 Ac (EN 1992-1-1, 9.2.1.1)

Mjesto	d [mm]	MEd	mi,Ed	xi	z [mm]	As,req	As,min	As,potr	Odabrano	As,prov	Status
Polje, donja zona, smjer x	156	18,35	0,045	0,058	152	2,77	2,08	2,77	Ø8/17,5	2,87	zadovoljava
Polje, donja zona, smjer y	148	11,86	0,032	0,041	146	1,87	1,97	1,97	Ø8/25	2,01	zadovoljava
Ležaj lijevi (x=0), gornja zona (konstr. 25%)	156	-	-	-	-	-	-	0,72	Ø8/40	1,26	zadovoljava
Ležaj desni (x=Lx), gornja zona (konstr. 25%)	156	-	-	-	-	-	-	0,72	Ø8/40	1,26	zadovoljava
Ležaj donji (y=0), gornja zona (konstr. 25%)	148	-	-	-	-	-	-	0,50	Ø8/40	1,26	zadovoljava
Ležaj gornji (y=Ly), gornja zona (konstr. 25%)	148	-	-	-	-	-	-	0,50	Ø8/40	1,26	zadovoljava

MEd u kNm/m, As u cm2/m. Najveći razmak šipki: glavna armatura min(2h; 250 mm), razdjelna min(3,5h; 450 mm), konstruktivna min(3h; 400 mm) (EN 1992-1-1, 9.3.1.1).

4.2 Poprečna sila (bez poprečne armature, EN 1992-1-1, 6.2.2)

VRd,c = [CRd,c k (100 rho,l fck)^(1/3)] b d >= vmin b d; CRd,c = 0,18/gamaC; k = 1 + sqrt(200/d) <= 2; vmin = 0,035 k^1,5 fck^0,5

Rub	VEd [kN/m]	d [mm]	rho,l [%]	VRd,c [kN/m]	Status
lijevi (x=0)	28,74	156	0,184	77,22	zadovoljava
desni (x=Lx)	28,74	156	0,184	77,22	zadovoljava
donji (y=0)	28,76	148	0,136	73,26	zadovoljava
gornji (y=Ly)	28,76	148	0,136	73,26	zadovoljava

7.5 GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI

5.1 Naprezanja i širina pukotina (EN 1992-1-1, 7.2 i 7.3.4)

wk = sr,max (eps,sm - eps,cm); sr,max = 3,4 c + 0,425 k1 k2 fi / rho,p,eff (k1 = 0,8; k2 = 0,5; kt = 0,4)

Granice: sigma,c (qp) <= 0,45 fck = 11,3 MPa; sigma,s (k) <= 0,8 fyk = 400 MPa; wk <= 0,30 mm

Mjesto	Mqp	Mcr	sigma,c [MPa]	sigma,s qp	sigma,s k	sr,max [mm]	wk [mm]	Status
Polje, donja zona, smjer x	10,23	13,85	3,69	248,9	307,7	-	neraspucano	zadovoljava
Polje, donja zona, smjer y	6,61	13,85	2,99	239,5	297,4	-	neraspucano	zadovoljava

5.2 Progib (EN 1992-1-1, 7.4.3)

Elastični progib ploče iz rješenja konačnim razlikama (D = Ecm h3 / 12(1-nu2)), uz interpolaciju između neraspucanog i potpuno raspucanog stanja (glavni smjer) te utjecaj puzanja.

w,el (qp, Ecm) = 1,26 mm

Neraspucano, dugotrajno: wI = w,el (1 + fi) = 4,42 mm

Raspucano: wII = wI x I,c / I,II = 20,03 mm (I,II = 10721 cm4/m, alfa,e = Es/Ec,eff = 22,24)

Mcr = 13,85 kNm/m; Mqp = 10,23 kNm/m; zeta = 1 - 0,5 (Mcr/M)2 = 0,000

w = zeta wII + (1 - zeta) wI = 4,42 mm <= L/250 = 18,00 mm -> zadovoljava

Skupljanje betona nije uključeno u proračun progiba.

Granična vitkost (7.4.2): L/d = 28,8; (L/d)dop = 73,9 (K = 1,0) -> zadovoljava (informativno)

7.6 ODABRANA ARMATURA

Vrsta armiranja: Šipke.

Mjesto	Armatura	As,potr [cm2/m]	As,prov [cm2/m]	Duljina u polje [m]	Duljina u susj. polje [m]
Polje, donja zona, smjer x	Ø8/17,5	2,77	2,87	-	-
Polje, donja zona, smjer y	Ø8/25	1,97	2,01	-	-
Ležaj lijevi (x=0), gornja zona	Ø8/40	0,72	1,26	0,90	kuka 14 cm
Ležaj desni (x=Lx), gornja zona	Ø8/40	0,72	1,26	0,90	kuka 14 cm
Ležaj donji (y=0), gornja zona	Ø8/40	0,50	1,26	1,20	kuka 14 cm
Ležaj gornji (y=Ly), gornja zona	Ø8/40	0,50	1,26	1,20	kuka 14 cm

Gornja armatura nad upetim ležajem produžuje se u vlastito polje za L/3 i u susjedno polje za L/3 susjednog raspona (najmanje lbd). Konstruktivna gornja armatura nad slobodno oslonjenim rubom: 25 % armature polja, duljine 0,2 L (EN 1992-1-1, 9.3.1.2).

Donje šipke koje dolaze do ruba ploče završavaju kukom prema gore.

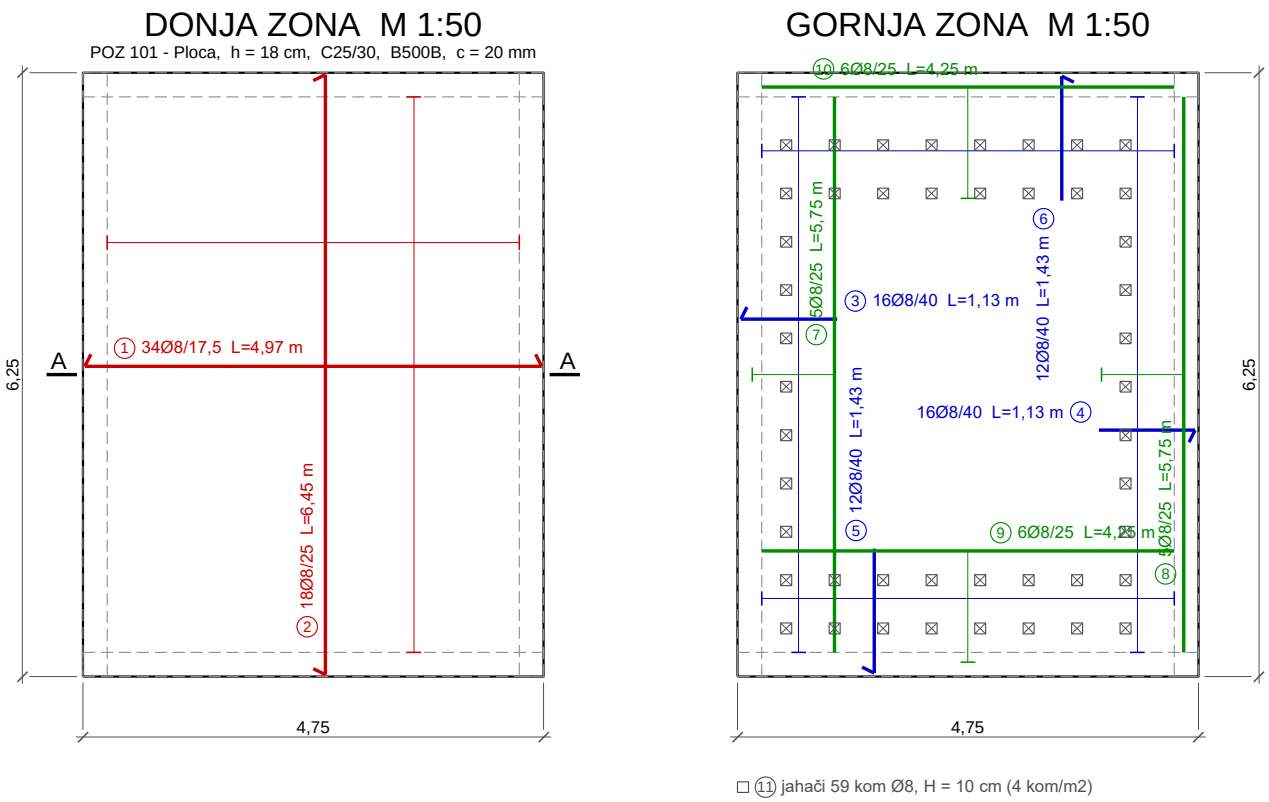
Gornja armatura se podupire jahačima Ø8, 4 kom/m2 po površini pod gornjom armaturom (14,72 m2), visine H = 10 cm.

6.1 Sidrenje i preklopi (EN 1992-1-1, 8.4 i 8.7)

fbd = 2,25 eta1 eta2 fctd = 2,25 x eta1 x 1,0 x 1,20 MPa; lb,rqd = (fi/4)(fyd/fbd); lbd = max(lb,rqd ; lb,min); l0 = 1,5 lbd

Promjer	lbd donja [cm]	lbd gornja [cm]	l0 donja [cm]	l0 gornja [cm]
Ø8	32	32	48	48

7.7 NACRT ARMATURE I ISKAZ MATERIJALA



Slika 3. Plan armature ploče

7.1 Iskaz armature - šipke (B500B)

Poz	Opis	Oblik	Ø [mm]	L [m]	n [kom]	Ukupno [m]	Masa [kg]
1	donja zona, smjer x	2 kuke 13 cm gore	8	4,97	34	168,98	66,68
2	donja zona, smjer y	2 kuke 12 cm gore	8	6,45	18	116,10	45,81
3	gornja zona, lijevi (x=0)	kuka 14 cm dolje	8	1,13	16	18,08	7,13
4	gornja zona, desni (x=Lx)	kuka 14 cm dolje	8	1,13	16	18,08	7,13
5	gornja zona, donji (y=0)	kuka 14 cm dolje	8	1,43	12	17,16	6,77
6	gornja zona, gornji (y=Ly)	kuka 14 cm dolje	8	1,43	12	17,16	6,77
7	razdjelna gornja, lijevi (x=0)	ravna	8	5,75	5	28,75	11,34
8	razdjelna gornja, desni (x=Lx)	ravna	8	5,75	5	28,75	11,34
9	razdjelna gornja, donji (y=0)	ravna	8	4,25	6	25,50	10,06
10	razdjelna gornja, gornji (y=Ly)	ravna	8	4,25	6	25,50	10,06
11	jahači - držači gornje armature (4 kom/m2)	jahač H=10 cm	8	0,70	59	41,30	16,30

7.2 Rekapitulacija šipki

Ø [mm]	Ukupna duljina [m]	Masa po metru [kg/m]	Masa [kg]
8	505,36	0,395	199,41
UKUPNO			199,41

7.4 Iskaz materijala

Materijal	Količina	Jedinica
Beton C25/30 (4,75 x 6,25 x 0,18)	5,34	m3
Oplata donje plohe ploče	24,44	m2
Armatura B500B - šipke	199,4	kg
Armatura ukupno	199,4	kg
Utrošak armature	37,3	kg/m3

7.8 ZAKLJUČAK

Ploča zadovoljava sve provedene provjere GSN i GSU uz odabranu armaturu.

Napomena: u kutovima slobodno oslonjenih rubova preporučuje se dodatna gornja i donja kutna armatura (EN 1992-1-1, 9.3.1.3).

Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

8 Program RCColumn

stup

RCColumn

Proračun armiranobetonskih stupova
HRN EN 1992-1-1 · HRN EN 1998-1

Statički proračun · samo HRN EN 1992-1-1

8.1 Armiranobetonski stup kružnog poprečnog presjeka D = 50 cm – dimenzioniranje GSN i GSU

Stup S1

Gradiva
Beton C30/37
Armatura B500B
c_{nom} = 35 mm; XC1
t_u = 50 god.; razred konstrukcije S3

Norme
HRN EN 1990, HRN EN 1992-1-1 s nacionalnim dodacima
Datum
16.11.2026.

Proračun je proveden prema HRN EN 1990:2011 + HRN EN 1990:2011/NA:2011 te HRN EN 1992-1-1:2013 + Ispr.1:2015 + A1:2015 + HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015. Potresna proračunska situacija prema HRN EN 1998-1 nije razmatrana. Proračunske unutarnje sile zadane su kao ulazni podaci (kombinacije prema HRN EN 1990, izrazi (6.10), (6.14b) i (6.16b)). Učinci drugog reda (HRN EN 1992-1-1, 5.8) nisu obuhvaćeni proračunom presjeka i moraju biti uključeni u zadane momente.

NDP	VRIJEDNOST	IZVOR
γ_c; γ_s (GSN) / GSU	1,5; 1,15 / 1,0; 1,0	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.7 i 2.8
α_{cc}; α_{ct}	1,0; 1,0	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.12 i 2.13
Razred konstrukcije; $c_{min,dur}$; $c_{min,b}$	Tablica 4.3N (polazni S4); Tablica 4.4N; Tablica 4.2	HRN EN 1992-1-1, 4.4.1.2; HRN EN 1992-1-1/NA
Δc_{dev}	10 mm	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.24
$C_{Rd,c}$; v_{min}; k_1	$0,18/\gamma_c$; $0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$; 0,15	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.45
cot θ; v_1; α_{cw}	usvojeno 1,0; $0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$; 1,0	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.47 i 2.48
w_{max}	X0, XC1 – 0,4 mm; ostali – 0,3 mm	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.66
k_3; k_4	3,4; 0,425	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.68

$Ø_{min}$; $A_{s,min}$; $A_{s,max}$	12 mm; max(0,15·N_{Ed}/f_{yd}; 0,003·A_c); 0,04·A_c	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.84–2.86
$s_{cl,tmax}$	min(12·Ø; manja dimenzija; 300 mm)	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.87
k_1; k_2; k_3 (naprezanja)	0,6; 0,45; 0,8	HRN EN 1992-1-1/NA, 2.63–2.65
α_6 (preklop)	1,5 (sve šipke nastavljene u istom presjeku)	HRN EN 1992-1-1, 8.7.3, Tablica 8.3

8.1.1 1. Opis presjeka i gradiva

8.1.1.1 1.1 Geometrija

D = 500 mm; R = D/2 = 250 mm; A_c = π·R^2 = 196 350 mm²

r_s = R − c_{nom} − $Ø_w$ − Ø/2 = 250 − 35 − 8 − 20/2 = 197,0 mm

šipke su raspoređene jednoliko po kružnici polumjera r_s; prva šipka na osi +z, kut između šipki 360°/n

c_{nom} = 35 mm (do spone); $Ø_w$ = 8 mm; Ø = 20 mm; visina stupa L = 3 000 mm

8.1.1.2 1.2 Gradiva

VELIČINA	OZNAKA	VRIJEDNOST	IZVOR
Karakteristična tlačna čvrstoća	f_{ck}	30 MPa	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Srednja tlačna / vlačna čvrstoća	f_{cm}; f_{ctm}	38; 2,9 MPa	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Karakteristična vlačna čvrstoća	$f_{ctk;0,05}$	2,0 MPa	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Modul elastičnosti betona	E_{cm}	33 000 MPa	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Parabola-pravokutnik	ε_{c2}; ε_{cu2}; n	2,00 ‰; 3,50 ‰; 2,00	HRN EN 1992-1-1, Tablica 3.1
Proračunska tlačna čvrstoća	f_{cd} = 1,0·f_{ck}/1,5	20,00 MPa	[HRN EN 1992-1-1, izraz (3.15)]
Granica popuštanja (razred B)	f_{yk}; f_{yd} = f_{yk}/1,15	500; 434,8 MPa	HRN EN 1992-1-1, 3.2.7; Prilog C
E_s; ε_{yd}; ε_{ud} = 0,9·ε_{uk}		200 000 MPa; 2,174 ‰; 45,0 ‰	HRN EN 1992-1-1, 3.2.7

8.1.1.3 1.3 Zaštitni sloj betona

Proračunski uporabni vijek t_u = **50 godina** (HRN EN 1990, 2.3, Tablica 2.1: razred 4 – zgrade i druge uobičajene građevine). Razred konstrukcije određen je za svaki razred izloženosti, polazeći od razreda S4 uz preinake prema Tablici 4.3N.

XC1: S4 + 0 (50 god.) - 1 (C30/37 ≥ C30/37) = S3 ⟶ $c_{min,dur}$ = 10 mm (HRN EN 1992-1-1, 4.4.1.2(5), Tablice 4.3N i 4.4N)

spona: c_{min} = max($c_{min,b}$ = $Ø_w$; $c_{min,dur}$; 10) = 10 mm; c_{nom} = 35 mm ≥ c_{min} + Δc_{dev} = 20 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izrazi (4.1), (4.2)]

uzdužna šipka: c = c_{nom} + $Ø_w$ = 43 mm ≥ max(Ø; $c_{min,dur}$; 10) + 10 = 30 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izrazi (4.1), (4.2)]

$c_{nom,req}$ = **22 mm** ≤ c_{nom} = 35 mm ✓ **ZADOVOLJAVA**

(HRN EN 1992-1-1, 4.4.1; Tablice 4.2, 4.3N i 4.4N; HRN EN 1990, Tablica 2.1)

8.1.2 2. Djelovanja

Unutarnje sile u presjeku (N > 0 tlak; M_y > 0 tlači stranu +z, M_z > 0 tlači stranu +y). Rezultirajući moment M_0 = √(M_y^2 + M_z^2). Za tlačne elemente uzima se najmanji ekscentricitet e_0 = max(h/30; 20 mm), h = manja dimenzija presjeka.

e_0 = max(500/30; 20) = 20,0 mm; M_{Ed} = max(M_0; N_{Ed}·e_0) uz zadržani smjer momenta (HRN EN 1992-1-1, 6.1(4))

KOMB.	N_{ED} [KN]	M_Y [KNM]	M_Z [KNM]	M_0	N·E_0	M_{ED} [KNM]	B [°]	V_Y [KN]	V_Z [KN]	POTRES
K1	1 800,0	150,0	40,0	155,24	36,00	**155,24**	75,1	0,0	90,0	NE

K2	900,0	210,0	60,0	218,40	18,00	**218,40**	74,1	0,0	120,0	NE
K3	250,0	160,0	20,0	161,25	5,00	**161,25**	82,9	0,0	80,0	NE

GSU KOMBINACIJA	N [KN]	M_Y [KNM]	M_Z [KNM]	IZVOR
karakteristična	1 250,0	105,0	28,0	[HRN EN 1990, izraz (6.14b)]
nazovistalna	1 000,0	70,0	18,0	[HRN EN 1990, izraz (6.16b)]

8.1.3 3. Uzdužna i poprečna armatura – konstrukcijska pravila

Način rada: **dimenzioniranje**. Za zadani promjer povećava se broj šipki (kod pravokutnog presjeka kombinacije n_b/n_h poredane po ukupnom broju šipki) dok sve provjere GSN i GSU ne budu zadovoljene; ako to nije moguće, povećava se promjer šipki. Usvojeno je **6Ø20**.

$A_{s1} = \pi \cdot 20^2/4 = 314{,}2$ mm²; $A_s = 6 \cdot 314{,}2 = 1\,885{,}0$ mm²; $\rho = 0{,}960$ %

Ø = 20 mm ≥ 12 mm ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 9.5.2(1))

$A_{s,min} = \max(0{,}15 \cdot N_{Ed,max}/f_{yd}; 0{,}003 \cdot A_c; 6Ø12) = \max(621{,}0; 589{,}0; 678{,}6) = 678{,}6$ mm² ≤ A_s ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 9.5.2(2))

$A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c = 7\,854$ mm² ≥ A_s (u preklopu ≤ $0{,}08 \cdot A_c$) ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 9.5.2(3))

kružni stup: n = 6 ≥ 6 ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 9.5.2(4))

svijetli razmak $s = 2 \cdot r_s \cdot \sin(\pi/n) - Ø = 177{,}0$ mm ≥ $\max(Ø; d_g + 5; 20) = 21$ mm ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 8.2(2))

8.1.3.1.1 Poprečna armatura (spone)

$Ø_w = 8$ mm ≥ $\max(6; Ø/4) = 6{,}0$ mm ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 9.5.3(1))

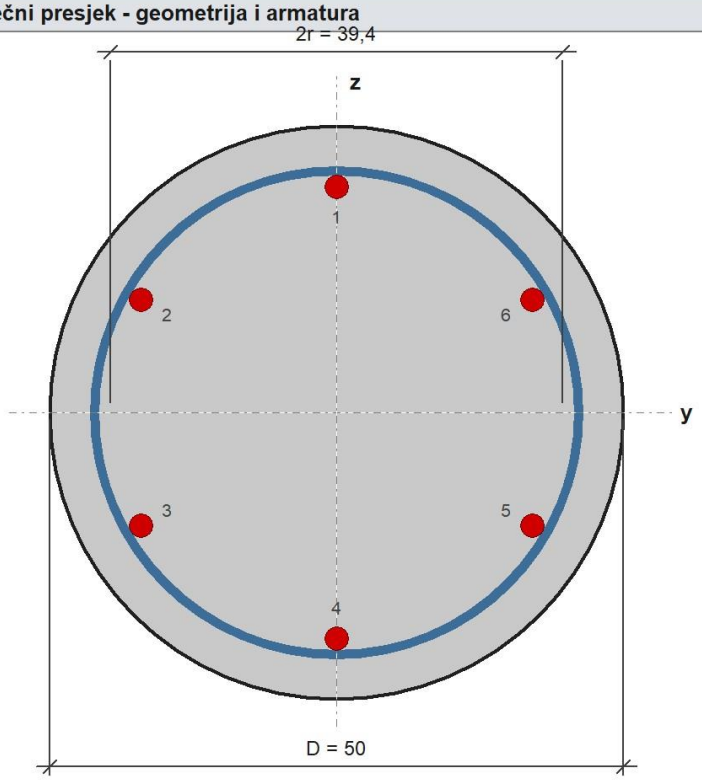
$s_{cl,tmax} = \min(12 \cdot 20; 500; 300) = 240$ mm; područja krajeva i preklopa: $s \le 0{,}6 \cdot s_{cl,tmax} = 144$ mm (HRN EN 1992-1-1, 9.5.3(3), (4))

samo prema HRN EN 1992-1-1 (posmik iz analize): s = 225 mm, u području krajeva s = 125 mm

usvojeno: spone Ø8/22,5 cm, u području krajeva duljine 50 cm Ø8/12,5 cm

(HRN EN 1992-1-1, 9.5 Stupovi; 8.2 Razmak šipki; zatvorene spone sidre se kukama 135° prema 8.5)

Poprečni presjek - geometrija i armatura



Beton	**C30/37**
Armatura	**B500B**
Promjer D	**50 cm**
Zaštitni sloj c	**3,5 cm**
Uzdužna armatura	**6Ø20**
As	**18,85 cm²**
ρ = As/Ac	**0,96 %**
Spone	**Ø8/22,5 cm**
krajevi (l = 50)	**Ø8/12,5 cm**
Vrh stupa	**izlaz l0 = 110 cm**

uzdužna šipka (broj = pozicija u tablici)
spona / kvačica
mjere u cm

8.1.4 4. Granično stanje nosivosti – savijanje s uzdužnom silom

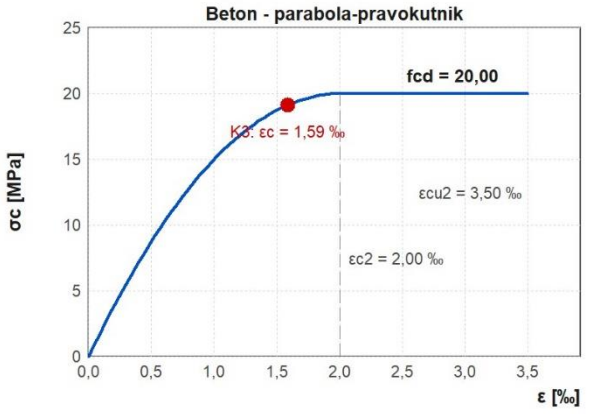
Otpornost presjeka određena je metodom graničnih deformacija uz pretpostavke prema HRN EN 1992-1-1, 6.1(2): ravni presjeci ostaju ravni, vlačna čvrstoća betona se zanemaruje, beton prema dijagramu parabola-pravokutnik (3.1.7), armatura prema bilinearnom dijagramu s vodoravnom gornjom granom (3.2.7). Beton je podijeljen u 768 vlakana, a svaka šipka uzeta je zasebno (u tlačnoj zoni odbijena je površina betona na mjestu šipke). Koso savijanje obuhvaćeno je općom ravninom deformacija $\varepsilon(y,z) = \varepsilon_0 + \kappa_y \cdot y + \kappa_z \cdot z$.

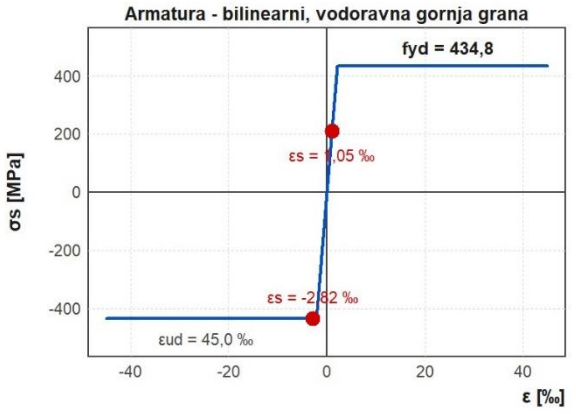
$\sigma_c = f_{cd} \cdot [1 - (1 - \varepsilon_c/\varepsilon_{c2})^n]$ za $0 \le \varepsilon_c < \varepsilon_{c2}$; $\sigma_c = f_{cd}$ za $\varepsilon_{c2} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu2}$ [HRN EN 1992-1-1, izrazi (3.17), (3.18)]

$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \le f_{yd}$; $|\varepsilon_s| \le \varepsilon_{ud} = 45{,}0$ ‰ (HRN EN 1992-1-1, 3.2.7)

granične ravnine: pol A – $\varepsilon_s = -\varepsilon_{ud}$ u najudaljenijoj vlačnoj šipki; pol B – ε_{cu2} na tlačnom rubu; pol C – ε_{c2} na udaljenosti $(1 - \varepsilon_{c2}/\varepsilon_{cu2}) \cdot h$ od tlačnog ruba (HRN EN 1992-1-1, 6.1(5), (6), Slika 6.1)

Proračunski radni dijagrami σ-ε (GSN)



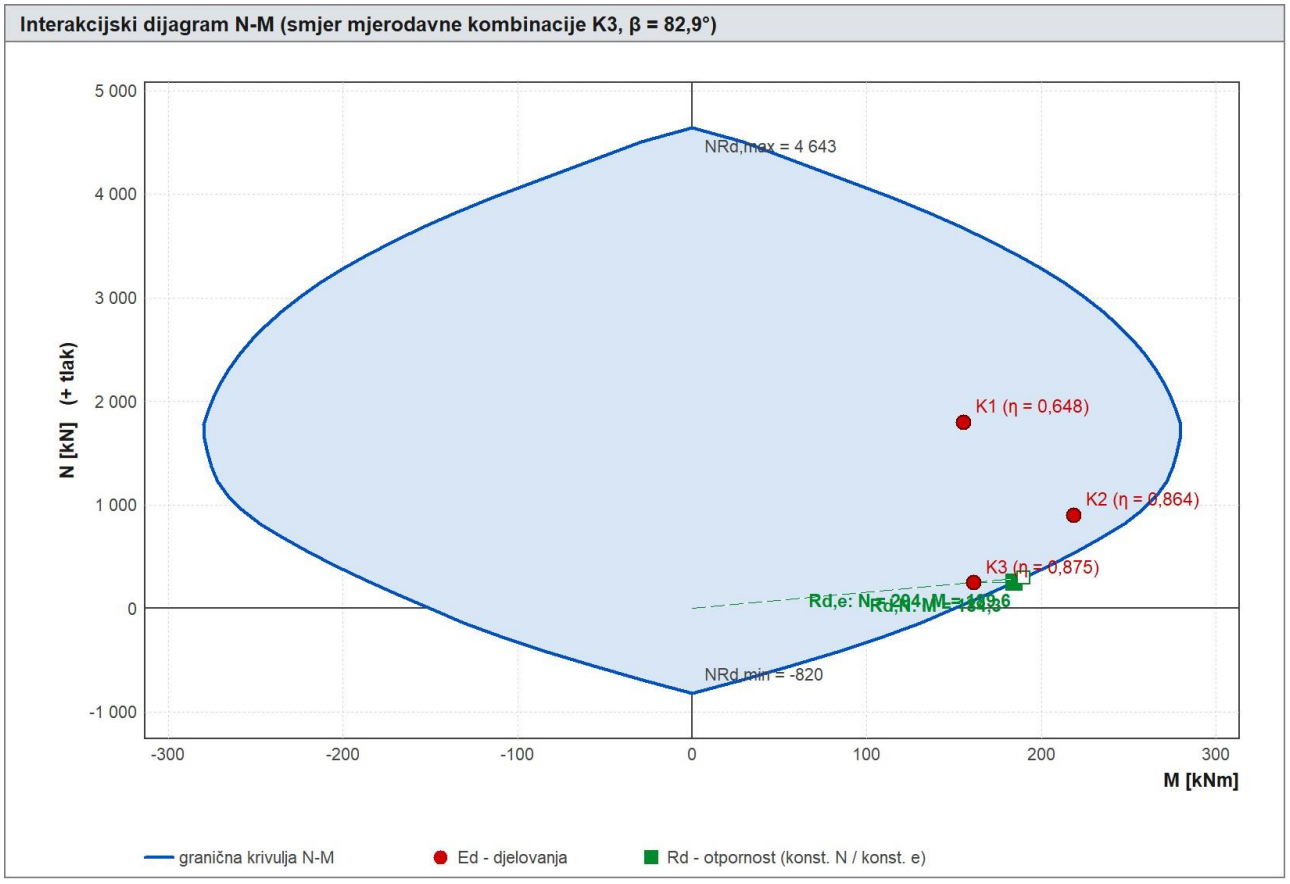


8.1.4.1 4.1 Iskoristivost

Iskoristivost je određena na dva načina: $\eta_N = M_{Ed}/M_{Rd}(N_{Ed})$ – uz konstantnu uzdužnu silu, na presjeku plohe otpornosti pri $N = N_{Ed}$ u smjeru vektora momenta; η_e – uz konstantni ekscentricitet, točka $s \cdot (N_{Ed}, M_{Ed})$ na plohi otpornosti, $\eta_e = 1/s$. Mjerodavna je veća vrijednost: $\eta = \max(\eta_N; \eta_e) \le 1{,}0$.

KOMB.	N_{ED} [KN]	M_{ED} [KNM]	$M_{RD}(N_{ED})$ [KNM]	H_N	H_E	H	PROVJERA
K1	1 800,0	155,24	281,20	0,552	0,648	**0,648**	✓ ZADOVOLJAVA
K2	900,0	218,40	252,92	0,864	0,828	**0,864**	✓ ZADOVOLJAVA
K3 *	250,0	161,25	184,33	0,875	0,851	**0,875**	✓ ZADOVOLJAVA

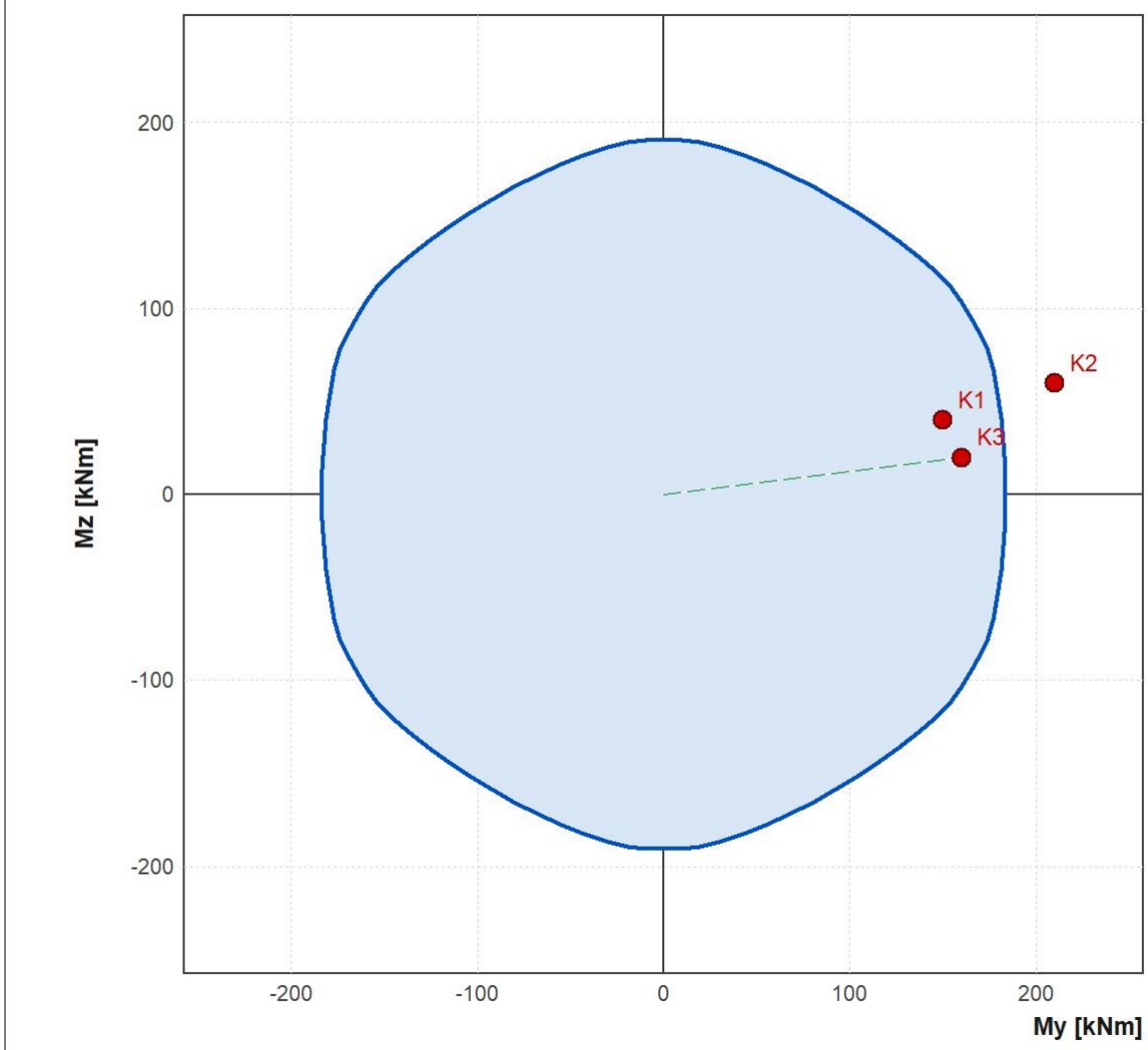
(* mjerodavna kombinacija; $N_{Rd,max}$ = 4 643 kN, $N_{Rd,min}$ = -820 kN)



8.1.4.2 4.2 Interakcijska ploha – presjek M_y–M_z

Presjek interakcijske plohe određen je za 96 smjerova neutralne osi pri uzdužnoj sili mjerodavne kombinacije.

Interakcijska ploha - presjek My-Mz pri N = NEd(K3)



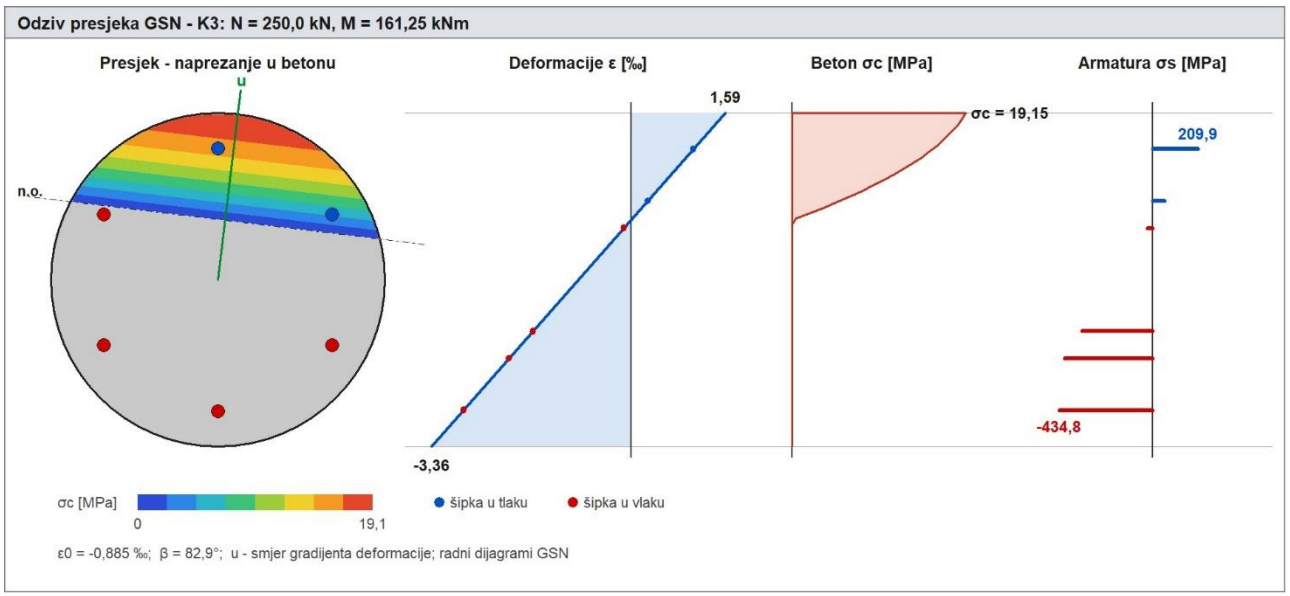
presjek plohe pri N = 250,0 kN; točke ostalih kombinacija samo orijentacijski

8.1.4.3 4.3 Odziv presjeka za mjerodavnu kombinaciju K3

ε_0 = -0,8852 ‰; κ_y = 1,1780·10^{-6} 1/mm; κ_z = 9,8206·10^{-6} 1/mm

$\varepsilon_{c,max}$ = 1,588 ‰ ≤ ε_{cu2} = 3,50 ‰ ✓ **ZADOVOLJAVA**

$\varepsilon_{s,min}$ = -2,820 ‰ ≥ −ε_{ud} = −45,0 ‰ ✓ **ZADOVOLJAVA**



ŠIPKA	Y [MM]	Z [MM]	ε_S [‰]	Σ_S [MPA]	F_S [KN]
1	0,0	197,0	1,049	209,9	65,94
2	-170,6	98,5	-0,119	-23,8	-7,47
3	-170,6	-98,5	-2,053	-410,7	-129,02
4	0,0	-197,0	-2,820	-434,8	-136,59
5	170,6	-98,5	-1,652	-330,3	-103,77
6	170,6	98,5	0,283	56,6	17,79

(ε, σ, F > 0 – tlak)

8.1.5 5. Granično stanje nosivosti – poprečna sila

HRN EN 1992-1-1, 6.2 ne definira b_w i d kružnog presjeka. Usvojene su efektivne veličine prema literaturi (Clarke i Birjandi, 1993; Feltham, The Structural Engineer 82(11), 2004): $d = r\cdot(1 + 2\cdot r_s/(\pi\cdot r))$, $b_w = A_{eff}/d$; A_{sl} = polovina uzdužne armature. Poprečna sila je rezultanta $V = \sqrt{(V_y^2 + V_z^2)}$. cot θ = 1,0.

b_w = 421,2 mm; d = 375,4 mm; z = 0,9·d = 337,9 mm; A_{sl} = 942,5 mm²; ρ_l = 0,00596; k = 1,730; v_{min} = 0,436 MPa [HRN EN 1992-1-1, izrazi (6.2.a), (6.3N)]

$A_{sw} = 2\cdot\pi\cdot 8^2/4$ = 100,5 mm²; $V_{Rd,max} = b_w\cdot z\cdot v_1\cdot f_{cd}/2$ = 751,5 kN; $V_{Rd,s} = A_{sw}/s\cdot z\cdot f_{ywd}$ = 65,6 kN (s = 225 mm), 118,1 kN (s = 125 mm) [HRN EN 1992-1-1, izrazi (6.8), (6.9)]

KOMB.	SMJER	V_{ED} [KN]	MJERODAVNO [KN]	Σ_{CP} [MPA]	$V_{RD,C}$ [KN]	POSMIČNA ARMATURA
K1	rezultanta	90,0	**90,0**	4,000	180,7	računski nije potrebna ✓ **ZADOVOLJAVA**
K2	rezultanta	120,0	**120,0**	4,000	180,7	računski nije potrebna ✓ **ZADOVOLJAVA**
K3	rezultanta	80,0	**80,0**	1,273	116,0	računski nije potrebna ✓ **ZADOVOLJAVA**

$V_{Rd,c} = \max[0,12\cdot k\cdot(100\cdot\rho_l\cdot f_{ck})^{1/3}; v_{min}] + 0,15\cdot\sigma_{cp})\cdot b_w\cdot d$; $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c \le 0,2\cdot f_{cd}$ [HRN EN 1992-1-1, izrazi (6.2.a), (6.2.b)]

$s_{pot} = A_{sw}\cdot z\cdot f_{ywd}\cdot\cot\theta/V_{Ed}$; usvojeno s = min($s_{pot}$; $s_{cl,tmax}$) zaokruženo na 25 mm = 225 mm; krajevi 125 mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (6.8)]

(HRN EN 1992-1-1, 6.2.2 i 6.2.3)

8.1.6 6. Granično stanje uporabljivosti – ograničenje naprezanja

Naprezanja su određena za raspucani presjek: beton linearno-elastičan u tlaku bez vlačne čvrstoće, armatura linearno-elastična. Za karakterističnu kombinaciju uzima se E_{cm}, a za nazovistalnu $E_{c,eff} = E_{cm}/(1 + \varphi)$.

$h_0 = 2 \cdot A_c/u = 250{,}0$ mm; $\varphi_{RH} = 1{,}721$; $\beta(f_{cm}) = 2{,}725$; $\beta(t_0) = 0{,}488$; $\varphi(\infty, t_0) = 2{,}291$ (RH = 50 %, t_0 = 28 d) [HRN EN 1992-1-1, Prilog B]

$E_{c,eff} = 33\,000/(1 + 2{,}291) = 10\,028$ MPa [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.20)]

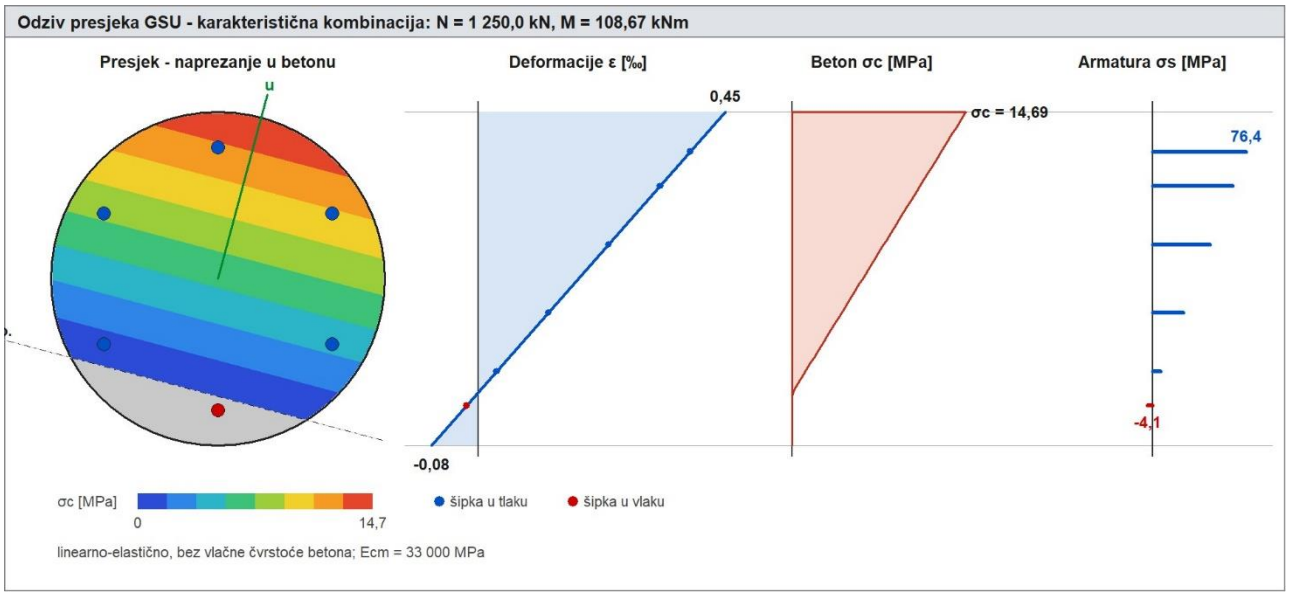
8.1.6.1.1 Karakteristična kombinacija: N = 1 250,0 kN, M = 108,67 kNm

$\sigma_c = 14{,}69$ MPa (ograničenje $0{,}6 \cdot f_{ck}$ obvezno samo za XD, XF, XS – informativno) (HRN EN 1992-1-1, 7.2(2))

$\sigma_{s,vlak} = 4{,}1$ MPa; $\sigma_{s,tlak} = 76{,}4$ MPa ≤ $0{,}8 \cdot f_{yk} = 400$ MPa ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 7.2(5))

8.1.6.1.2 Nazovistalna kombinacija: N = 1 000,0 kN, M = 72,28 kNm ($E_{c,eff}$)

$\sigma_c = 9{,}13$ MPa ≤ $0{,}45 \cdot f_{ck} = 13{,}50$ MPa (linearno puzanje) ✓ **ZADOVOLJAVA** (HRN EN 1992-1-1, 7.2(3))



8.1.7 7. Granično stanje uporabljivosti – širina pukotina

Širina pukotina provjerava se za nazovistalnu kombinaciju (Tablica 7.1N), raspucani presjek s $\alpha_e = E_s/E_{cm} = 6{,}061$. Visina h, d i x mjere se u smjeru gradijenta deformacije.

h = 500,0 mm; x = 467,0 mm; d = 440,8 mm; $\sigma_s = 0{,}0$ MPa (najopterećenija vlačna šipka)

$h_{c,ef} = \min(2{,}5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2) = 11{,}0$ mm; $A_{c,eff} = 991$ mm²; šipki u $A_{c,eff}$: 0; $\rho_{p,eff} = 0{,}31711$ (HRN EN 1992-1-1, 7.3.2(3))

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \max([\sigma_s - 0{,}4 \cdot f_{ctm}/\rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})]/E_s; 0{,}6 \cdot \sigma_s/E_s) = 0{,}000 \cdot 10^{-4}$ [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.9)]

razmak šipki 197,0 mm ≤ $5 \cdot (c + Ø/2) = 265$ mm: $s_{r,max} = 3{,}4 \cdot 43 + 0{,}8 \cdot 0{,}50 \cdot 0{,}425 \cdot 20/0{,}31711 = 156{,}9$ mm [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.11)]

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0{,}000$ mm ≤ $w_{max} = 0{,}4$ mm ✓ **ZADOVOLJAVA** [HRN EN 1992-1-1, izraz (7.8)]

8.1.8 8. Vrh stupa – nastavljanje i sidrenje uzdužne armature

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05}/\gamma_c = 2{,}0/1{,}5 = 1{,}333$ MPa; $f_{bd} = 2{,}25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3{,}000$ MPa (dobri uvjeti prionljivosti, $\eta_1 = 1{,}0$) [HRN EN 1992-1-1, izraz (8.2)]

$l_{b,rqd} = (Ø/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) = (20/4) \cdot (434{,}8/3{,}000) = 725$ mm ($\sigma_{sd} = f_{yd}$ na strani sigurnosti) [HRN EN 1992-1-1, izraz (8.3)]

Stup **ima ankere** (nastavak armature): uzdužne šipke izlaze iznad vrha stupa za duljinu preklopa.

$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1{,}0 \cdot 1{,}5 \cdot 725 = 1\,087$ mm $\geq l_{0,min} = \max(0{,}3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd};\ 15 \cdot Ø;\ 200) = 326$ mm [HRN EN 1992-1-1, izrazi (8.10), (8.11)]

usvojeno (zaokruženo na 5 cm): **l_0 = 110 cm**; duljina šipke poz. 1 = L + l_0 = 300 + 110 = 410 cm

na duljini preklopa (Ø > 14 mm) najmanje 3 spone, razmak ≤ $0{,}6 \cdot s_{cl,tmax}$ = 144 mm (u stupu iznad) (HRN EN 1992-1-1, 9.5.3(4), 8.7.4.1)

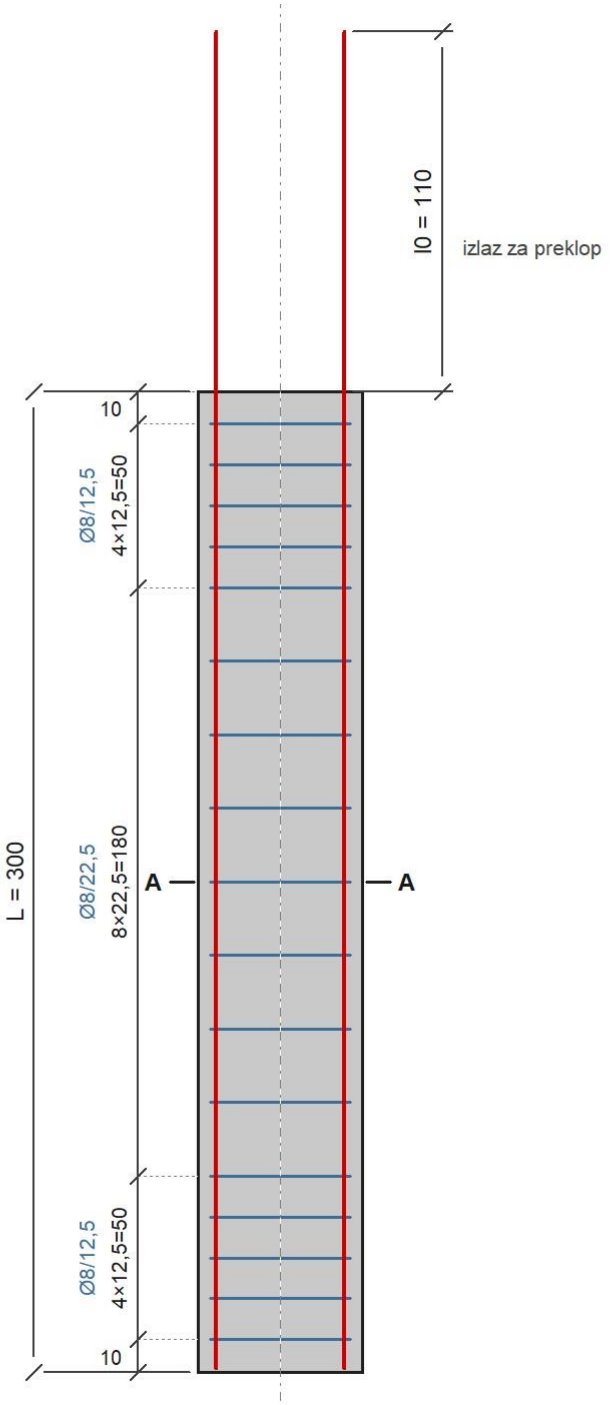
8.1.9 9. Nacrt armature i iskaz materijala

Mjere u cm. Spone su zatvorene s kukama 135° i produljenjem $10 \cdot Ø_w$ (8.5). Donji kraj uzdužne armature nastavlja se na ankere iz temelja ili stupa ispod (nije dio ovog proračuna).

Uzdužni presjek stupa - nacrt armature

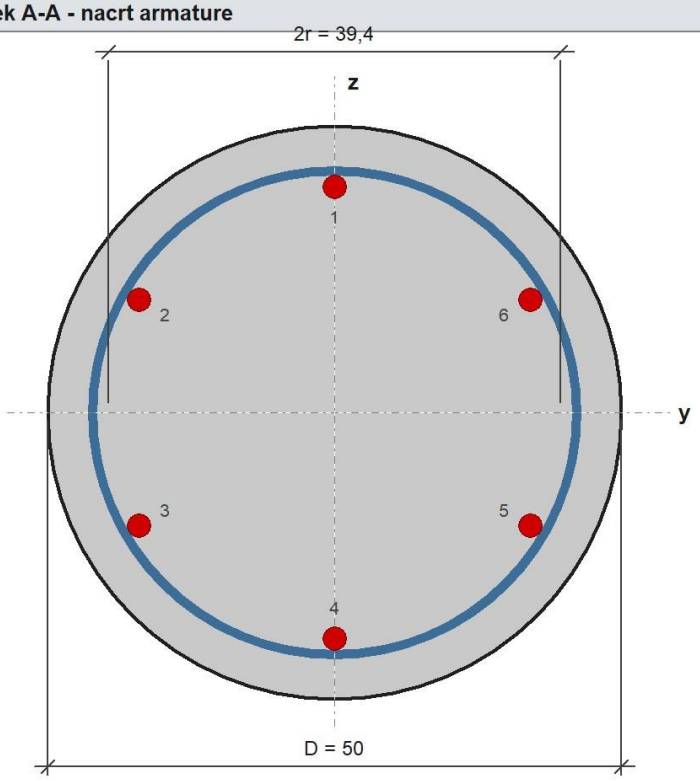
poz. 1: 6Ø20, L = 410 cm

poz. 2: spone Ø8, 17 kom



područja krajeva l = 50 cm, s ≤ 0,6×scl,tmax (EN 1992-1-1, 9.5.3(4)); mjere u cm

Presjek A-A - nacrt armature



Beton	**C30/37**
Armatura	**B500B**
Promjer D	**50 cm**
Zaštitni sloj c	**3,5 cm**
Uzdužna armatura	**6Ø20**
As	**18,85 cm²**
ρ = As/Ac	**0,96 %**
Spone	**Ø8/22,5 cm**
krajevi (l = 50)	**Ø8/12,5 cm**
Vrh stupa	**izlaz l0 = 110 cm**

uzdužna šipka (broj = pozicija u tablici)
spona / kvačica
mjere u cm

Iskaz armature B500B i materijala

Poz.	Oblik i mjere [cm]	Ø [mm]	kom	L [m]	ΣL [m]	kg/m	masa [kg]
1	410	20	6	4,10	24,60	2,466	60,7
2	Ø42	8	17	1,48	25,15	0,395	9,9

Ukupno armatura B500B	**70,6 kg**
Beton C30/37	0,589 m³
Oplata	4,71 m²
Utrošak armature	119,8 kg/m³

POZ.	OPIS	Ø [MM]	KOM	L [M]	ΣL [M]	KG/M	MASA [KG]
1	uzdužna armatura, ravna šipka s izlazom za preklop l_0 = 110 cm	20	6	4,10	24,60	2,466	60,7
2	kružna spona $Ø_{os}$ = 42 cm, kuke 135°	8	17	1,48	25,15	0,395	9,9
UKUPNO ARMATURA B500B							**70,6**
Beton C30/37 [m³]							0,589
Oplata [m²]							4,71

8.1.10 10. Sažetak provjera

PROVJERA	IZVOR	REZULTAT
Zaštitni sloj c_{nom} = 35 mm ≥ $c_{nom,req}$ = 22 mm (t_u = 50 god., S3)	HRN EN 1992-1-1, 4.4.1	✓ ZADOVOLJAVA
Najmanja / najveća uzdužna armatura (A_s = 18,85 cm²)	HRN EN 1992-1-1, 9.5.2	✓ ZADOVOLJAVA
Promjer i broj šipki (Ø20 ≥ 12 mm, n = 6 ≥ 6), svijetli razmak 177 mm ≥ 21 mm	HRN EN 1992-1-1, 8.2; 9.5.2	✓ ZADOVOLJAVA
Spone Ø8/22,5 cm (krajevi /12,5 cm), $Ø_w$ ≥ 6,0 mm	HRN EN 1992-1-1, 9.5.3	✓ ZADOVOLJAVA
GSN savijanje s uzdužnom silom, η_{max} = 0,875	HRN EN 1992-1-1, 6.1	✓ ZADOVOLJAVA
GSN poprečna sila	HRN EN 1992-1-1, 6.2	✓ ZADOVOLJAVA
GSU naprezanja ($\sigma_{c,qp}$ = 9,1 MPa; $\sigma_{s,k}$ = 4 MPa)	HRN EN 1992-1-1, 7.2	✓ ZADOVOLJAVA
GSU širina pukotina w_k = 0,000 mm ≤ 0,4 mm	HRN EN 1992-1-1, 7.3.4	✓ ZADOVOLJAVA

SVE PROVJERE ZADOVOLJAVAJU.

8.1.10.1 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu. (RCColumn)

9 Program RCWall

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKOG ZIDA

Zid Z1

Projekt	Stambena zgrada
Građevina	Primjer
Projektant	
Datum	15.11.2026.
Rezultat	Sve provjere zadovoljavaju.

Proračun je izrađen prema HRN EN 1990, HRN EN 1992-1-1 i HRN EN 1998-1 s nacionalnim dodacima. Izvještaj treba provjeriti odgovorni projektant.

1. Ulazni podaci

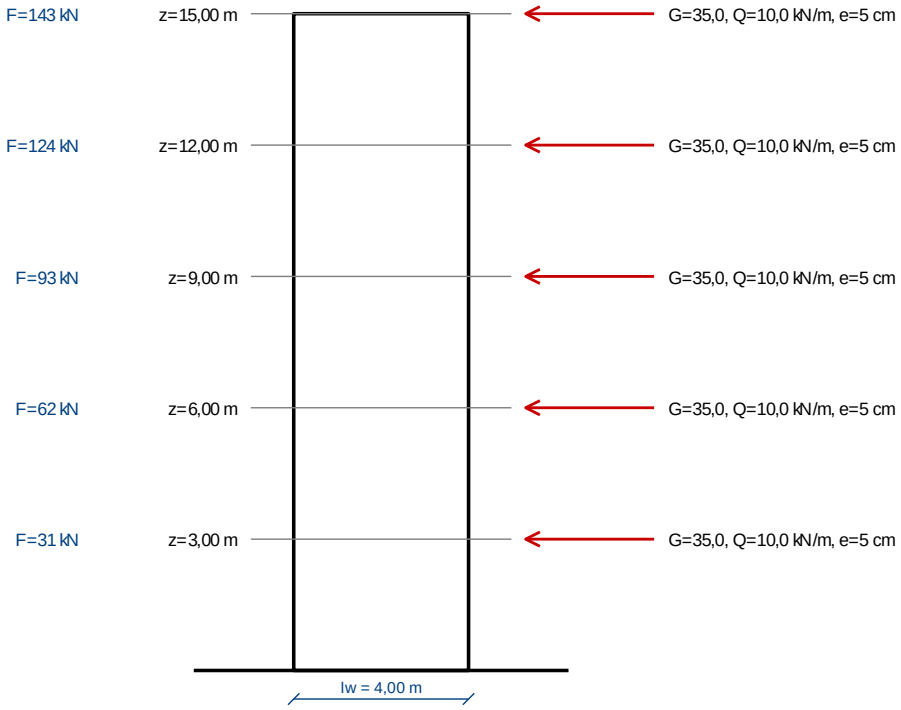
1.1 Geometrija i materijali

Duljina zida l_w	4,00 m
Debljina zida b_w	25,0 cm
Ukupna visina H	15,00 m
Broj etaža	5
Zaštitni sloj c_{nom}	30 mm
Beton	C30/37; f_{cd} = 20,00 MPa; f_{ctm} = 2,90 MPa; E_{cm} = 32837 MPa
Armatura	B500B; f_{yd} = 434,8 MPa; E_s = 200000 MPa
γ_c / γ_s / α_{cc}	1,50 / 1,15 / 1,00
Dopuštena širina pukotine w_{max}	0,30 mm

Koeficijent puzanja φ	2,00
$\psi_{0,Q}$ / $\psi_{2,Q}$ / $\psi_{0,W}$	0,70 / 0,30 / 0,60

1.2 Reakcije ploča i ostala opterećenja po etažama

Etaža	h [m]	G [kN/m]	Q [kN/m]	e [cm]	Dod. masa [t]	W [kN]	z [m]
1	3,00	35,0	10,0	5,0	25,0	12,0	3,00
2	3,00	35,0	10,0	5,0	25,0	12,0	6,00
3	3,00	35,0	10,0	5,0	25,0	12,0	9,00
4	3,00	35,0	10,0	5,0	25,0	12,0	12,00
5	3,00	35,0	10,0	5,0	25,0	12,0	15,00



Slika 1. Shema zida i opterećenja

2. Karakteristični učinci

Vlastita težina računa se s γ = 25 kN/m³. Reakcije ploča djeluju jednoliko po duljini zida. Sile su na dnu etaže.

Etaža	N_G [kN]	N_Q [kN]	V_W [kN]	M_W [kNm]
1	1075,0	200,0	60,0	540,0
2	860,0	160,0	48,0	360,0
3	645,0	120,0	36,0	216,0
4	430,0	80,0	24,0	108,0
5	215,0	40,0	12,0	36,0

3. Potresni proračun (HRN EN 1998-1)

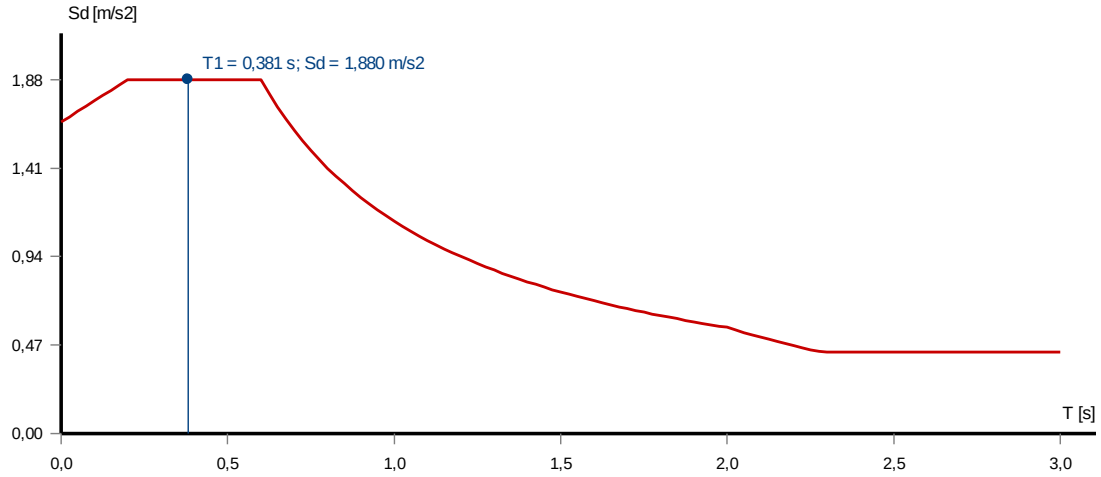
3.1 Parametri

Referentno ubrzanje a_{gR} = 0,220 g; faktor važnosti γ_I = 1,00; a_g = 2,158 m/s².

Tlo: razred C; spektar tip 1; S = 1,15; T_B = 0,20 s; T_C = 0,60 s; T_D = 2,00 s; β = 0,20.

Razred duktilnosti: DCM; faktor ponašanja q = $q_0 k_w$ = 3,30 · 1,00 = 3,30.

Osnovni period: $T_1 = C_t H^{3/4}$, C_t = 0,05; T_1 = 0,381 s; $S_d(T_1)$ = 1,880 m/s².



Slika 2. Proračunski spektar odziva

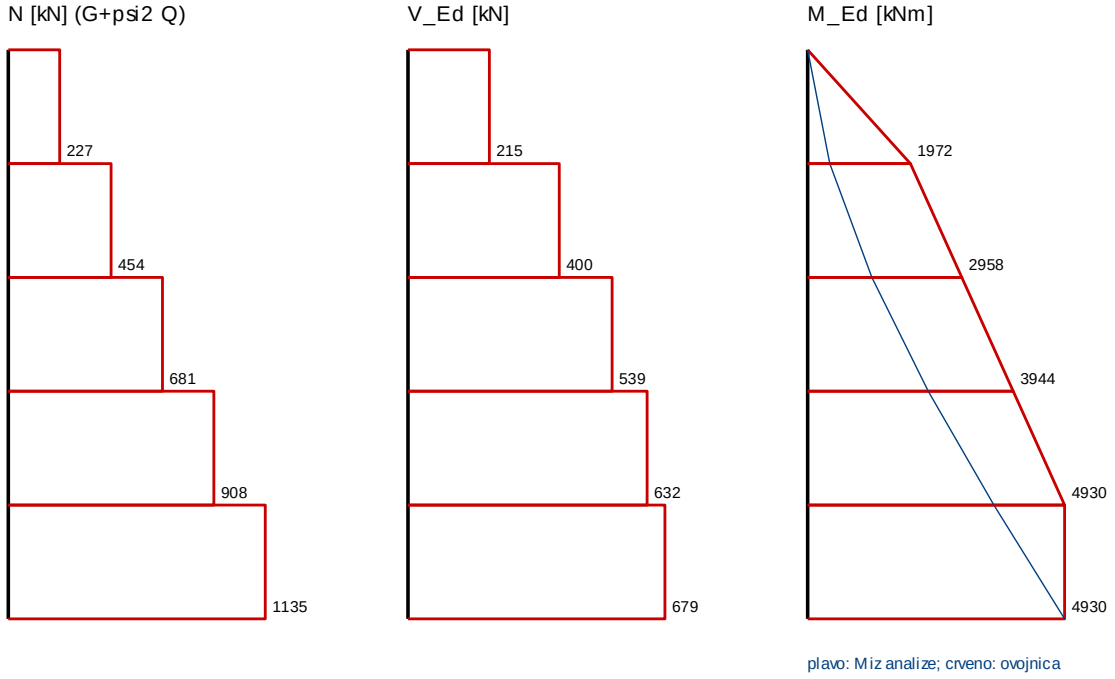
3.2 Potresne sile

Metoda bočnih sila: $F_b = S_d(T_1)\cdot m\cdot\lambda = 1{,}880 \cdot 235{,}9 \cdot 0{,}85 = 377{,}0$ kN. Raspodjela prema $F_i = F_b\, z_i m_i / \Sigma(z_j m_j)$, uvećano za slučajnu torziju $\delta = 1{,}20$.

Etaža	m_i [t]	F_i [kN]	V_E [kN]	M_E [kNm]	$M_{Ed,ovoj.}$ [kNm]
1	47,9	30,9	452,4	4930,4	4930,4
2	47,9	61,9	421,5	3573,1	4930,4
3	47,9	92,8	359,6	2308,7	3944,3
4	47,9	123,7	266,8	1229,8	2958,2
5	44,3	143,1	143,1	429,3	1972,1

Visina kritičnog područja $h_{cr} = 3{,}00$ m. Proračunska poprečna sila $V_{Ed} = \varepsilon \cdot V'_{Ed}$, $\varepsilon = 1{,}50$ (5.4.2.4(7)).

Zid je vitak ($h_w/l_w > 2$): primijenjena je linearna ovojnica momenata s pomakom $a_1 = h_{cr}$ (5.4.2.4(5)).



Slika 3. Dijagrami sila u potresnoj proračunskoj situaciji

3.3 Pomaci i učinci drugog reda

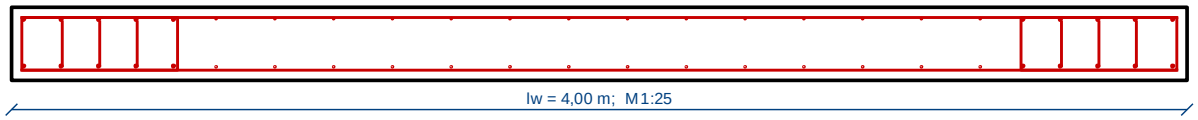
Krutost: $0{,}5E_{cm}I_g$ i $0{,}5GA_v$. Faktor redukcije pomaka $\nu = 0{,}50$, granica međukatnog pomaka $d_r\nu \le 0{,}0050h$.

Etaža	d_e [mm]	d_s [mm]	d_r [mm]	$d_r\nu/h$	θ
1	1,16	3,82	3,82	0,00064	0,0032
2	3,78	12,46	8,64	0,00144	0,0062
3	7,32	24,17	11,71	0,00195	0,0074
4	11,35	37,44	13,28	0,00221	0,0075

Etaža	d_e [mm]	d_s [mm]	d_r [mm]	d_rv/h	θ
5	15,51	51,17	13,73	0,00229	0,0073

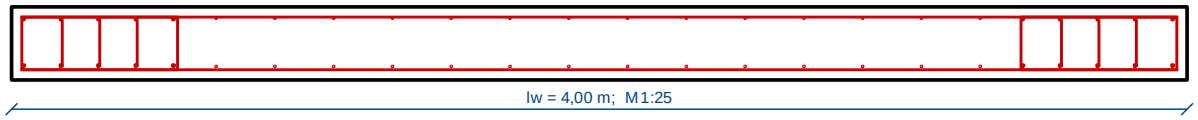
4. Odabrana armatura

Zona	Etaže	Rubni el.	Spone	Hrbat vert.	Hrbat horiz.
1	1 - 1	10Ø14	Ø8/9,0 cm	Ø8/20,0 cm	Ø8/20,0 cm



Presjek zone 1

2	2 - 5	10Ø14	Ø8/25,0 cm	Ø8/20,0 cm	Ø8/20,0 cm



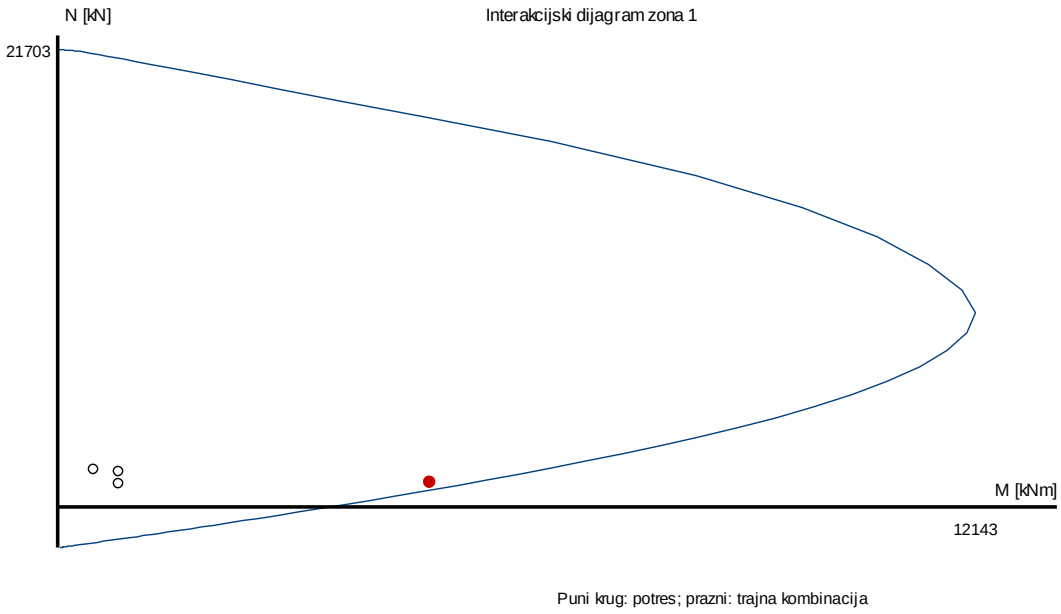
Presjek zone 2

5. Granično stanje nosivosti

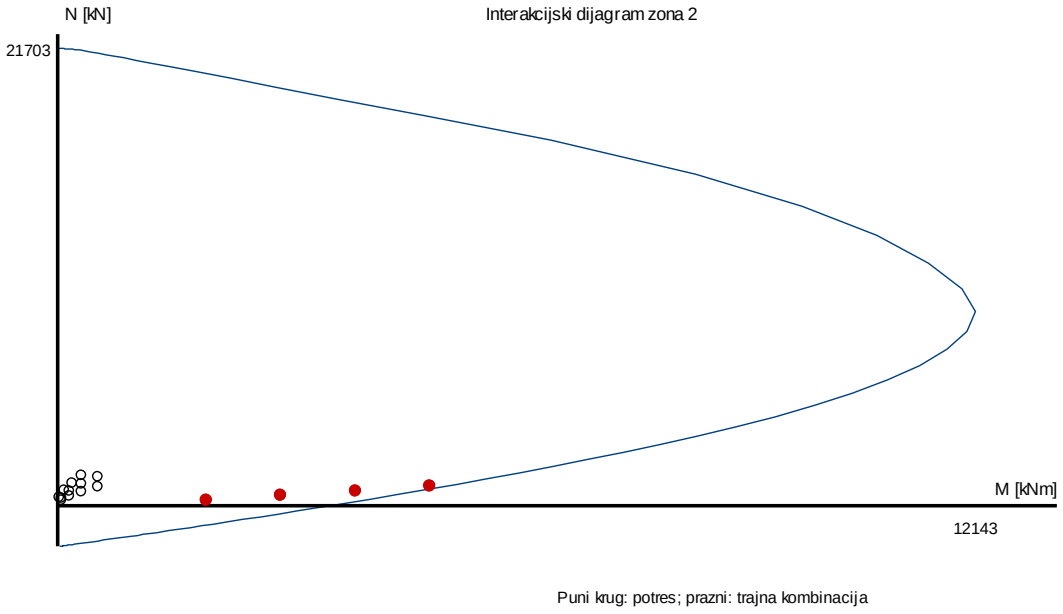
5.1 Savijanje s uzdužnom silom

Nosivost je određena integracijom po presjeku s parabola-pravokutnik dijagramom betona (ε_{c2} = 2,0 promila, ε_{cu2} = 3,5 promila) i bilinearnim dijagramom čelika, uz sve stvarne šipke. Kombinacije: 6.10 (trajna) i 6.12b (potresna).

Etaža	Mjerodavna kombinacija	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed}/M_{Rd}
1	G + ψ_2Q + E	1135,0	4930,4	5471,7	0,901
2	G + ψ_2Q + E	908,0	4930,4	5114,4	0,964
3	G + ψ_2Q + E	681,0	3944,3	4750,5	0,830
4	G + ψ_2Q + E	454,0	2958,2	4379,2	0,676
5	G + ψ_2Q + E	227,0	1972,1	4004,2	0,493



Interakcijski dijagram N-M, zona 1



Interakcijski dijagram N-M, zona 2

5.2 Poprečna sila

$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s)\, z\, f_{ywd}\, \cot\theta$; $V_{Rd,max} = b_w\, z\, \nu_1\, f_{cd}/(\cot\theta + \tan\theta)$; $z = 0{,}8 l_w$; $\cot\theta = 1{,}00$. Doprinos betona $V_{Rd,c}$ se zanemaruje.

Zona	Horiz. armatura	V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
1	Ø8/20,0 cm	678,6	699,3	4224,0
2	Ø8/20,0 cm	632,2	699,3	4224,0

5.3 Izvan ravnine zida (po m' duljine)

Ekscentrična reakcija ploče dijeli se na etažu iznad i ispod; na vrhu zida djeluje u cijelosti. Imperfekcija $e_i = l_0/400$, $l_0 = \beta\, h$. Učinci drugog reda metodom nazivne zakrivljenosti (5.8.8).

Etaža	N_{Ed} [kN/m]	M_{02} [kNm/m]	λ	λ_{lim}	M_2 [kNm/m]	M_{Ed}	M_{Rd}
1	437,8	1,56	41,6	39,2	11,80	16,01	70,17
2	350,3	1,56	41,6	43,8	0,00	7,00	62,03
3	262,7	1,56	41,6	50,6	0,00	5,25	53,78
4	175,1	1,56	41,6	61,9	0,00	3,50	45,23
5	87,6	3,11	41,6	87,6	0,00	3,77	35,86

6. Lokalna duktilnost rubnih elemenata

Prema HRN EN 1998-1, 5.4.3.4.2 za kritično područje (zona 1):

$\nu_d = N_{Ed}/(l_w b_w f_{cd}) = 0{,}057 \le 0{,}40$

$\omega_v = \rho_v f_{yd}/f_{cd} = 0{,}0437$

Faktor duktilnosti zakrivljenosti $\mu_\varphi = 10{,}82$ (q_0 zamijenjen s $q_0 M_{Ed}/M_{Rd}$), uvećano 1,5 za čelik razreda B (5.2.3.4(4)).

$b_0 = 18{,}2$ cm; $\alpha_n = 0{,}662$; $\alpha_s = 0{,}689$; $\alpha = 0{,}456$.

$\omega_{wd} = 0{,}248$; $\alpha\omega_{wd} = 0{,}113 \ge 30\mu_\varphi(\nu_d+\omega_v)\varepsilon_{sy,d} b_w/b_0 - 0{,}035 = 0{,}062$.

$\varepsilon_{cu2,c} = 0{,}0035 + 0{,}1\alpha\omega_{wd} = 0{,}01479$; $x_u = (\nu_d+\omega_v) l_w b_w/b_0 = 0{,}552$ m.

Potrebna duljina $l_c = \max(x_u(1-\varepsilon_{cu2}/\varepsilon_{cu2,c}); 0{,}15 l_w; 1{,}5 b_w) = 0{,}600$ m; odabrano $l_c = 0{,}60$ m.

Armatura rubnog elementa $\rho = 1{,}03\ \% \ge 0{,}5\ \%$.

7. Granično stanje uporabljivosti

Naprezanja su određena na raspucanom presjeku; za nazovistalnu kombinaciju $E_{c,eff} = E_{cm}/(1+\varphi)$. Širina pukotine prema 7.3.4.

Veličina	Vrijednost	Granica	Jed.
Tlak betona, karakteristična	2,02	18,00	MPa

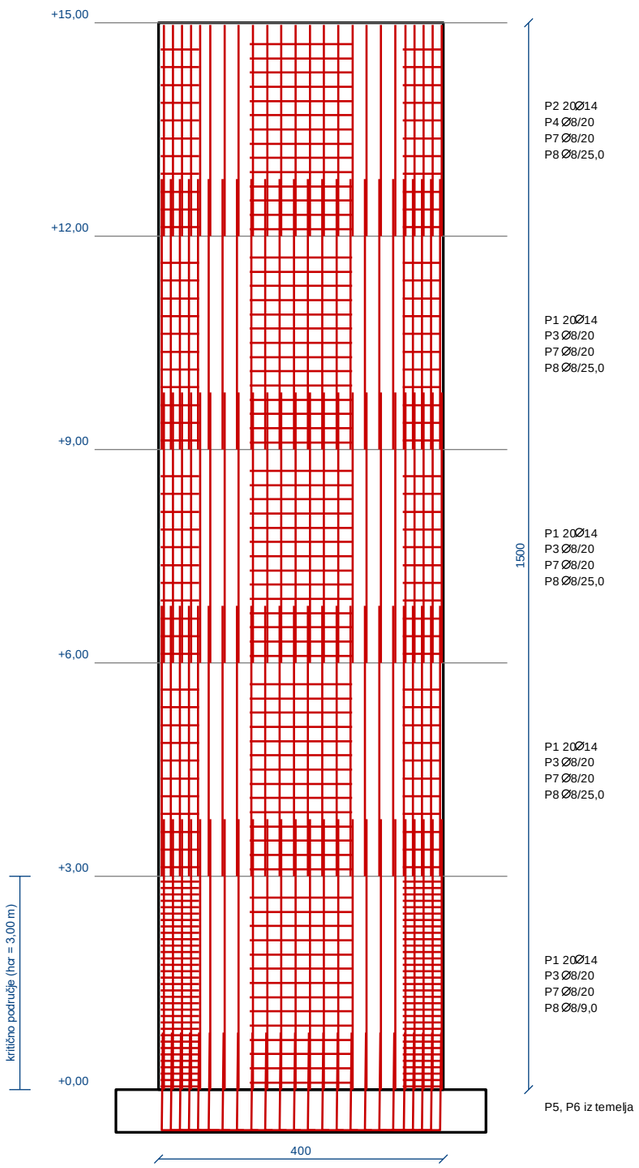
Veličina	Vrijednost	Granica	Jed.
Tlak betona, nazovistalna	1,14	13,50	MPa
Vlak armature, karakteristična	0,0	400,0	MPa
Pukotina u ravnini	0,000	0,30	mm
Pukotina izvan ravnine	0,000	0,30	mm
Pomak vrha, vjetar	1,57	30,00	mm

8. Pregled provjera

Grupa	Provjera	E_d	R_d	Jed.	OK
GSN	Savijanje s uzdužnom silom, zona 1 (M_{Ed}/M_{Rd})	0,901	1,000	-	DA
GSN	Poprečna sila, armatura, zona 1 ($V_{Ed} \le V_{Rd,s}$)	678,624	699,346	kN	DA
GSN	Poprečna sila, tlačne dijagonale, zona 1 ($V_{Ed} \le V_{Rd,max}$)	678,624	4224,000	kN	DA
GSN	Vertikalna armatura hrpta $\rho_v \ge 0,002$, zona 1	0,002	0,002	-	DA
GSN	Horizontalna armatura hrpta $\rho_h \ge \max(0,001; 0,25\rho_v)$, zona 1	0,002	0,001	-	DA
GSN	Razmak vert. šipki hrpta $s \le \min(3b; 400\ mm)$, zona 1	200,000	400,000	mm	DA
GSN	Razmak horiz. šipki $s \le 400$ mm, zona 1	200,000	400,000	mm	DA
Potres DCM	Normalizirana uzdužna sila $v_d \le 0,40$	0,057	0,400	-	DA
Potres DCM	Ovijanje $\alpha\omega_{wd} \ge 30\mu_\varphi(v_d+\omega_v)\varepsilon_{sy,d}b_c/b_0-0,035$	0,062	0,113	-	DA
Potres DCM	Minimalno ovijanje $\omega_{wd} \ge 0,08$	0,080	0,248	-	DA
Potres DCM	Duljina ovijenog rubnog elementa l_c	0,600	0,600	m	DA
Potres DCM	Armatura rubnog elementa $\rho \ge 0,005$	0,005	0,010	-	DA
Potres DCM	Razmak spona $s \le \min(b_0/2; 175; 8d_{bL})$	90,000	91,000	mm	DA
GSN	Savijanje s uzdužnom silom, zona 2 (M_{Ed}/M_{Rd})	0,964	1,000	-	DA
GSN	Poprečna sila, armatura, zona 2 ($V_{Ed} \le V_{Rd,s}$)	632,227	699,346	kN	DA
GSN	Poprečna sila, tlačne dijagonale, zona 2 ($V_{Ed} \le V_{Rd,max}$)	632,227	4224,000	kN	DA
GSN	Vertikalna armatura hrpta $\rho_v \ge 0,002$, zona 2	0,002	0,002	-	DA
GSN	Horizontalna armatura hrpta $\rho_h \ge \max(0,001; 0,25\rho_v)$, zona 2	0,002	0,001	-	DA
GSN	Razmak vert. šipki hrpta $s \le \min(3b; 400\ mm)$, zona 2	200,000	400,000	mm	DA
GSN	Razmak horiz. šipki $s \le 400$ mm, zona 2	200,000	400,000	mm	DA
GSN	Izvan ravnine, etaža 1 (M_{Ed}/M_{Rd} po m')	0,228	1,000	-	DA
GSN	Izvan ravnine, etaža 2 (M_{Ed}/M_{Rd} po m')	0,113	1,000	-	DA
GSN	Izvan ravnine, etaža 3 (M_{Ed}/M_{Rd} po m')	0,098	1,000	-	DA
GSN	Izvan ravnine, etaža 4 (M_{Ed}/M_{Rd} po m')	0,077	1,000	-	DA
GSN	Izvan ravnine, etaža 5 (M_{Ed}/M_{Rd} po m')	0,105	1,000	-	DA
GSU	Tlačno naprezanje betona, karakt. $\sigma_c \le 0,6f_{ck}$	2,025	18,000	MPa	DA
GSU	Tlačno naprezanje betona, nazovistalna $\sigma_c \le 0,45f_{ck}$	1,135	13,500	MPa	DA
GSU	Naprezanje armature, karakt. $\sigma_s \le 0,8f_{yk}$	0,000	400,000	MPa	DA
GSU	Širina pukotine u ravnini, nazovistalna w_k	0,000	0,300	mm	DA
GSU	Širina pukotine izvan ravnine, nazovistalna w_k	0,000	0,300	mm	DA
GSU	Horizontalni pomak vrha (karakt. vjetar) $u \le H/500$	1,575	30,000	mm	DA
Potres	Međukatni pomak, etaža 1 $d_rv \le$ granica	1,912	15,000	mm	DA
Potres	Međukatni pomak, etaža 2 $d_rv \le$ granica	4,319	15,000	mm	DA
Potres	Međukatni pomak, etaža 3 $d_rv \le$ granica	5,853	15,000	mm	DA
Potres	Međukatni pomak, etaža 4 $d_rv \le$ granica	6,638	15,000	mm	DA
Potres	Međukatni pomak, etaža 5 $d_rv \le$ granica	6,863	15,000	mm	DA
Potres	Učinci drugog reda $\theta_{max} \le 0,30$	0,008	0,300	-	DA
Geometrija	Debljina zida $b_w \ge \max(0,15; h_s/20)$	0,150	0,250	m	DA
Geometrija	Debljina rubnog elementa (5.4.3.4.2(10))	0,200	0,250	m	DA
Geometrija	Klasa betona najmanje C16/20	16,000	30,000	MPa	DA

Napomena: Metoda bočnih sila pretpostavlja pravilnost po visini i učešće mase u prvom tonu.

POGLED ZIDA Z1 M 1:75

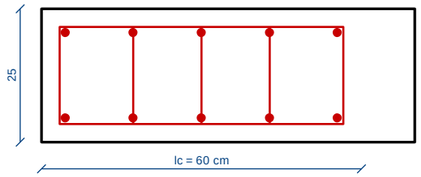


PRESJEK ZONE 1 (etaže 1-1) M 1:50



Rubni element: 10 Ø14, spone @8/9,0 cm, lc = 0,60 m
Hrbat: vert. Ø8/20,0 cm, horiz. @8/20,0 cm obostrano
Preklop l0 = 80 cm

Detalj rubnog elementa M 1:10

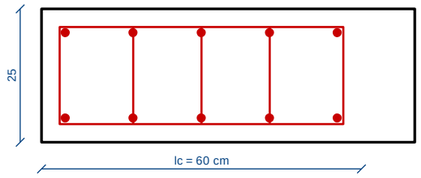


PRESJEK ZONE 2 (etaže 2-5) M 1:50



Rubni element: 10 Ø14, spone @8/25,0 cm, lc = 0,60 m
Hrbat: vert. Ø8/20,0 cm, horiz. @8/20,0 cm obostrano
Preklop l0 = 80 cm

Detalj rubnog elementa M 1:10



ISKAZ ARMATURE - B500B

Poz	Ø	Oblik	Mjere cm	L (m)	kom	Masa kg
1	14		380	3,80	80	367,4
2	14		297	2,97	20	71,8
3	8		380	3,80	112	167,9
4	8		297	2,97	28	32,8
5	14		30/137	1,67	20	40,4
6	8		30/137	1,67	28	18,5
7	8		8/394	4,10	140	226,5
8	8		53/18	1,59	154	96,5
9	8		18	0,34	462	62,3

Ø14 : 396,8 m ; 479,5 kg
Ø8 : 1532,1 m ; 604,5 kg

UKUPNO armatura: 1084,0 kg (72,3 kg/m3)

Beton C30/37: 15,00 m3 Oplata: 127,5 m2

NACRT ARMATURE ZIDA Z1

Građevina: Primjer

Projekt: Stambena zgrada

Projektant: Beton C30/37, B500B, c = 30 mm

RCWall

9. Iskaz materijala

9.1 Iskaz armature

Poz.	Ø [mm]	Oblik	a / b [cm]	L [m]	kom	Ukupno [m]	Masa [kg]
1	14	ravna	0,0 / 380,0	3,80	80	304,0	367,4
2	14	ravna	0,0 / 297,0	2,97	20	59,4	71,8
3	8	ravna	0,0 / 380,0	3,80	112	425,6	167,9
4	8	ravna	0,0 / 297,0	2,97	28	83,2	32,8
5	14	L	30,0 / 137,0	1,67	20	33,4	40,4
6	8	L	30,0 / 137,0	1,67	28	46,8	18,5
7	8	C	8,0 / 394,0	4,10	140	574,0	226,5
8	8	spona	53,2 / 18,2	1,59	154	244,6	96,5
9	8	poprečna veza	0,0 / 18,2	0,34	462	158,0	62,3

9.2 Rekapitulacija po promjerima

Promjer	Ukupna duljina [m]	Masa [kg]
Ø14	396,8	479,5
Ø8	1532,1	604,5
UKUPNO B500B		**1084,0**

9.3 Beton i oplata

Beton C30/37	15,00	m^3
Oplata zida (bruto)	127,50	m^2
Armatura po m^3 betona	72,3	kg/m^3

Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCPunching

10 Program RCPunching

Proračun armature za proboj

Stup: S1

Datum: 15.11.2026.

Norma: HRN EN 1992-1-1, točke 6.4 i 9.4.3

10.1 Ulazni podaci

Stup		Ploča	
Oblik presjeka	pravokutni	Debljina h [mm]	250
Položaj	unutarnji (u polju ploče)	Zaštitni sloj c [mm]	30
cx [mm] (okomito na rub)	400	Armatura x (vanjski sloj)	Ø16/125
cy [mm] (uz rub)	400	Armatura y	Ø16/125

Materijali i koeficijenti		Opterećenje i armatura	
fck [MPa]	30	VEd [kN]	700,0
fywk [MPa]	500	Mx [kNm] (ekscentricitet u smjeru x)	0,0

Materijali i koeficijenti		Opterećenje i armatura	
γc / γs	1,50 / 1,15	My [kNm] (ekscentricitet u smjeru y)	0,0
αcc	1,00	σcp [MPa]	0,00
CRd,c = koef. / γc	0,18 / γc	Vrsta armature	moždanici s glavama na krakovima
k1 / koef. vRd,max	0,10 / 0,40	Promjer armature za proboj [mm]	Ø10

10.2 Proračunske čvrstoće materijala

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1{,}00 \cdot 30}{1{,}50} = 20{,}00 \text{ MPa}$$ 3.15

$$f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd,ef} = \min\left(250 + 0{,}25d; f_{ywd}\right) = \min(301{,}0; 434{,}8) = 301{,}0 \text{ MPa}$$ 6.4.5(1)

10.3 Statička visina i koeficijent armiranja

$$d_x = \text{h-c-}\frac{Ø_x}{2} = \text{250-30-}\frac{16}{2} = 212{,}0 \text{ mm}$$

$$d_y = \text{h-c-}Ø_x\text{-}\frac{Ø_y}{2} = \text{250-30-16-}\frac{16}{2} = 196{,}0 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{212{,}0 + 196{,}0}{2} = 204{,}0 \text{ mm}$$ 6.32

$$\rho_{l,x} = \frac{A_{s,x}}{1000 d_x} = \frac{1608}{1000 \cdot 212{,}0} = 0{,}00759, \quad \rho_{l,y} = \frac{1608}{1000 \cdot 196{,}0} = 0{,}00821$$

$$\rho_l = \min\left(\sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}}; 0{,}02\right) = 0{,}00789$$ 6.4.4(1)

10.4 Kontrolni opsezi

Osnovni kontrolni opseg u_1 nalazi se na udaljenosti $2d = 408$ mm od lica stupa.

$$u_1 = 2\left(c_x + c_y\right) + 4\pi d = 2(400 + 400) + 4\pi \cdot 204{,}0 = 4164 \text{ mm}$$ sl. 6.13

Opseg uz rub stupa:

$$u_0 = 2\left(c_x + c_y\right) = 1600 \text{ mm}$$ 6.4.5(3)

10.5 Koeficijent povećanja poprečne sile

Primijenjena je približna vrijednost iz slike 6.21N za ovaj položaj stupa (6.4.3(6)):

$$\beta = 1{,}15$$ sl. 6.21N

10.6 Provjera uz rub stupa

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = \frac{1{,}150 \cdot 700000}{1600 \cdot 204{,}0} = 2{,}466 \text{ MPa}$$ 6.53

$$\nu = 0{,}6\left(1\text{-}\frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}528$$ 6.6N

$v_{Rd,max} = 0{,}40 \nu f_{cd} = 0{,}40 \cdot 0{,}528 \cdot 20{,}00 = 4{,}224 \text{ MPa}$ 6.4.5(3)

$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$ - zadovoljava.

10.7 Nosivost bez armature za proboj

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} = \frac{1{,}150 \cdot 700000}{4164 \cdot 204{,}0} = 0{,}948 \text{ MPa}$$ 6.38

$$k = \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}; 2{,}0\right) = 1{,}990$$ 6.4.4(1)

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = 0{,}120$$ NA

$$v_{min} = 0{,}035 k^{1{,}5} \sqrt{f_{ck}} = 0{,}538 \text{ MPa}$$ 6.3N

$$v_{Rd,c} = \max\left(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}; v_{min}\right) + k_1 \sigma_{cp}$$ 6.47

$v_{Rd,c} = \max(0{,}686; 0{,}538) + 0{,}10 \cdot 0{,}00 = 0{,}686 \text{ MPa}$

$v_{Ed,1} > v_{Rd,c}$ - potrebna je armatura za proboj.

10.8 Armatura za proboj

10.8.1 8.1 Vanjski kontrolni opseg

$$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} = \frac{1{,}150 \cdot 700000}{0{,}686 \cdot 204{,}0} = 5755 \text{ mm}$$ 6.54

Udaljenost vanjskog opsega od lica stupa (iz geometrije opsega na slici 1): $r_{out} = 661$ mm.
Zadnji red armature smije biti najviše 1,5 d unutar vanjskog opsega (6.4.5(4)):

$r_{pot} \geq r_{out}\text{-}1{,}5d = 355 \text{ mm}$ 6.4.5(4)

10.8.2 8.2 Razmaci

Radijalni razmak i udaljenost prvog reda od lica stupa (9.4.3):

$s_r = 150 \text{ mm} \leq 0{,}75d = 153 \text{ mm}$ 9.4.3(1)

$0{,}3d = 61 \leq s_0 = 100 \leq 0{,}5d = 102 \text{ mm}$ sl. 9.10

10.8.3 8.3 Potrebna površina po opsegu

$$v_{Rd,cs} = 0{,}75 v_{Rd,c} + 1{,}5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin\alpha \geq v_{Ed,1}$$ 6.52

$$A_{sw,pot} = \frac{(v_{Ed,1}\text{-}0{,}75 v_{Rd,c}) s_r u_1}{1{,}5 f_{ywd,ef}} = \frac{(0{,}948\text{-}0{,}75 \cdot 0{,}686) \cdot 150 \cdot 4164}{1{,}5 \cdot 301{,}0} = 600 \text{ mm}^2$$

10.8.4 8.4 Odabrani raspored

Veličina	Vrijednost
Vrsta armature	moždanici s glavama na krakovima
Promjer šipke / površina jedne šipke	Ø10 / 78,5 mm2
Broj radijalnih krakova	16
Broj opsega (redova) na svakom kraku	3
Ukupno šipki	48 kom

Veličina	Vrijednost
Udaljenost prvog i zadnjeg reda od lica stupa	100 / 400 mm
Visina šipke (približno h - 2c)	190 mm

Provedena površina po opsegu:

$$A_{sw,prov} = 16 \cdot 78{,}5 = 1257\ \text{mm}^2 \geq 600\ \text{mm}^2$$

$$v_{Rd,cs} = 0{,}75 \cdot 0{,}686 + 1{,}5\frac{204{,}0}{150}1257 \cdot 301{,}0\frac{1}{4164 \cdot 204{,}0} = 1{,}423\ \text{MPa} \geq 0{,}948\ \text{MPa} \quad \text{6.52}$$

Provjera tangencijalnog razmaka (9.4.3(1)):

$$s_{t,max} = 305\ \text{mm} \leq 1{,}5d = 306\ \text{mm (unutar 2d)} \quad \text{9.4.3(1)}$$

Najmanja površina jedne šipke:

$$A_{sw,min} = \frac{0{,}08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}\frac{s_r s_t}{1{,}5\sin\alpha + \cos\alpha} = 26{,}7\ \text{mm}^2 \leq 78{,}5\ \text{mm}^2 \quad \text{9.11}$$

10.9 Zaključak

Provjera	Djelovanje [MPa]	Nosivost [MPa]	Rezultat
Rub stupa: vEd,0 / vRd,max	2,466	4,224	zadovoljava
Opseg u1: vEd,1 / vRd,cs	0,948	1,423	zadovoljava

Usvojeno: 16 krakova × 3 opsega, Ø10, moždanici s glavama na krakovima, sr = 150 mm, s0 = 100 mm.

10.9.1 Napomene

- Približne vrijednosti beta vrijede samo za pridržane sustave kod kojih se susjedni rasponi ne razlikuju više od 25 % (6.4.3(6)).

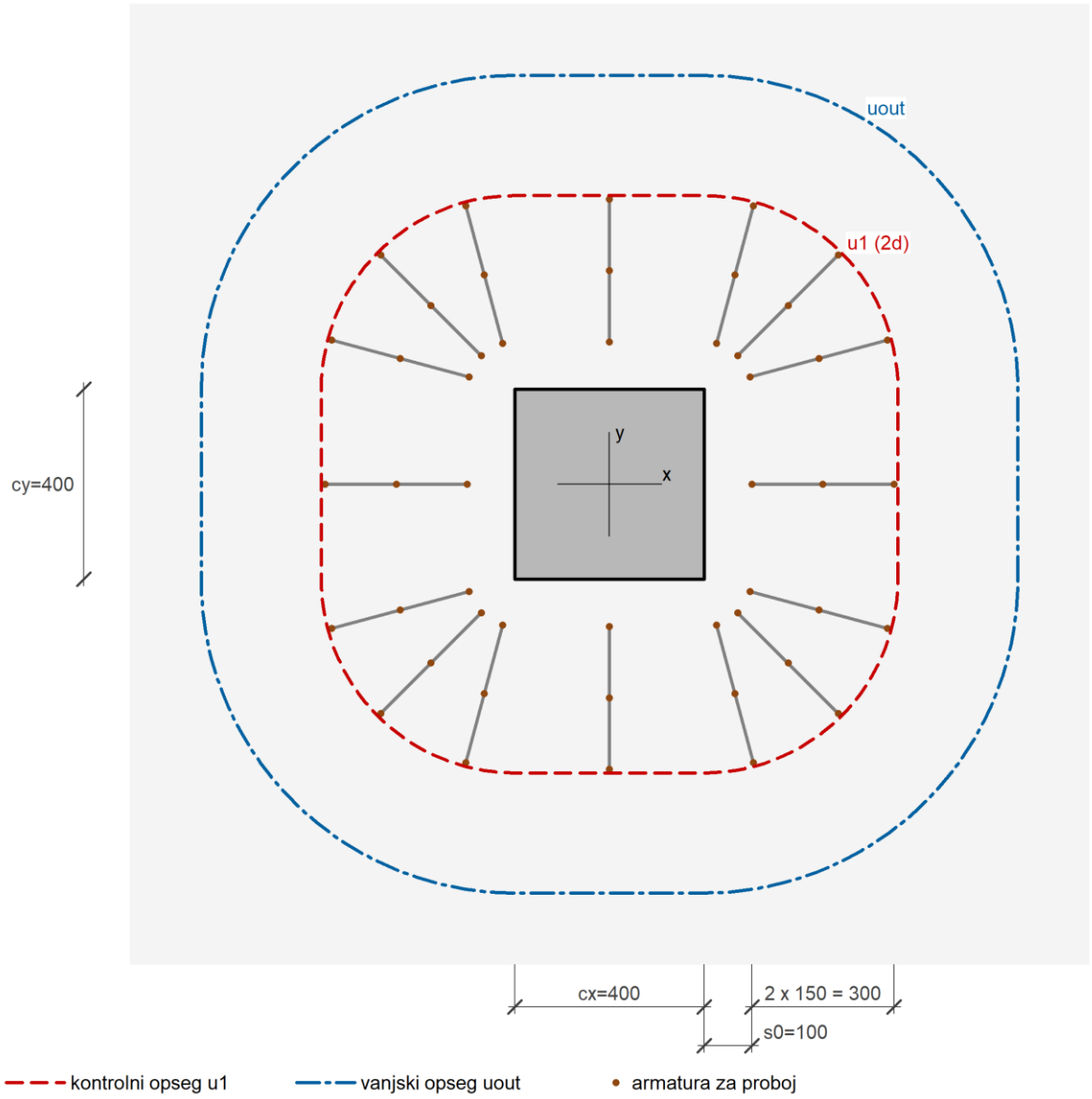
10.9.2 Osnova proračuna

Proračun prema HRN EN 1992-1-1, točke 6.4 i 9.4.3. Vrijednosti nacionalno određenih parametara navedene su u poglavlju 1.

Pretpostavke: armatura za proboj je okomita na ploču (α = 90°), ploča je konstantne debljine, bez otvora u blizini stupa i bez kapitela; armatura ploče je jednolika u širini oko stupa; temeljne ploče nisu obuhvaćene.

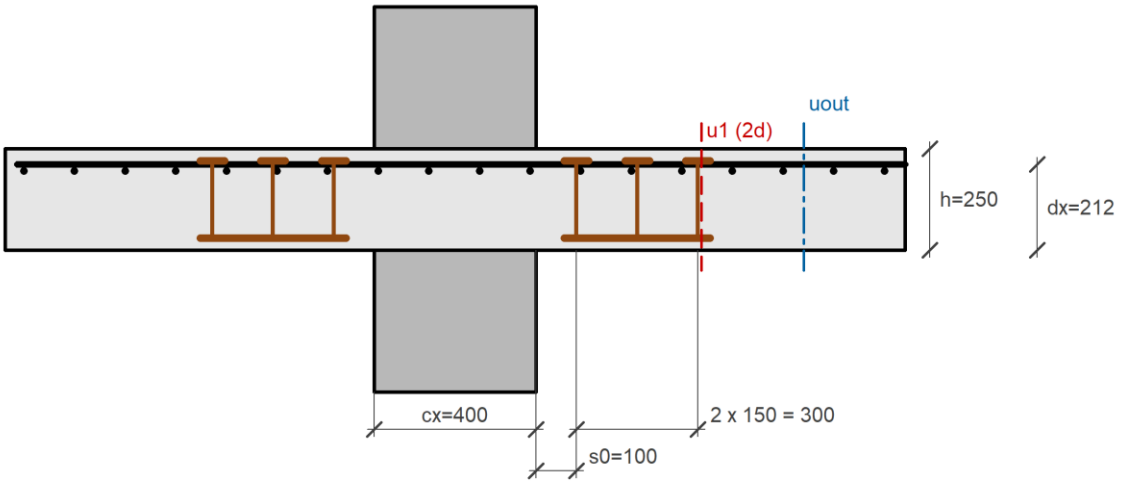
10.10 Crteži

TLOCRT 16 krakova x 3 opsega, ∅10



Slika 1: Tlocrt stupa, kontrolni opsezi i raspored armature za proboj (mm)

PRESJEK A-A (po krakovima)



Armatura: ∅10, krakova 16, opsega 3, ukupno 48 kom, visina 190 mm

Slika 2: Presjek po krakovima armature za proboj (mm)

RCDeepBeam
DEEP BEAM DESIGN · EN 1992-1-1

11 Program RCDeepBeam

PRORAČUN ZIDNOG NOSAČA ZN-1

Datum: 16.11.2026.

Proračun na granično stanje nosivosti (GSN) prema HRN EN 1992-1-1:2013 s nacionalnim dodatkom. Zidni nosač proračunava se kao prosta greda metodom tlačnih štapova i zatega (EC2 6.5); krak unutarnjih sila i zona rasporeda vlačne armature određeni su prema preporukama CEB-FIP / Leonhardt.

11.1 Ulazni podaci

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Svijetli raspon	l_n	5,00	m
Visina nosača	h	3,00	m
Debljina nosača	b	25,0	cm
Širina oslonca	t	30,0	cm
Zaštitni sloj betona	c_{nom}	3,0	cm
Dodatno stalno opterećenje	g_k	40,00	kN/m
Promjenjivo opterećenje	q_k	25,00	kN/m
Položaj dodatnog opterećenja	-	gornji rub	-
Beton	-	C30/37	-
Čelik za armiranje	-	B500B	-
Najveće zrno agregata	d_g	16	mm
Parcijalni koef. betona / čelika	γ_c / γ_s	1,50 / 1,15	-
Parcijalni koef. stalnog / promj. opt.	γ_G / γ_Q	1,35 / 1,50	-

11.2 Materijali

11.2.1 2.1. Beton C30/37

f_{ck} = 30,0 MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1{,}00 \cdot 30{,}0 / 1{,}50 =$ **20,00 MPa**
$f_{ctm} = 0{,}30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2{,}90$ MPa; $f_{ctk,0,05} = 0{,}7 \cdot f_{ctm} = 2{,}03$ MPa
$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1{,}0 \cdot 2{,}03 / 1{,}50 =$ **1,35 MPa**
$\nu' = 1 - f_{ck}/250 = 1 - 30/250 = 0{,}880$

11.2.2 2.2. Čelik B500B

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1{,}15 =$ **434,78 MPa**

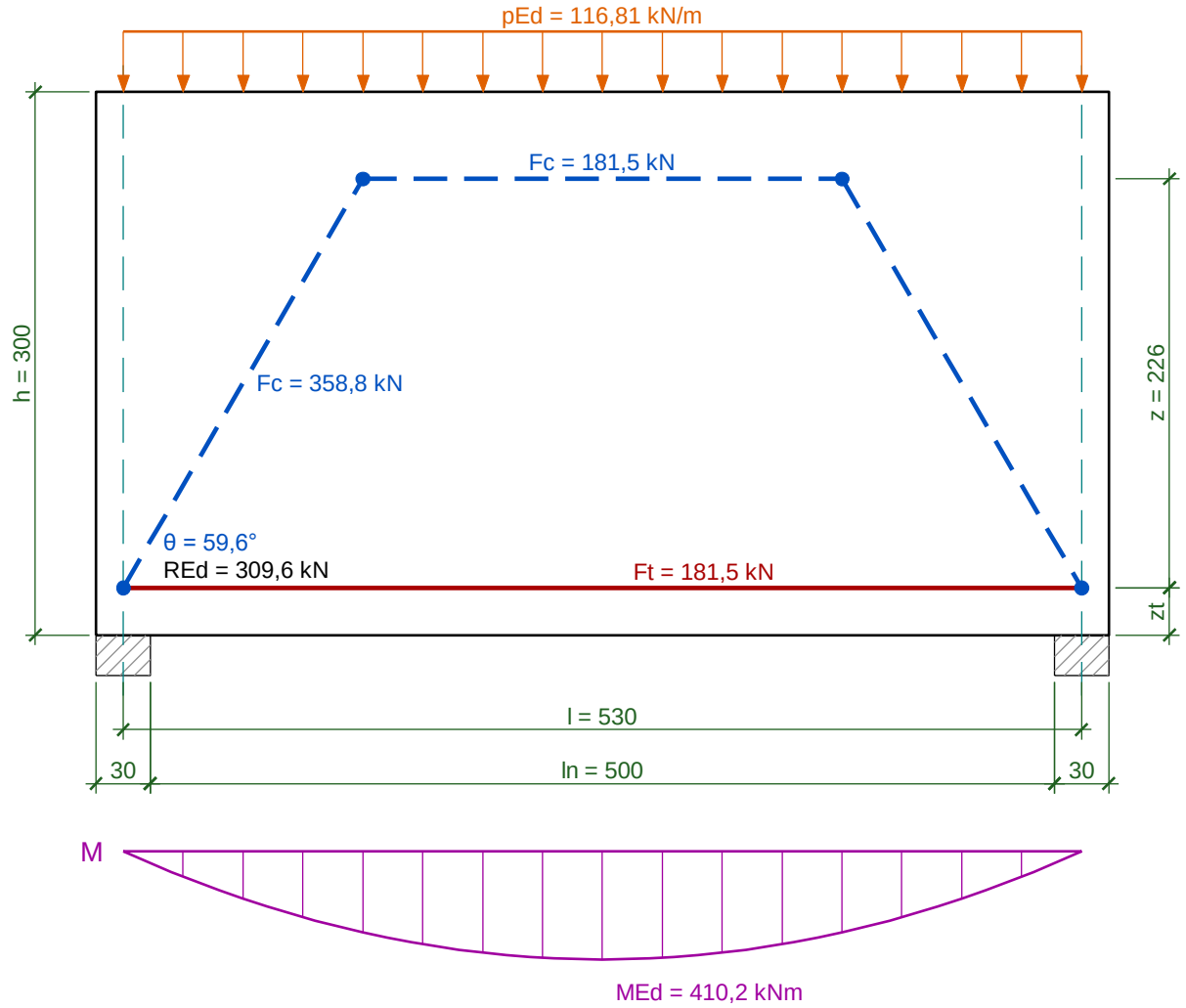
11.3 Geometrija i analiza opterećenja

Ukupna duljina nosača: $L = l_n + 2 \cdot t = 5{,}00 + 2 \cdot 0{,}30 = 5{,}60$ m
Računski raspon (EC2 5.3.2.2): $l = l_n + 2 \cdot (t/2) = 5{,}00 + 0{,}30 =$ **5,30 m**
Omjer raspona i visine: $l / h = 5{,}30 / 3{,}00 = 1{,}77$
$l / h = 1{,}77 < 3{,}0$ (EC2 5.3.1(3): zidni nosač) → **ZADOVOLJAVA**
Djelotvorna visina: $h_{ef} = \min(h; l) = 3{,}00$ m

11.3.1 3.1. Opterećenje

Vlastita težina: $g_{sw} = \rho_c \cdot b \cdot h = 25{,}0 \cdot 0{,}250 \cdot 3{,}00 = 18{,}75$ kN/m
Ukupno stalno: $g_{k,uk} = g_{sw} + g_k = 18{,}75 + 40{,}00 = 58{,}75$ kN/m
Promjenjivo: $q_k = 25{,}00$ kN/m
Računsko opterećenje (GSN, izraz 6.10): $p_{Ed} = \gamma_G \cdot g_{k,uk} + \gamma_Q \cdot q_k = 1{,}35 \cdot 58{,}75 + 1{,}50 \cdot 25{,}00 =$ **116,81 kN/m**

11.4 Statički sustav i unutarnje sile



Slika 1. Statički sustav, opterećenje, model tlačnih štapova i zatega i dijagram momenata

$M_{Ed} = p_{Ed} \cdot l^2 / 8 = 116{,}81 \cdot 5{,}30^2 / 8 =$ **410,16 kNm**

$V_{Ed} = R_{Ed} = p_{Ed} \cdot l / 2 = 116{,}81 \cdot 5{,}30 / 2 =$ **309,55 kN**

11.5 Dimenzioniranje glavne vlačne armature

Krak unutarnjih sila za prostu gredu (CEB-FIP, Leonhardt):

$z = 0{,}2 \cdot (l + 2 \cdot h_{ef}) = 0{,}2 \cdot (5{,}30 + 2 \cdot 3{,}00) = 2{,}260$ m; $z \le 0{,}85 \cdot h_{ef} = 2{,}550$ m

$z =$ **2,260 m**

Sila u zatezi: $F_t = M_{Ed} / z = 410{,}16 / 2{,}260 =$ **181,49 kN**

Potrebna armatura: $A_{s,req} = F_t / f_{yd} = 181{,}49 \cdot 10^3 / 434{,}78 =$ **4,17 cm²**

Vlačnu armaturu treba rasporediti u donjoj zoni visine:

$h_t = 0{,}25 \cdot h_{ef} - 0{,}05 \cdot l = 0{,}25 \cdot 3{,}00 - 0{,}05 \cdot 5{,}30 = 0{,}485$ m $\ge 0{,}10 \cdot h_{ef}$; $h_t =$ **0,485 m**

11.5.1 5.1. Odabrana armatura

Odabrano: 2 × 4 Ø12 = 8 Ø12 (obostrano; broj slojeva: 4, razmak slojeva 145 mm)

$A_{s,prov} = 9{,}05$ cm² $\ge A_{s,req} = 4{,}17$ cm² → **ZADOVOLJAVA**

Svijetli razmak slojeva s - Ø = 133 mm ≥ max(Ø; d_g+5; 20) = 21 mm → **ZADOVOLJAVA**

Težište zatege od donjeg ruba: $z_t = 262$ mm

11.6 Provjera tlačnih naprezanja (model štapova, EC2 6.5)

Opterećenje svake polovice raspona zamjenjuje se rezultantom u četvrtini raspona. Kosi tlačni štap spaja čvor nad ležajem s čvorom tlačnog pojasa.

Nagib tlačnog štapa: $\tan\theta = z / (l/4) = 2{,}260 / 1{,}325$; $\theta = 59{,}6°$
Sila u kosom štapu: $F_c = R_{Ed} / \sin\theta = 309{,}55 / 0{,}863 = 358{,}83$ kN

11.6.1 6.1. Čvor nad ležajem (tlak-tlak-vlak, EC2 6.5.4(4)b)

$\sigma_{Rd,max} = k_2 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 0{,}85 \cdot 0{,}880 \cdot 20{,}00 =$ **14,96 MPa**
Naprezanje na ležaju: $\sigma_{Ed} = R_{Ed} / (b \cdot t) = 309{,}55 \cdot 10^3 / (250 \cdot 300) = 4{,}13$ MPa ≤ 14,96 MPa → **ZADOVOLJAVA**
Širina kosog štapa: $w = t \cdot \sin\theta + 2 \cdot z_t \cdot \cos\theta = 300 \cdot 0{,}863 + 2 \cdot 262 \cdot 0{,}506 = 523$ mm
$\sigma_c = F_c / (b \cdot w) = 358{,}83 \cdot 10^3 / (250 \cdot 523) = 2{,}74$ MPa ≤ 14,96 MPa → **ZADOVOLJAVA**

11.6.2 6.2. Tlačni pojas u polju (tlak-tlak-tlak, EC2 6.5.4(4)a)

Visina tlačne zone: $x_c = 2 \cdot (h_{ef} - z_t - z) = 957$ mm
$\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 1{,}0 \cdot 0{,}880 \cdot 20{,}00 = 17{,}60$ MPa
$\sigma_{c,t} = F_t / (b \cdot x_c) = 181{,}49 \cdot 10^3 / (250 \cdot 957) = 0{,}76$ MPa ≤ 17,60 MPa → **ZADOVOLJAVA**

11.7 Sidrenje glavne armature (EC2 8.4)

Kod zidnih nosača sila u zatezi ne smanjuje se prema ležaju; zatega se sidri za punu silu F_t od unutarnjeg ruba ležaja.

$f_{bd} = 2{,}25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}35 = 3{,}04$ MPa (dobri uvjeti prionjivosti)
$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov} = 434{,}78 \cdot 4{,}17 / 9{,}05 = 200{,}59$ MPa
$l_{b,rqd} = (Ø/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) = (12/4) \cdot (200{,}59/3{,}04) = 198$ mm
Poprečni tlak na ležaju p = 4,13 MPa; $\alpha_5 = 1 - 0{,}04 \cdot p = 0{,}835$ ($0{,}7 \le \alpha_5 \le 1{,}0$)
$l_{b,min} = \max(0{,}3 \cdot l_{b,rqd};\ 10 \cdot Ø;\ 100\text{ mm}) = 120$ mm
$l_{bd} = \max(\alpha_5 \cdot l_{b,rqd};\ l_{b,min}) =$ **165 mm**
Raspoloživa duljina nad ležajem: $l_{b,rasp} = t - c_{nom} = 300 - 30 = 270$ mm
$l_{bd} = 165$ mm ≤ $l_{b,rasp} = 270$ mm - ravne šipke → **ZADOVOLJAVA**

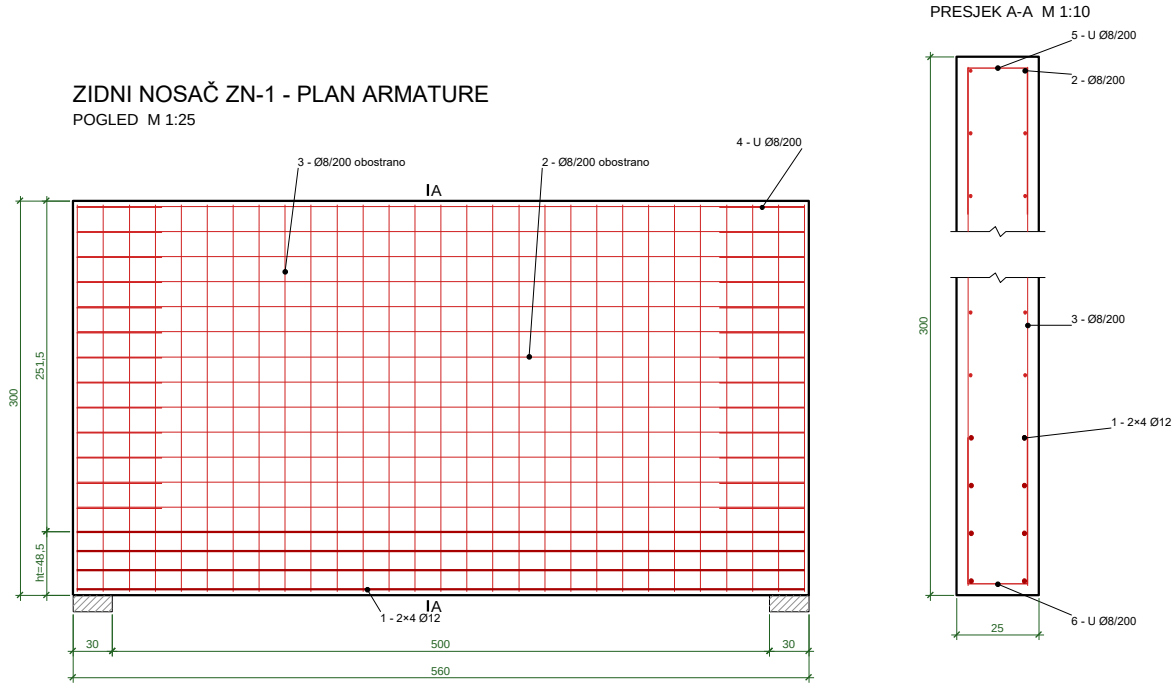
11.8 Mrežasta armatura hrpta (EC2 9.7)

$A_{s,db,min} = \max(0{,}1\ \% \cdot b \cdot 1000;\ 150) = \max(0{,}001 \cdot 250 \cdot 1000;\ 150) = 250$ mm²/m na svakoj strani i u svakom smjeru
$s_{max} = \min(2 \cdot b;\ 300\text{ mm}) = 300$ mm
Horizontalno: Ø8/200 mm obostrano, $a_s = 251$ mm²/m ≥ 250 mm²/m → **ZADOVOLJAVA**
Vertikalno: Ø8/200 mm obostrano, $a_s = 251$ mm²/m ≥ 250 mm²/m → **ZADOVOLJAVA**
Stvarni razmaci u nacrtu: horizontalno 191 mm, vertikalno 198 mm

11.8.1 8.1. Rubne U-vilice (preklop s mrežom, EC2 8.7.3, $\alpha_6 = 1{,}5$)

Horizontalne (loši uvjeti, $\eta_1 = 0{,}7$): $l_{b,rqd} = (8/4) \cdot (434{,}8/2{,}13) = 408$ mm; $l_0 = 613$ mm; a = 650 mm
Vertikalne (dobri uvjeti, $\eta_1 = 1{,}0$): $l_{b,rqd} = (8/4) \cdot (434{,}8/3{,}04) = 286$ mm; $l_0 = 429$ mm; a = 450 mm

11.9 Nacrt armature



ISKAZ ARMATURE - B500B

Poz.	Ø [mm]	Oblik i mjere [cm]	n [kom]	l [m]	L [m]	kg/m	Masa [kg]
1	12	554	8	5,54	44,32	0,888	39,35
2	8	553	26	5,53	143,78	0,395	56,73
3	8	294	58	2,94	170,52	0,395	67,28
4	8	18 65 65	26	1,48	38,48	0,395	15,18
5	8	19 45 45	29	1,09	31,61	0,395	12,47
6	8	19 45 45	29	1,09	31,61	0,395	12,47
		Ukupno Ø8			416,00	0,395	164,15
		Ukupno Ø12			44,32	0,888	39,35
		UKUPNO ARMATURA B500B					203,49

Beton: C30/37, V = 4,200 m³; Oplata: 36,35 m²; Potrošnja armature: 48,5 kg/m³
Armatura: B500B; zaštitni sloj cnom = 30 mm; mjere u iskazu su vanjske mjere šipki u cm.

Slika 2. Plan armature zidnog nosača ZN-1

11.10 Iskaz armature

Ø [mm]	Opis	Oblik	a [cm]	b [cm]	n [kom]	l [m]	L_{uk} [m]	Mas
12	glavna vlačna armatura (zatega)	ravna	554	-	8	5,54	44,32	39
8	horizontalna mreža (obostrano)	ravna	553	-	26	5,53	143,78	56
8	vertikalna mreža (obostrano)	ravna	294	-	58	2,94	170,52	67
8	U-vilice na krajevima nosača	U	65	18	26	1,48	38,48	15
8	U-vilice gornjeg ruba	U	45	19	29	1,09	31,61	12
8	U-vilice donjeg ruba	U	45	19	29	1,09	31,61	12

11.10.110.1. Rekapitulacija

Ø [mm]	L_{uk} [m]	[kg/m]	Masa [kg]
8	416,00	0,395	164,15

Ø [mm]	L_{uk} [m]	[kg/m]	Masa [kg]
12	44,32	0,888	39,35
Ukupno B500B			203,49

Beton C30/37: V = L·h·b = 5,60·3,00·0,250 = **4,200 m³**

Oplata: A = 2·L·h + 2·b·h + b·l_n = **36,35 m²**

Potrošnja armature: 48,5 kg/m³

11.11 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.
RCDeepBeam 1.1

DeepBeam STM
deep beams with openings | strut-and-tie | EN 1992-1-1

12 Program DeepBeamSTM

PRORAČUN ZIDNOG NOSAČA S OTVOROM
Projekt: Stambeno-poslovna građevina
Element: Zidni nosač ZN-1
Datum: 15.11.2026. Program: DeepBeam STM 2.0

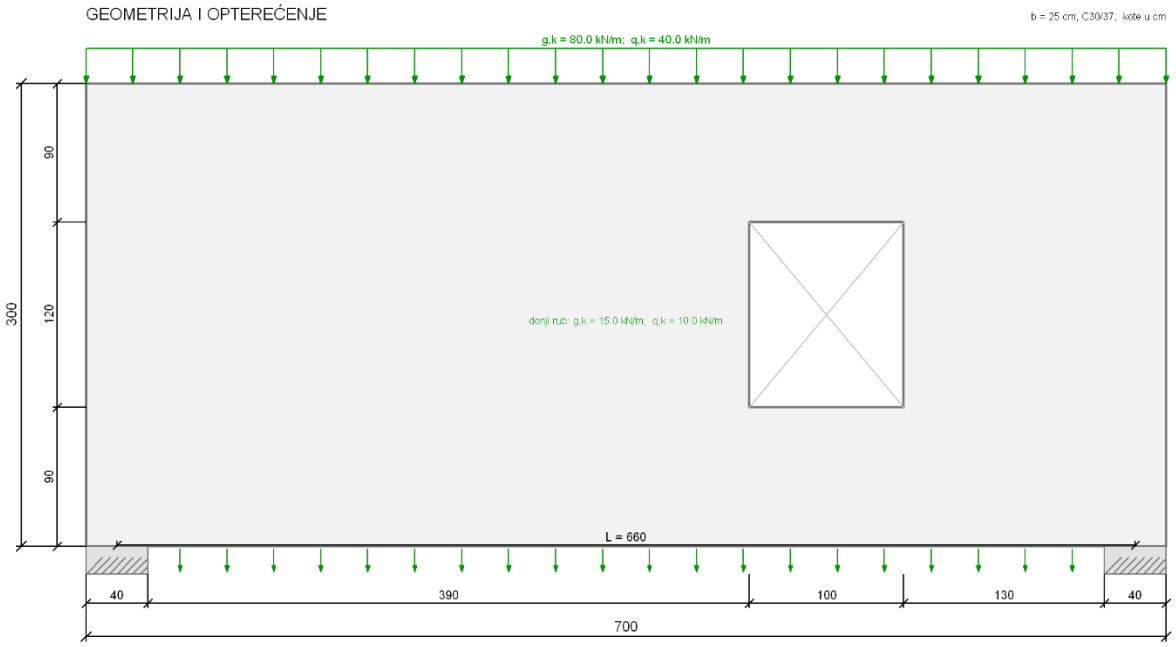
12.1 Uvod i metoda proračuna

Proračun graničnog stanja nosivosti (GSN) zidnog nosača provodi se metodom tlačnih štapova i zatega (strut-and-tie, STM) prema HRN EN 1992-1-1:2013 s nacionalnim dodatkom, točke 5.6.4 (modeli tlačnih štapova i zatega), 6.5 (dimenzioniranje štapova, zatega i čvorova), 8.4 (sidrenje) i 9.7 (zidni nosači).
Područje nosača diskretizirano je mrežom od 8 x 15 čvorova (118 aktivnih, čvorovi unutar otvora su uklonjeni). Osnovnu strukturu čini 710 mogućih štapova: horizontalni, vertikalni i kosi štapovi u svakom polju te dodatni strmiji i položeniji kosi štapovi (veze preko dva polja) koji omogućuju prirodan tok sila oko otvora.
Iz osnovne strukture optimizacijom (linearno programiranje, primalni simpleks s ograničenim varijablama) odabire se polje sila u ravnoteži s opterećenjem koje minimizira volumen zatega (Σ T·l, kose i raspodijeljene zatege uz veći težinski faktor) uz ograničenje nosivosti svakog tlačnog štapa F,c ≤ σ,Rd,max·b·w. Takvo rješenje je statički dopustivo i prema teoremu donje granice teorije plastičnosti na strani sigurnosti (EN 1992-1-1, 5.6.4(1)).
Rješenje: 1774 iteracija simpleksa, 152 aktivnih štapova, najveća greška ravnoteže 0,0000 kN.

12.2 Ulazni podaci

12.2.1 2.1 Geometrija

Oznaka	Opis	Vrijednost
L,uk	ukupna duljina nosača	7000 mm
H	visina nosača	3000 mm
b	debljina nosača	250 mm
a	duljina oslonca (ležaja)	400 mm
L	raspon (osi ležajeva)	6600 mm
L/H	vitkost (zidni nosač za L/H < 3)	2,20
x,o / y,o	položaj donjeg lijevog kuta otvora	4300 / 900 mm
w,o x h,o	dimenzije otvora	1000 x 1200 mm
c	zaštitni sloj betona	30 mm



12.2.2 2.2 Materijal

Beton C30/37: f,ck = 30 MPa; γ,c = 1,50; α,cc = 1,00

f,cd = α,cc·f,ck / γ,c = 1,00·30 / 1,50 = 20,00 MPa

f,ctm = 0,30·f,ck^(2/3) = 2,90 MPa; f,ctk,0.05 = 0,7·f,ctm = 2,03 MPa; f,ctd = f,ctk,0.05/γ,c = 1,35 MPa

E,cm = 22·[(f,ck+8)/10]^0,3 = 32,8 GPa

ν' = 1 - f,ck/250 = 0,880

Armatura B500B: f,yk = 500 MPa; γ,s = 1,15; f,yd = 434,8 MPa; E,s = 200 GPa

Računske čvrstoće tlačnih štapova i čvorova (EN 1992-1-1, 6.5.2 i 6.5.4, preporučene vrijednosti k1 = 1,0; k2 = 0,85; k3 = 0,75):

Element	Izraz	σ,Rd,max [MPa]
tlačni štap s poprečnim vlakom (raspucano)	0,6·ν'·f,cd	10,56
tlačni štap bez poprečnog vlaka (gornji pojas)	f,cd	20,00
čvor CCC (samo tlak)	k1·ν'·f,cd	17,60
čvor CCT (jedna zatega - ležaj)	k2·ν'·f,cd	14,96
čvor CTT (više zatega)	k3·ν'·f,cd	13,20

12.3 Opterećenje i kombinacija za GSN

Osnovna kombinacija prema HRN EN 1990, izraz 6.10: E,d = γ,G·G,k + γ,Q·Q,k

gornji rub: q,Ed = 1,35·80,0 + 1,50·40,0 = 168,00 kN/m

donji rub (obješeno): q,Ed = 1,35·15,0 + 1,50·10,0 = 35,25 kN/m

vlastita težina: G,Ed = γ,G·ρ·b·A = 1,35·25,0·0,250·19,800 = 167,1 kN (raspodijeljeno na čvorove prema pripadnoj površini)

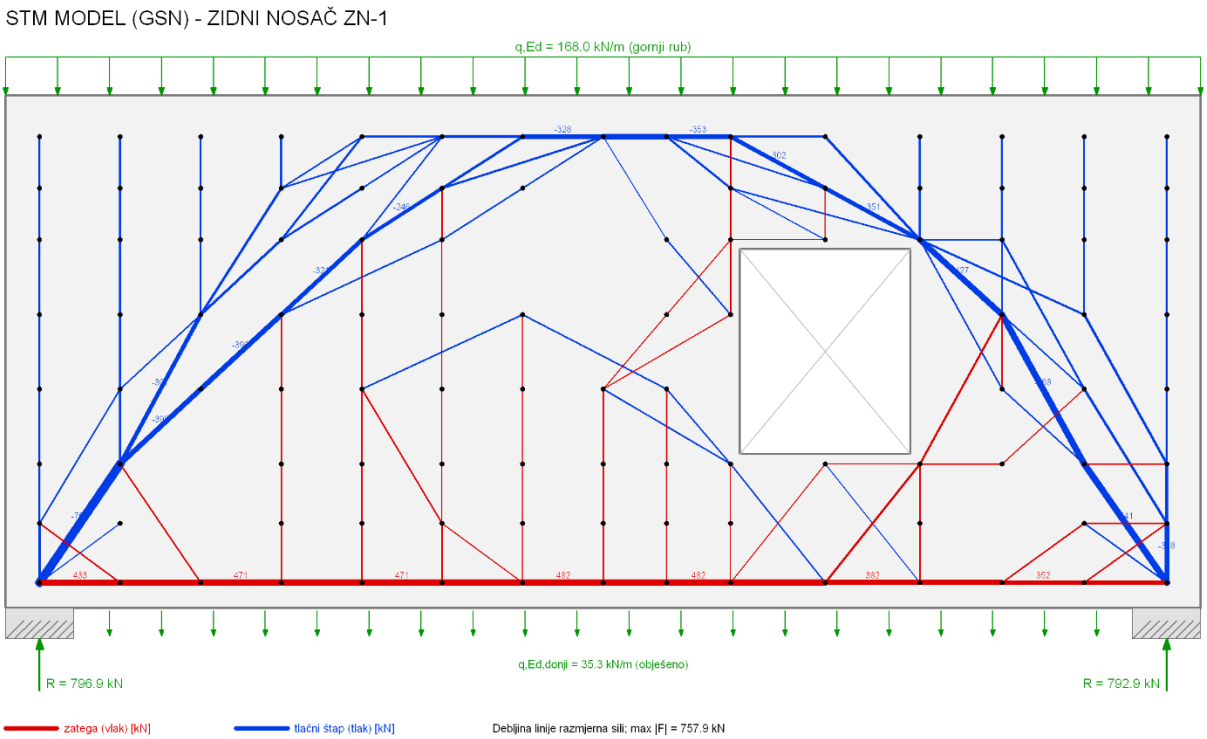
ukupno: ΣF,Ed = 1589,8 kN

reakcije: R,A = 796,9 kN; R,B = 792,9 kN; R,A + R,B = 1589,8 kN

✓ Ravnoteža zadovoljena (greška 0,0000 kN)

12.4 Model tlačnih štapova i zatega

Os glavne zatege na y = 150 mm, os gornjeg tlačnog pojasa na y = 2760 mm (krak unutarnjih sila z = 2610 mm). Os armature uz otvor je 55 mm od ruba otvora. Ležajevi su u osima x = 200 mm i x = 6800 mm.



Crveno - zatege (vlak), plavo - tlačni štapovi; debljina linije razmjerna je sili.

12.4.1 4.1 Sile u najopterećenijim štapovima

Štap (čvorovi)	Vrsta	Grupa	F [kN]	w [mm]	σ [MPa]	σ,Rd [MPa]	η
1-32	kosi	tlačni štap	-757,9	8	6,07	10,56	0,575
15-44	kosi	tlačni štap	-541,0	6	4,33	10,56	0,410
9-10	horizontalni	glavna donja zatega	481,7	-	-	-	-
7-8	horizontalni	glavna donja zatega	481,7	-	-	-	-
8-9	horizontalni	glavna donja zatega	481,7	-	-	-	-
10-11	horizontalni	glavna donja zatega	474,9	-	-	-	-
6-7	horizontalni	glavna donja zatega	471,6	-	-	-	-
5-6	horizontalni	glavna donja zatega	471,3	-	-	-	-
4-5	horizontalni	glavna donja zatega	471,3	-	-	-	-
3-4	horizontalni	glavna donja zatega	471,3	-	-	-	-
44-73	kosi	tlačni štap	-468,3	5	8,88	10,56	0,841
2-3	horizontalni	glavna donja zatega	459,2	-	-	-	-
113-114	horizontalni	tlačni štap	-456,6	5	4,67	20,00	0,233
1-2	horizontalni	glavna donja zatega	433,0	-	-	-	-
73-87	kosi	tlačni štap	-427,0	5	5,28	10,56	0,500
32-48	kosi	tlačni štap	-398,2	5	4,97	10,56	0,471

12.5 Provjera tlačnih štapova

Za svaki tlačni štap: σ,Ed = |F,Ed| / (b·w) ≤ σ,Rd,max, gdje je w računska širina štapa (pripadna širina polja mreže; u ležajnom čvoru w = a·sinθ + u·cosθ prema EN 1992-1-1, slika 6.27; dvije kose dijagonale istog polja dijele širinu razmjerno sili).

Mjerodavan štap 44-73 (kosi): F,Ed = 468,3 kN; w = 5 mm

σ,Ed = 468,3·10³ / (250·5) = 8,88 MPa; σ,Rd,max = 10,56 MPa

✓ η = 0,841 ≤ 1,0

12.6 Provjera čvorova

12.6.1 6.1 Ležajni čvorovi (CCT)

lijevi ležaj: σ,Ed = R,A / (b·a) = 796,9·10³ / (250·400) = 7,97 MPa ≤ 14,96 MPa

✓ η = 0,533

desni ležaj: σ,Ed = R,B / (b·a) = 792,9·10³ / (250·400) = 7,93 MPa ≤ 14,96 MPa

✓ η = 0,530

12.6.2 6.2 Čvorovi pod opterećenjem na gornjem rubu (CCC)

σ,Ed = q,Ed / b = 168,00 / 250 = 0,672 MPa ≤ 17,60 MPa

✓ η = 0,038

12.7 Zatege i odabir armature

Armatura zatega: A,s = F,Ed / f,yd (EN 1992-1-1, 6.5.3). Sila u grupi zatega je najveća sila u štapovima te grupe.

12.7.1 7.1 Glavna donja zatega

F,Ed = 481,7 kN (najveća sila u grupi "Glavna donja zatega")

A,s,req = F,Ed / f,yd = 481,7·10³ / 434,8 = 1108 mm²

Odabrano: 6Ø16 -> A,s,prov = 1206 mm²

✓ η = A,s,req / A,s,prov = 0,918 ≤ 1,0

Raspored: 3 sloja po 2 šipke (obostrano), razmak slojeva 41 mm, težište na y = 87 mm (os u modelu 150 mm)

12.7.2 7.2 Zatega ispod otvora

F,Ed = 15,9 kN (najveća sila u grupi "Zatega ispod otvora")

A,s,req = F,Ed / f,yd = 15,9·10³ / 434,8 = 37 mm²

Odabrano: 4Ø12 -> A,s,prov = 452 mm²

✓ η = A,s,req / A,s,prov = 0,081 ≤ 1,0

12.7.3 7.3 Zatega iznad otvora

F,Ed = 12,7 kN (najveća sila u grupi "Zatega iznad otvora")

A,s,req = F,Ed / f,yd = 12,7·10³ / 434,8 = 29 mm²

Odabrano: 4Ø12 -> A,s,prov = 452 mm²

✓ η = A,s,req / A,s,prov = 0,065 ≤ 1,0

12.7.4 7.4 Vertikale uz otvor

F,Ed = 65,2 kN (najveća sila u grupi "Vertikale uz otvor")

A,s,req = F,Ed / f,yd = 65,2·10³ / 434,8 = 150 mm²

Odabrano: 4Ø12 -> A,s,prov = 452 mm²

✓ η = A,s,req / A,s,prov = 0,331 ≤ 1,0

Armatura uz otvor: najmanje 2Ø12 po strani; u kutovima otvora dodaju se kose šipke Ø12 (konstruktivno) za ograničenje pukotina.

12.7.5 7.5 Gornji rub

F,Ed = 0,0 kN (najveća sila u grupi "Gornji rub")

A,s,req = F,Ed / f,yd = 0,0·10^3 / 434,8 = 0 mm^2

Odabrano: 2Ø12 -> A,s,prov = 226 mm^2

✓ η = A,s,req / A,s,prov = 0,000 ≤ 1,0

12.7.6 7.6 Hrptena armatura - mreža (EN 1992-1-1, 9.7)

A,s,dbmin = max(0,1%·b·1000; 150) = max(250; 150) = 250 mm^2/m po strani i smjeru

s,max = min(2b; 300) = 300 mm

horizontalno - zahtjev iz STM modela: 188 mm^2/m po strani

vertikalno - zahtjev iz STM modela i obješenog opterećenja: 236 mm^2/m po strani

✓ Odabrano obostrano: horizontalno Ø8/200 (251 mm²/m), vertikalno Ø8/200 (251 mm²/m)

Na krajevima nosača horizontalna mreža povezuje se ukosnicama (U-šipke) jednakog promjera i razmaka.

12.8 Sidrenje glavne zatege (EN 1992-1-1, 8.4 i 9.7(3))

f,bd = 2,25·η1·η2·f,ctd = 2,25·1,0·1,0·1,35 = 3,04 MPa (dobri uvjeti prionljivosti)

sila zatege na ležaju F,s = 433,0 kN (σ,sd = 358,9 MPa)

l,b,rqd = (Ø/4)·(σ,sd/f,bd) = (16/4)·(358,9/3,04) = 472 mm

l,b,min = max(0,3·l,b,rqd; 10Ø; 100) = 160 mm

raspoloživo iza unutarnjeg ruba ležaja: a - c = 400 - 30 = 370 mm

ravno sidrenje nije dovoljno -> povijeni krajevi (α1 = 0,7): l,bd = 330 mm

✓ Krajevi šipki povijeni prema gore, duljina kraka 200 mm

Armatura uz otvor sidri se ravno izvan ruba otvora (loši uvjeti, σ,sd = f,yd): l,a = 650 mm

12.9 Iskaz armature

Poz	Ø [mm]	Oblik	Namjena	Mjere [mm]	L [mm]	kom	Uk. L [m]	Masa [kg]
1	16	kuka	glavna donja zatega	200 / 6940 / 200	7340	6	44,04	69,5
2	12	ravna	gornji rub	6940	6940	2	13,88	12,3
3	8	ravna	horizontalna mreža	6924	6930	14	97,02	38,3
4	8	ravna	horiz. mreža lijevo od otvora	4232	4240	14	59,36	23,4
5	8	ravna	horiz. mreža desno od otvora	1632	1640	14	22,96	9,1
6	8	U	vertikalna mreža (U)	2924 / 182 / 2924	6030	31	186,93	73,8
7	8	U	vert. mreža ispod otvora (U)	824 / 182 / 824	1830	5	9,15	3,6
8	8	ravna	vert. mreža iznad otvora	820	820	10	8,20	3,2
9	12	ravna	ispod otvora	2300	2300	4	9,20	8,2
10	12	ravna	iznad otvora (nadvoj)	2300	2300	4	9,20	8,2
11	12	ravna	vertikalno uz otvor	2500	2500	8	20,00	17,8
12	12	ravna	kose u kutovima otvora (2 po kutu)	1300	1300	16	20,80	18,5
13	8	U	U-šipke - krajevi i bokovi otvora	650 / 166 / 650	1470	42	61,74	24,4
14	8	U	U-kape - vrh zida i rubovi otvora	600 / 182 / 600	1390	46	63,94	25,2

12.9.1 Rekapitulacija

Promjer	Duljina [m]	kg/m	Masa [kg]
Ø8	509,3	0,395	201,0
Ø12	73,1	0,888	64,9
Ø16	44,0	1,578	69,5
UKUPNO B500B			335,4

Materijal	Količina
Beton C30/37	4,950 m³
Oplata	43,95 m²
Armatura B500B	335,4 kg
Utrošak armature	67,7 kg/m³

12.10 Zaključak

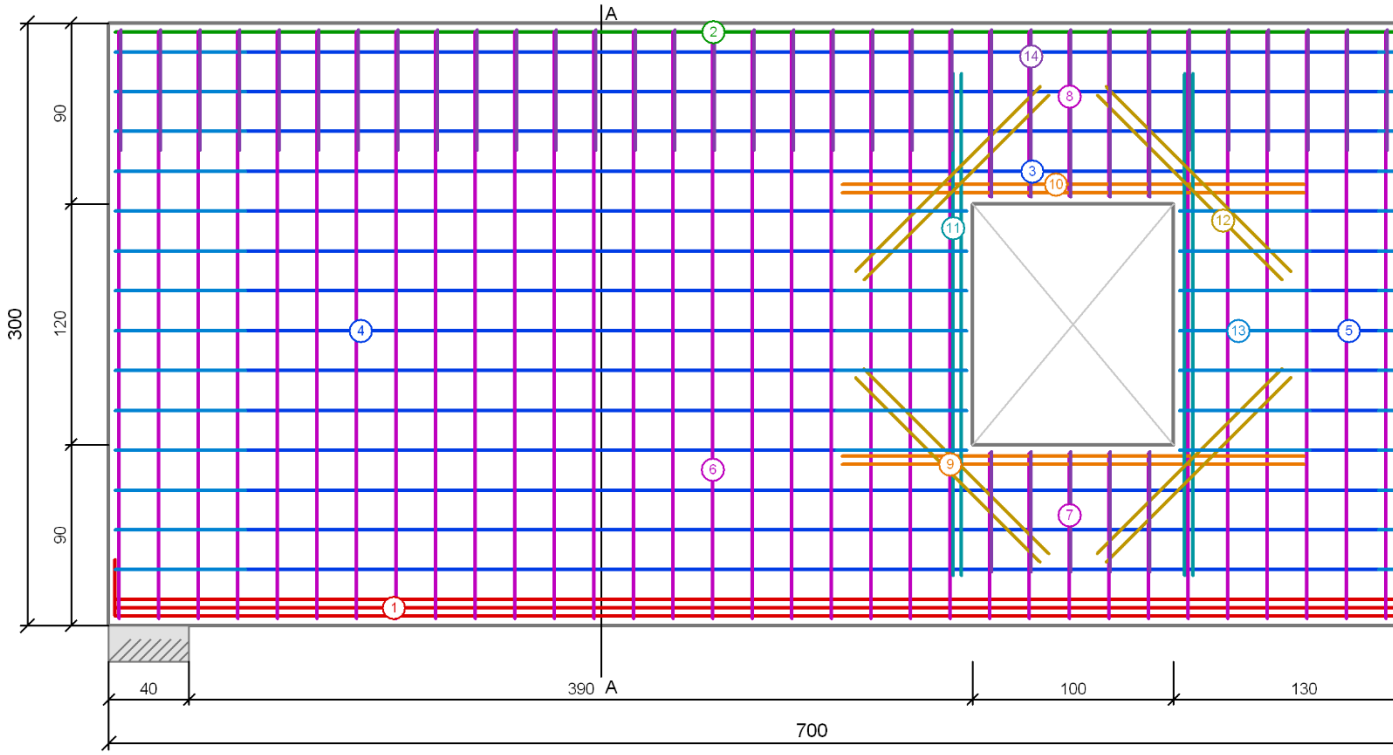
✓ Sve provjere GSN su zadovoljene. Najveća iskorištenost betona η = 0,841.

12.11 Nacrt armature

RCCorbel

POGLED - ZIDNI NOSAČ ZN-1

Beton C30/37, armatura B500B, c = 3 cm, debljina b = 25 cm. Kote u cm, duljine šipki u mm.



ISKAZ ARMATURE B500B

Poz	Ø	Oblik i mjere [mm]	L [mm]	kom	Uk. L [m]	kg/m	Masa [kg]
1	16	200 / 6940 / 200	7340	6	44.04	1.578	69.5
2	12	6940	6940	2	13.88	0.888	12.3
3	8	6924	6930	14	97.02	0.395	38.3
4	8	4232	4240	14	59.36	0.395	23.4
5	8	1632	1640	14	22.96	0.395	9.1
6	8	2924 / 182 / 2924	6030	31	186.93	0.395	73.8
7	8	824 / 182 / 824	1830	5	9.15	0.395	3.6
8	8	820	820	10	8.20	0.395	3.2
9	12	2300	2300	4	9.20	0.888	8.2
10	12	2300	2300	4	9.20	0.888	8.2
11	12	2500	2500	8	20.00	0.888	17.8
12	12	1300	1300	16	20.80	0.888	18.5
13	8	650 / 166 / 650	1470	42	61.74	0.395	24.4
14	8	600 / 182 / 600	1390	46	63.94	0.395	25.2

NAPOMENE:

1. Zaštitni sloj betona c = 30 mm.
2. Mreža obostrano: horiz. Ø8/200, vert. Ø8/200.
3. Glavnu zategu sidriti preko ležaja (EN 1992-1-1, 9.7(3)).
4. Prikazana je prednja strana; stražnja je simetrična.
5. DeepBeam STM 2.0 - 15.11.2026

REKAPITULACIJA

Ø8	509.3 m	201.0 kg
Ø12	73.1 m	64.9 kg
Ø16	44.0 m	69.5 kg
UKUPNO B500B		335.4 kg
Beton C30/37		4.950 m3
Oplata		43.95 m2
Utrošak armature		67.7 kg/m3

RCCorbel - Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCCorbel

RCStaircase 3.0

13 Program RCStaircase

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKOG STUBIŠTA

Projekt: Stambena zgrada

Pozicija: POS 200 - Stubište

Datum: 15.11.2026.

Proračun prema HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-1 i HRN EN 1992-1-1 (Eurokod 2).

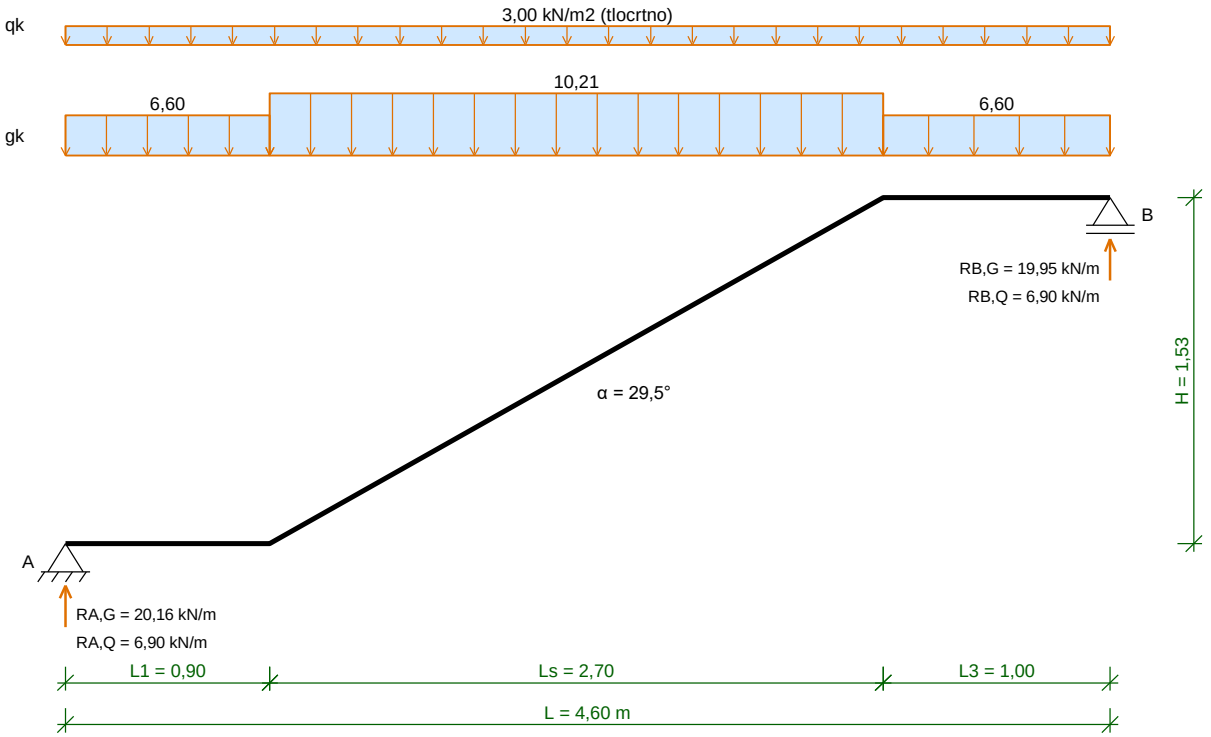
13.1 ULAZNI PODACI

1.1 Geometrija

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Statički sustav		Ravno + koso + ravno
Broj visina (stuba) u kraku	n	9
Visina stube	h_r	17,0 cm
Širina gazišta	b_r	30,0 cm
Nagib kraka	α	29,54° (cosα = 0,870)
Horizontalna projekcija kraka	$L_s = n \cdot b_r$	2,70 m
Visina kraka	$H = n \cdot h_r$	1,53 m
Donji podest	L_1	0,90 m
Gornji podest	L_3	1,00 m
Raspon (horizontalno)	L	4,60 m
Debljina ploče	h	20,0 cm
Širina kraka	B	1,20 m

1.2 Materijali i koeficijenti

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Beton	C30/37	f_{ck} = 30 MPa
Računska čvrstoća betona	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	20,00 MPa
Srednja vlačna čvrstoća	f_{ctm}	2,90 MPa
Modul elastičnosti betona	E_{cm}	32837 MPa
Armatura	B500B	f_{yk} = 500 MPa
Računska granica popuštanja	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	434,78 MPa
Modul elastičnosti čelika	E_s	200000 MPa
Zaštitni sloj	c_{nom}	25 mm
Parcijalni koeficijenti	γ_G / γ_Q	1,35 / 1,50
Parcijalni koeficijenti materijala	γ_c / γ_s	1,50 / 1,15
Koeficijent nazovistalne vrijednosti	ψ_2	0,30
Koeficijent puzanja	$\varphi(\approx, t_0)$	2,50



Slika 1: Statički sustav, opterećenje i reakcije

13.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

Opterećenja su zadana po 1 m' širine kraka i po horizontalnoj projekciji (tlocrtu).

2.1 Podest - stalno opterećenje G

Opis	Izraz	g [kN/m^2]
Vlastita težina AB ploče	$h \cdot \gamma = 0{,}20 \cdot 25{,}0$	5,000
Završna obloga	zadano	1,200
Žbuka podgleda	zadano	0,400
UKUPNO	$g_{k,pod}$	6,600

2.2 Krak - stalno opterećenje G

Opis	Izraz	g [kN/m^2]
AB kosa ploča	$h \cdot \gamma / \cos\alpha = 0{,}20 \cdot 25{,}0 / 0{,}870$	5,747
Stube (beton)	$h_r/2 \cdot \gamma = 0{,}170/2 \cdot 25{,}0$	2,125
Obloga gazišta i čela	$g_{ob} \cdot (1+h_r/b_r) = 1{,}20 \cdot (1+0{,}170/0{,}300)$	1,880
Žbuka podgleda	$g_ž/\cos\alpha = 0{,}40/0{,}870$	0,460
UKUPNO	$g_{k,kr}$	10,212

2.3 Uporabno opterećenje Q

$q_k = 3{,}00$ kN/m^2 (HRN EN 1991-1-1, stubišta - jednoliko na tlocrtnu površinu)

2.4 Kombinacije

GSN: $E_d = 1{,}35 \cdot G + 1{,}50 \cdot Q$

GSU karakteristična: $E_k = G + Q$

GSU nazovistalna: $E_{qp} = G + 0{,}30 \cdot Q$

13.3 REAKCIJE LEŽAJEVA

Ležaj A - nepomični zglobni, ležaj B - pomični zglobni (vertikalne reakcije).

Ležaj	R_G [kN/m]	R_Q [kN/m]	$R_k = G+Q$ [kN/m]	R_{Ed} [kN/m]	$R_{Ed}·B$ [kN]
A	20,16	6,90	27,06	37,57	45,08
B	19,95	6,90	26,85	37,28	44,74

Kontrola: $\Sigma G = 40{,}11$ kN/m = $R_{A,G} + R_{B,G} = 40{,}11$ kN/m

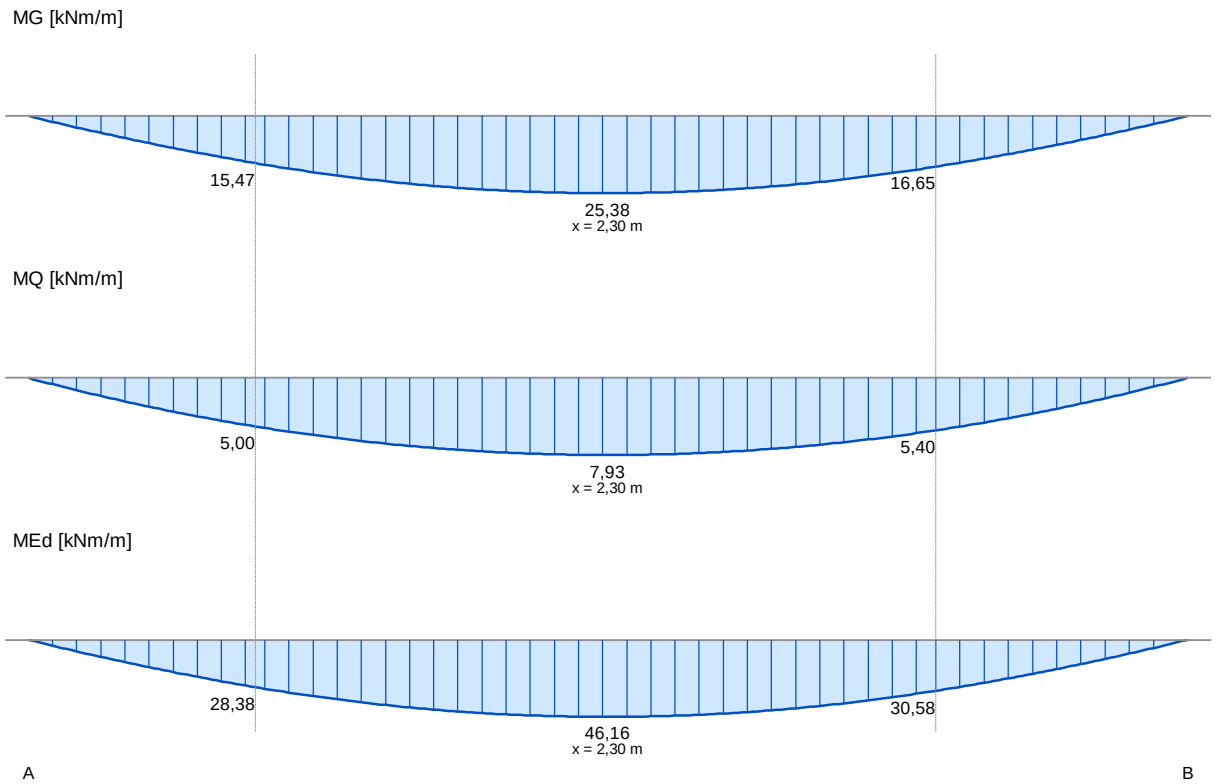
Kontrola: $\Sigma Q = 13{,}80$ kN/m = $R_{A,Q} + R_{B,Q} = 13{,}80$ kN/m

13.4 UNUTARNJE SILE

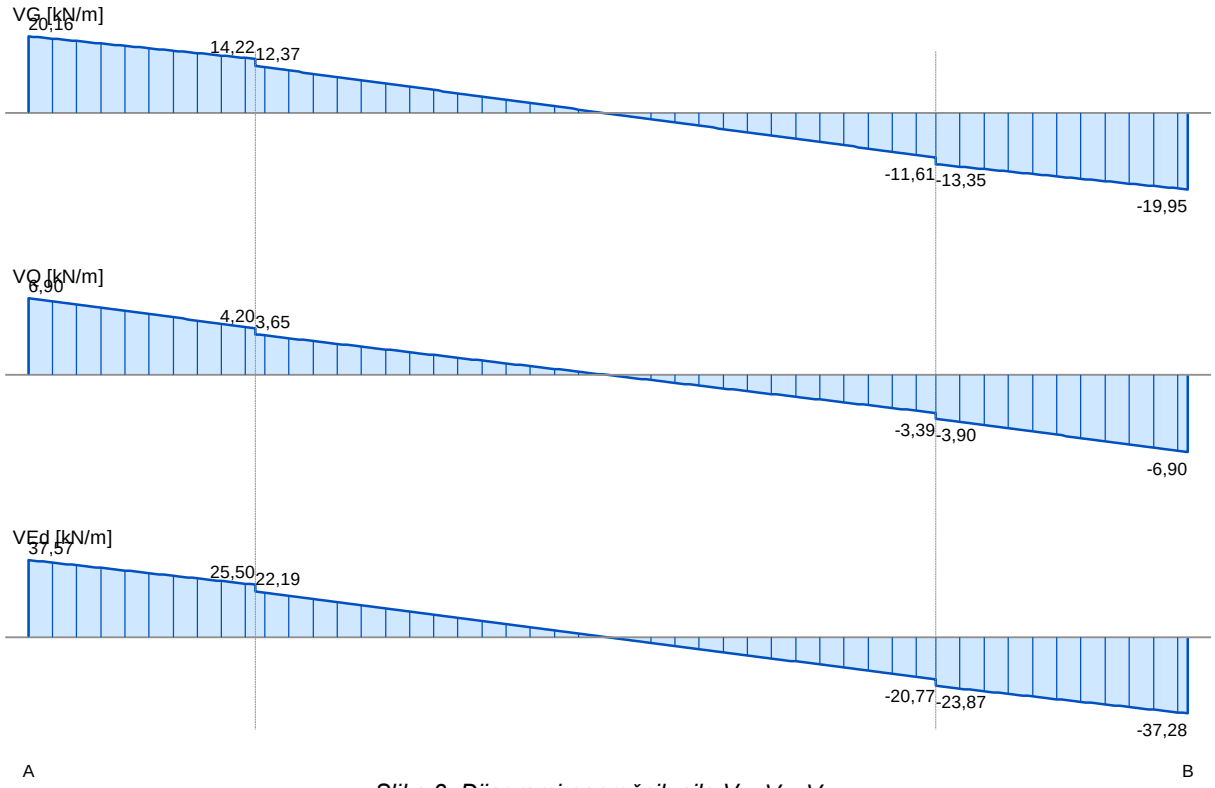
Momenti su pozitivni kada je vlak s donje strane. Poprečna sila V djeluje okomito na os elementa, uzdužna sila N u smjeru osi (vlak +, tlak -). U kosom dijelu: $V = V_v \cdot \cos\alpha$, $N = -V_v \cdot \sin\alpha$, gdje je V_v vertikalna poprečna sila.

x [m]	M_G	M_Q	V_G	V_Q	N_G	N_Q	M_{Ed}	V_{Ed}	N_{Ed}
0,000	0,00	0,00	20,16	6,90	0,00	0,00	0,00	37,57	0,00
0,900	15,47	5,00	14,22	4,20	0,00	0,00	28,38	25,50	0,00
0,900	15,47	5,00	12,37	3,65	-7,01	-2,07	28,38	22,19	-12,57
2,298 (max)	25,38	7,93	-0,05	0,01	0,03	0,00	46,16	-0,05	0,03
3,600	16,65	5,40	-11,61	-3,39	6,58	1,92	30,58	-20,77	11,77
3,600	16,65	5,40	-13,35	-3,90	0,00	0,00	30,58	-23,87	0,00
4,600	0,00	0,00	-19,95	-6,90	0,00	0,00	0,00	-37,28	0,00

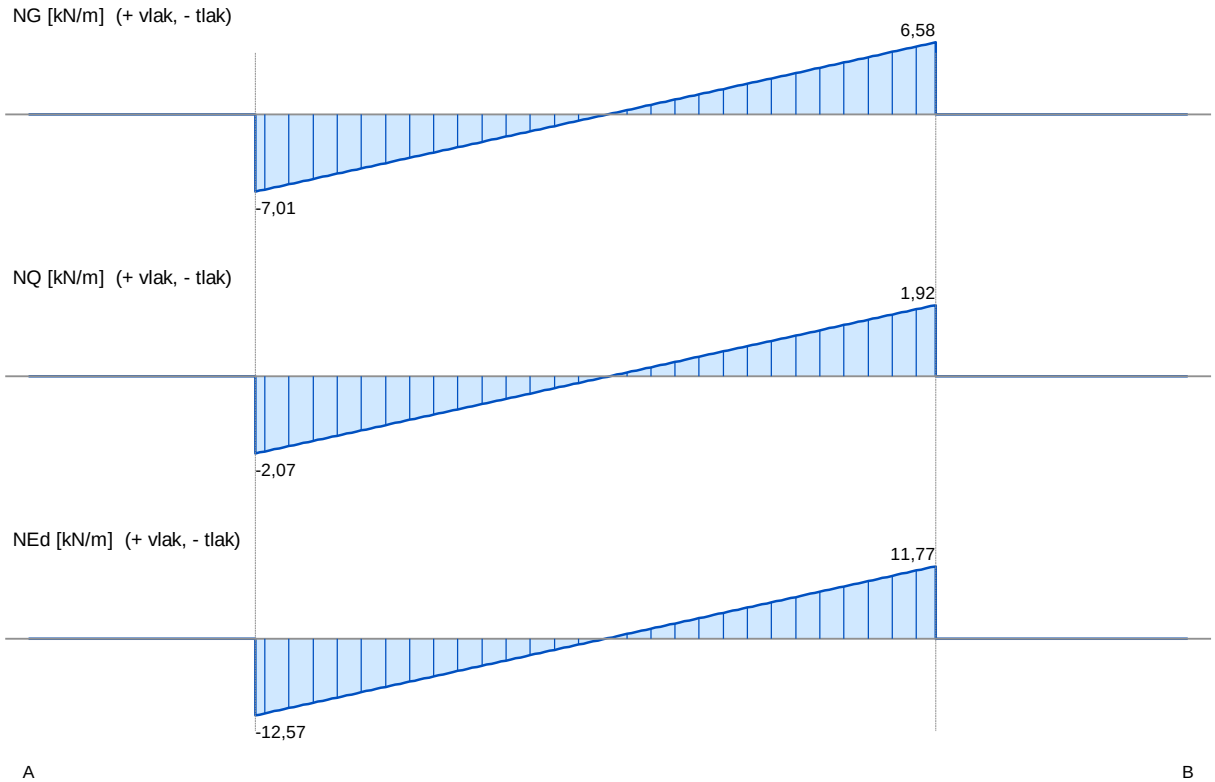
Jedinice: M [kNm/m], V i N [kN/m].



Slika 2: Dijagrami momenata savijanja M_G, M_Q, M_{Ed}



Slika 3: Dijagrami poprečnih sila V_G, V_Q, V_{Ed}



Slika 4: Dijagrami uzdužnih sila N_G, N_Q, N_{Ed}

4.1 Računske vrijednosti (GSN)

Veličina	Vrijednost	Položaj
$M_{Ed,x}$ (uzdužni smjer, max)	46,16 kNm/m	x = 2,30 m
N_{Ed} uz $M_{Ed,max}$	0,03 kN/m	x = 2,30 m
$M_{Ed,y}$ (poprečni smjer)	0,00 kNm/m	jednosmjerno nosiva ploča
$V_{Ed,max}$	37,57 kN/m	x = 0,00 m
$N_{Ed,min}$ (najveći tlak)	-12,57 kN/m	kosi dio
$N_{Ed,max}$ (najveći vlak)	11,77 kN/m	kosi dio

13.5 DIMENZIONIRANJE - GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

5.1 Savijanje s uzdužnom silom - uzdužni smjer (x)

b = 1000 mm; h = 200 mm; $d = h - c_{nom} - Ø/2 = 200 - 25 - 10/2 = 170,0$ mm

$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed}\cdot(d - h/2) = 46,16 - 0,03\cdot(170,0 - 100,0)/1000 = 46,16$ kNm/m

$\mu_{Ed} = M_{Eds}/(b\cdot d^2\cdot f_{cd}) = 46,16\cdot 10^6/(1000\cdot 170,0^2\cdot 20,00) = 0,0799$

✓ $\mu_{Ed} = 0,0799 \le \mu_{lim} = 0,295$ ($\xi_{lim} = 0,45$) - zadovoljava

$\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\cdot\mu_{Ed})} = 0,0833$; $\xi = x/d = \omega/0,8 = 0,104$; $z = d\cdot(1 - \omega/2) = 162,9$ mm

$A_{s1,req} = (\omega\cdot b\cdot d\cdot f_{cd} + N_{Ed})/f_{yd} = 651,7$ mm²/m

$A_{s,min} = \max(0,26\cdot f_{ctm}/f_{yk}\cdot b\cdot d;\ 0,0013\cdot b\cdot d) = 256,0$ mm²/m

$A_{s,max} = 0,04\cdot A_c = 8000$ mm²/m

Glavna armatura u polju je zavarena mreža po proračunu (donja zona). Mreže su ravni listovi po pojedinim ravnim dijelovima stubišta i ne savijaju se.

✓ Donja mreža: Q-785 (Ø10/10 cm), $A_s = 785,4$ mm²/m

✓ $A_{s,prov} = 785,4$ mm²/m ≥ $A_{s,req} = 651,7$ mm²/m - zadovoljava

5.2 Poprečni smjer (y)

$M_{Ed,y} = 0$ (ploča nosi u jednom smjeru, ležajevi samo na krajevima kraka)

$A_{s,y} \ge 0,20\cdot A_{s,x,prov} = 0,20\cdot 785,4 = 157,1$ mm²/m (HRN EN 1992-1-1, 9.3.1.1(2))

✓ Poprečne žice mreže Q-785: $A_{s,y} = 785,4$ mm²/m

5.3 Gornja zona

Gornja (minimalna) mreža: Q-188, $A_s = 188,5$ mm²/m u oba smjera

Uz ležajeve (djelomično upeto, 9.3.1.2(2)): $A_{s,gor} \ge \max(0,25\cdot A_{s1,req};\ A_{s,mr}) = 188,5$ mm²/m

5.4 Spojevi šipkama, sidrenje i preklopi

Stubište je monolitno povezano s pločama na oba kraja. Spojevi na lomovima i ležajevima izvode se šipkama: na konveksnom lomu plohe šipka se savija po plohi; na konkavnom lomu dvije se šipke križaju - svaka se nastavlja ravno do suprotne plohe i sidri se uz nju. Šipke se s mrežama preklapaju za l_0, a u ploče se sidre za l_{bd}.

$s_{max} = \min(3h;\ 400$ mm; zadano$) = 200$ mm

✓ Donje spojne šipke: Ø10/10 cm, $A_s = 785,4$ mm²/m ≥ $A_{s,req} = 651,7$ mm²/m

✓ Gornje spojne šipke: Ø8/20 cm, $A_s = 251,3$ mm²/m ≥ 188,5 mm²/m

$f_{bd} = 2,25\cdot\eta_1\cdot\eta_2\cdot f_{ctd} = 2,25\cdot 1,0\cdot 1,0\cdot 1,35 = 3,04$ MPa

Donje Ø10: $l_{b,rqd} = (Ø/4)\cdot(f_{yd}/f_{bd}) = 357$ mm; $l_{bd} = 360$ mm; $l_0 = 1,5\cdot l_{bd} = 540$ mm

Gornje Ø8 (loši uvjeti prionljivosti, $\eta_1 = 0,7$): $l_{bd} = 410$ mm; $l_0 = 620$ mm

5.5 Poprečna sila (ploča bez poprečne armature)

$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 2{,}000 \leq 2{,}0$; $\rho_l = A_s/(b \cdot d) = 0{,}00462$

$\sigma_{cp} = -N_{Ed}/A_c = 0{,}000$ MPa; $v_{min} = 0{,}035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0{,}542$ MPa

$V_{Rd,c} = [0{,}18/\gamma_c \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d \geq (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = 98{,}00$ kN/m

✓ $V_{Ed,max} = 37{,}57 \leq V_{Rd,c} = 98{,}00$ kN/m - zadovoljava (poprečna armatura nije potrebna)

13.6 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

6.1 Karakteristike presjeka

$M_k = 33{,}31$ kNm/m (G+Q); $M_{qp} = 27{,}76$ kNm/m (G+ψ_2Q)

$E_{c,eff} = E_{cm}/(1+\varphi) = 9382$ MPa; $\alpha_e = E_s/E_{c,eff} = 21{,}32$

Raspucali presjek: $x_{II} = 60{,}5$ mm; $I_{II} = 274{,}6 \cdot 10^6$ mm^4

Neraspucali presjek: $I_I = 739{,}1 \cdot 10^6$ mm^4; $M_{cr} = f_{ctm} \cdot I_I/(h-y_I) = 22{,}57$ kNm/m

6.2 Ograničenje naprezanja (7.2)

✓ $\sigma_{c,k} = 7{,}35 \leq 0{,}60 \cdot f_{ck} = 18{,}0$ MPa - zadovoljava

✓ $\sigma_{c,qp} = 6{,}12 \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 13{,}5$ MPa - zadovoljava

✓ $\sigma_{s,k} = 283{,}1 \leq 0{,}80 \cdot f_{yk} = 400$ MPa - zadovoljava

6.3 Širina pukotina (7.3.4), nazovistalna kombinacija

$\sigma_{s,qp} = 235{,}9$ MPa; $h_{c,ef} = \min(2{,}5(h-d); (h-x)/3; h/2) = 46{,}5$ mm; $\rho_{p,eff} = 0{,}0169$

$s_{r,max} = 3{,}4 \cdot c + 0{,}425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Ø/\rho_{p,eff} = 185{,}6$ mm

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot f_{ct,eff}/\rho_{p,eff} \cdot (1+\alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s \geq 0{,}6\sigma_s/E_s = 0{,}8013 \cdot 10^{-3}$

✓ $w_k = 0{,}149 \leq w_{max} = 0{,}30$ mm - zadovoljava

6.4 Progib (7.4)

Granična vitkost (7.4.2), K = 1,0: $\rho_0 = 0{,}548$ %; $\rho = 0{,}383$ %; $(L/d)_{lim} = 33{,}3$ (uključen faktor 1,21)

$L/d = 4600/170{,}0 = 27{,}1 \leq 33{,}3$ - zadovoljava (progib nije nužno računati)

Izravni proračun: $\kappa = \zeta \cdot \kappa_{II} + (1-\zeta) \cdot \kappa_I$, $\zeta = 1 - 0{,}5 \cdot (M_{cr}/M)^2$, $E_{c,eff}$; progib metodom jediničnog tereta po osi elementa (nazovistalna kombinacija).

✓ $w = 18{,}06$ mm (x = 2,30 m) $\leq L/250 = 18{,}40$ mm - zadovoljava

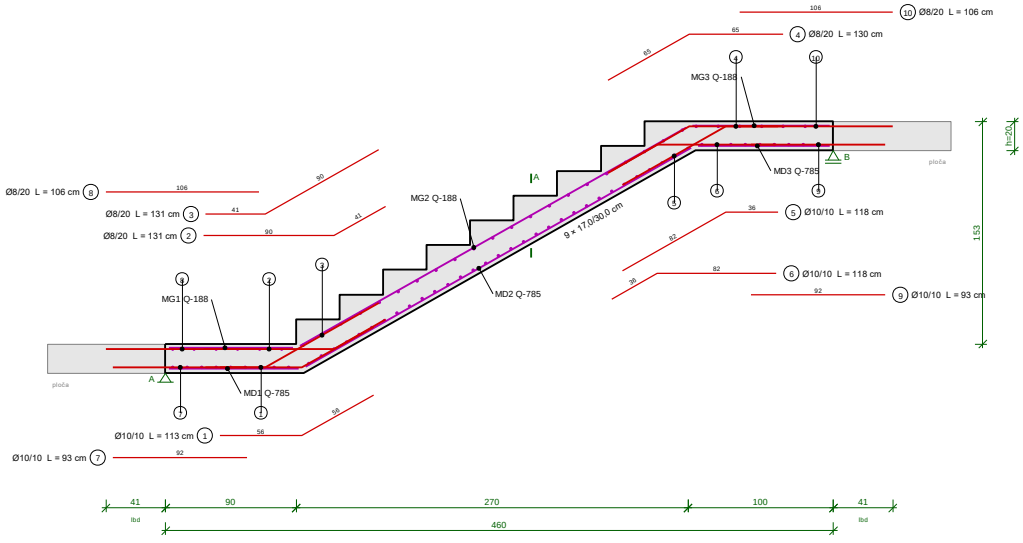
13.7 NACRT ARMATURE I ISKAZ

RCCorbel

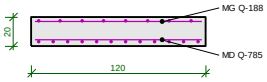
NACRT ARMATURE STUBIŠTA - POS 200 - Stubište

Uzdužni presjek M 1:25 Beton C30/37, šipke B500B, mreže B500A, cnom = 25 mm

MD - donja mreža po proračunu, MG - gornja minimalna mreža. Mreže se ne savijaju; spojevi šipkama, preklop donjih l0 = 54 cm, gornjih l0 = 62 cm.



PRESJEK A-A M 1:25



ISKAZ ARMATURE

Poz.	Ø [mm]	Oblik i mjere [cm]	L [m]	kom	Ukupno [m]
1	10	56 / 56	1,13	12	13,56
2	8	90 / 41	1,31	6	7,86
3	8	41 / 90	1,31	6	7,86
4	8	65 / 65	1,30	6	7,80
5	10	82 / 36	1,18	12	14,16
6	10	36 / 82	1,18	12	14,16
7	10	92	0,93	12	11,16
8	8	106	1,06	6	6,36
9	10	92	0,93	12	11,16
10	8	106	1,06	6	6,36
MD1	Q-785	89	0,89	b=1,15	1,03 m2
MD2	Q-785	305	3,05	b=1,15	3,51 m2
MD3	Q-785	91	0,91	b=1,15	1,04 m2
MG1	Q-188	86	0,86	b=1,15	0,99 m2
MG2	Q-188	305	3,05	b=1,15	3,51 m2
MG3	Q-188	94	0,94	b=1,15	1,08 m2

SPECIFIKACIJA ARMATURE

Ø [mm]	Duljina [m]	kg/m	Masa [kg]
8	36,24	0,395	14,30
10	64,20	0,617	39,58
		UKUPNO B500B (šipke):	53,88
Q-785	5,58 m2	12,33 kg/m2	68,82
Q-188	5,58 m2	2,96 kg/m2	16,52
		SVEUKUPNO:	139,22

Beton C30/37: V = 1,476 m3 Oplata: 10,30 m2 Utrošak armature: 94,3 kg/m3

Slika 5: Nacrt armature stubišta s iskazom

7.1 Iskaz armature

Poz.	Ø [mm]	Oblik (mjere u cm)	L [m]	kom	Ukupno [m]	Masa [kg]
1	10	56 + 56 (donja spojna, savijena po lomu, Ø10/10)	1,13	12	13,56	8,36
2	8	90 + 41 (gornja spojna, križa se na lomu, Ø8/20)	1,31	6	7,86	3,10
3	8	90 + 41 (gornja spojna, križa se na lomu, Ø8/20)	1,31	6	7,86	3,10
4	8	64 + 65 (gornja spojna, savijena po lomu, Ø8/20)	1,30	6	7,80	3,08
5	10	82 + 36 (donja spojna, križa se na lomu, Ø10/10)	1,18	12	14,16	8,73
6	10	82 + 36 (donja spojna, križa se na lomu, Ø10/10)	1,18	12	14,16	8,73
7	10	92 (donja spojna uz ležaj A, Ø10/10)	0,93	12	11,16	6,88
8	8	106 (gornja spojna uz ležaj A, Ø8/20)	1,06	6	6,36	2,51
9	10	92 (donja spojna uz ležaj B, Ø10/10)	0,93	12	11,16	6,88
10	8	106 (gornja spojna uz ležaj B, Ø8/20)	1,06	6	6,36	2,51

7.2 Iskaz mreža (ravni listovi)

Oznaka	Mreža	Dimenzije [cm]	Položaj	P [m²]	Masa [kg]
MD1	Q-785	89 × 115	donja zona (po proračunu)	1,03	12,69
MD2	Q-785	305 × 115	donja zona (po proračunu)	3,51	43,30
MD3	Q-785	91 × 115	donja zona (po proračunu)	1,04	12,84
MG1	Q-188	86 × 115	gornja zona (minimalna)	0,99	2,92
MG2	Q-188	305 × 115	gornja zona (minimalna)	3,51	10,39
MG3	Q-188	94 × 115	gornja zona (minimalna)	1,08	3,21

7.3 Specifikacija armature

Vrsta	Količina	Jed. masa	Masa [kg]
B500B Ø8	36,24 m	0,395 kg/m	14,30
B500B Ø10	64,20 m	0,617 kg/m	39,58
UKUPNO šipke			53,88
B500A Q-785	5,58 m^2	12,33 kg/m^2	68,82
B500A Q-188	5,58 m^2	2,96 kg/m^2	16,52
UKUPNO mreže			85,34
SVEUKUPNO			139,22

Masa mreža je teorijska (bez prepusta žica); preklopi mreža nisu potrebni jer je svaki ravni dio jedan list.

7.4 Količine

Beton C30/37: V = 1,476 m^3; oplata: 10,30 m^2; armatura: 139,22 kg (94,3 kg/m^3)

13.8 ZAKLJUČAK

✓ Sve provjere GSN i GSU su zadovoljene.

Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCCorbel

14 Program RCCorbel

PRORAČUN KRATKE KONZOLE - Konzola K1

Proračun prema HRN EN 1992-1-1:2013 (Eurokod 2), granično stanje nosivosti (GSN). Primijenjen je strut-tie model prema poglavlju 6.5 i Dodatku J.3. Opterećenja su računske vrijednosti (već pomnožene parcijalnim koeficijentima).

14.1 Ulazni podaci

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Vertikalna računska sila	FEd	400.00 kN
Horizontalna računska sila (zadana)	HEd	60.00 kN
Širina konzole (= širina stupa)	b	400 mm
Dimenzija stupa u smjeru konzole	hcol	400 mm
Visina konzole na licu stupa	hc	550 mm
Visina konzole na slobodnom kraju	hf	300 mm
Duljina konzole	lc	400 mm
Udaljenost sile od lica stupa	ac	250 mm
Ležajna ploča (duljina x širina)	ap x bp	150 x 300 mm
Visina ležaja iznad konzole	hb	20 mm
Razred betona	-	C30/37
Armatura	fyk	B500B, fyk = 500 MPa
Parcijalni koeficijenti	γc / γs	1.50 / 1.15
Koeficijent dugotrajnih učinaka	αcc	1.00
Nazivni zaštitni sloj	cnom	35 mm
Najveće zrno agregata	dg	16 mm
Broj istih konzola	n	1

14.2 Materijali

fcd = αcc·fck/γc = 1.00·30/1.50 = 20.00 MPa

fctm = 0,30·fck^(2/3) = 2.90 MPa; fctk,0.05 = 0,7·fctm = 2.03 MPa

fctd = fctk,0.05/γc = 1.35 MPa

fyd = fyk/γs = 500/1.15 = 434.78 MPa

v' = 1 - fck/250 = 0.880 (izraz 6.57N)

σRd,max (čvor C-C-C, k1 = 1,0) = k1·v'·fcd = 17.60 MPa

σRd,max (čvor C-C-T, k2 = 0,85) = k2·v'·fcd = 14.96 MPa

σRd,max (tlačni štap s poprečnim vlakom) = 0,6·v'·fcd = 10.56 MPa (izraz 6.56)

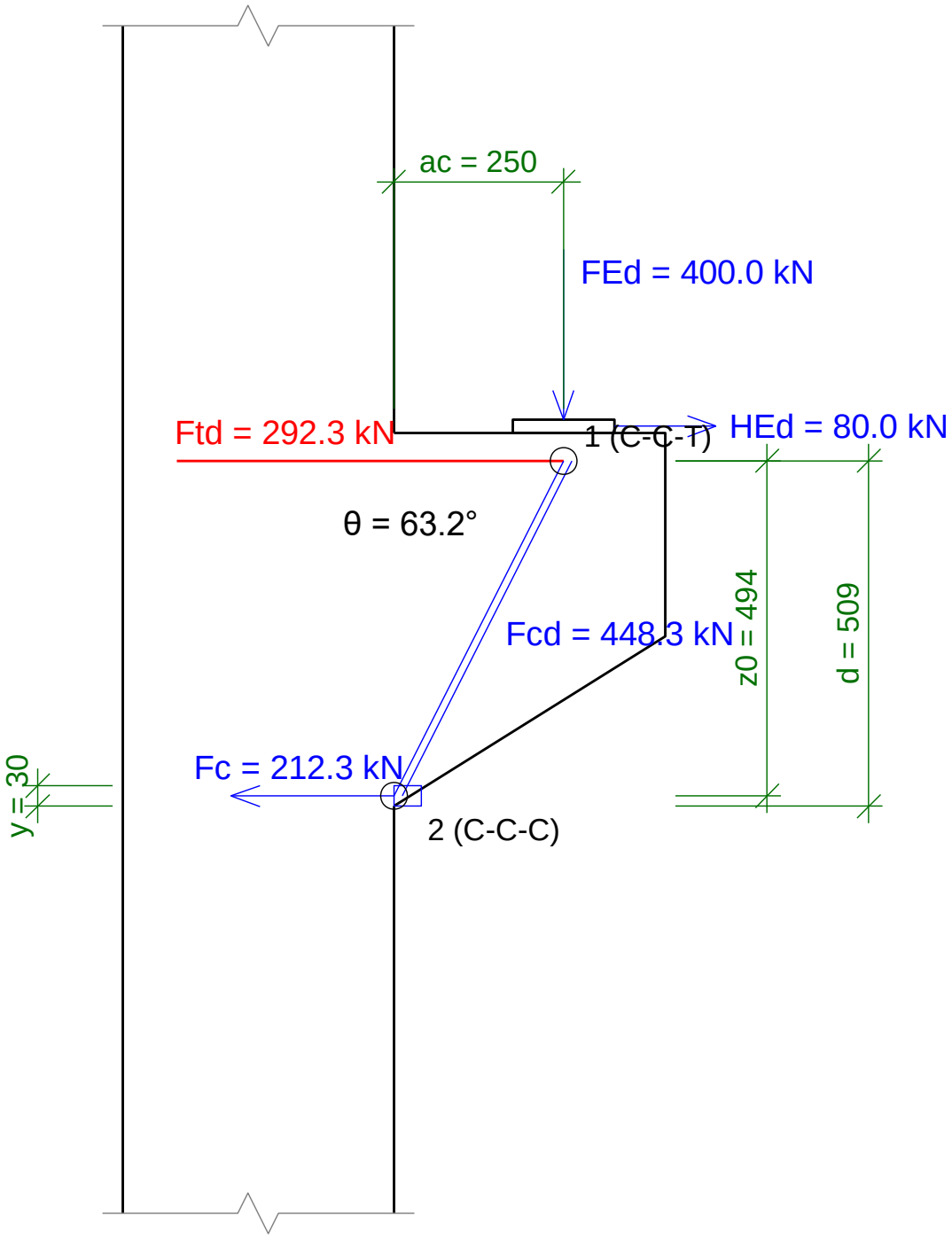
14.3 Geometrija i opterećenje

Statička visina: d = hc - cnom - Øspone,v - Ø1/2 = 550 - 35 - 0 - 12/2 = 509.0 mm

Odnos ac/hc = 250/550 = 0.455

Horizontalna sila: HEd = max(HEd; 0,2·FEd) = max(60.00; 80.00) = 80.00 kN

Krak horizontalne sile do zatege: aH = (hc - d) + hb = 61.0 mm



STRUT-TIE MODEL (mm, kN)

14.4 Strut-tie model

Tlačni čvor uz lice stupa (C-C-C) preuzima horizontalnu tlačnu silu Fc = Ftd - HEd na visini y uz naprezanje σRd,max = 17.60 MPa. Visina tlačne zone dobivena je iteracijom:
y = Fc/(b·σRd,max) = 212.34·10³/(400·17.60) = 30.2 mm
Krak unutarnjih sila: z0 = d - y/2 = 509.0 - 30.2/2 = 493.9 mm
Nagib tlačne dijagonale: tanθ = z0/ac = 493.9/250 = 1.976 (θ = 63.2°); uvjet 1,0 ≤ tanθ ≤ 2,5: ZADOVOLJAVA
Uvjet kratke konzole ac ≤ z0: 250 ≤ 493.9 mm - ZADOVOLJAVA
Sila u zatezi (ravnoteža momenata oko tlačnog čvora):
Ftd = FEd·ac/z0 + HEd·(aH + z0)/z0 = 400.00·250/493.9 + 80.00·(61.0 + 493.9)/493.9 = 292.34 kN
Sila u tlačnoj dijagonali: Fcd = FEd/sinθ = 448.32 kN
Horizontalna tlačna sila u čvoru uz stup: Fc = Ftd - HEd = 212.34 kN

14.5 Provjera čvorova i tlačne dijagonale

Čvor ispod ležajne ploče (C-C-T): σEd = FEd/(ap·bp) = 400.00·10³/(150·300) = 8.89 MPa ≤ 14.96 MPa - ZADOVOLJAVA
Širina dijagonale u čvoru: w1 = ap·sinθ + 2(hc - d)·cosθ = 170.9 mm
Tlačna dijagonala: σEd = Fcd/(w1·bp) = 8.75 MPa ≤ 10.56 MPa - ZADOVOLJAVA
Tlačni čvor uz stup (C-C-C): y = 30.2 mm < d = 509.0 mm - ZADOVOLJAVA
Najveća posmična sila (6.2.2(6)): VRd,max = 0,5·b·d·ν·fcd, ν = 0,6(1 - fck/250) = 0.528
VRd,max = 0,5·400·509.0·0.528·20.00 = 1075.01 kN ≥ FEd = 400.00 kN - ZADOVOLJAVA

14.6 Glavna armatura (zatega)

As,potr = Ftd/fyd = 292.34·10³/434.78 = 672.4 mm²
As,min = max(0,26·fctm/fyk; 0,0013)·b·d = 306.7 mm² (9.2.1.1)
Mjerodavno: As,potr = 672.4 mm²
Odabrano: poz. 1 - 6Ø12, As,prov = 678.6 mm², razmak osi 64 mm - ZADOVOLJAVA
Glavna armatura poz. 1 je jedna savijena šipka: krak u stupu, gornja zatega, vertikalni dio na slobodnom kraju i donji kosi krak koji se sidri u stup (Dodatak J.3, slika J.5).
Po gornjem i donjem dijelu konzole postavljene su U-šipke poz. 3 - 3Ø12/10 gore i 3Ø12/10 dolje; vertikalni krakovi 210 mm, preklop na slobodnom kraju 195 mm.

14.7 Posmik i spone

k = 1 + sqrt(200/d) = 1.627 ≤ 2,0; ρl = As,prov/(b·d) = 0.00333
σcp = -HEd/(b·hc) = -0.364 MPa (vlak); vmin = 0,035·k^1,5·fck^0,5 = 0.398 MPa
VRd,c = [CRd,c·k·(100·ρl·fck)^(1/3) + 0,15·σcp]·b·d = 74.52 kN (6.2.2)

ac = 250 mm ≤ 0,5·hc = 275 mm: potrebne su zatvorene horizontalne spone (J.3(3)):
As,lnk,h ≥ k1·As,main = 0,25·678.6 = 169.6 mm²
Odabrano: poz. 2 - 3 x zatvorene vilice (2 kraka) Ø8 / 110 mm u zoni 2d/3 ispod zatege, As,prov = 301.6 mm² - ZADOVOLJAVA

ac ≤ 0,5·hc: vertikalne spone nisu potrebne prema J.3(3).

14.8 Sidrenje glavne armature u stupu

Uvjeti prionjivosti: η1 = 0.7 (gornja armatura, hc > 250 mm => loši uvjeti), η2 = 1,0
fbd = 2,25·η1·η2·fctd = 2.129 MPa (8.4.2)
σsd = fyd·As,potr/As,prov = 430.8 MPa
lb,rqd = (Ø/4)·(σsd/fbd) = (12/4)·(430.8/2.129) = 607 mm
lb,min = max(0,3·lb,rqd; 10Ø; 100 mm) = 182 mm
lbd = α1·lb,rqd ≥ lb,min, α1 = 0,7 (kuka 90°) => lbd = 425 mm
Horizontalna duljina gornjeg kraka u stupu: 339 mm
Vertikalni krak u stupu: L2 = hc + lbd = 550 + 425 = 980 mm (zaokruženo)
Donji kosi krak u stupu (dobri uvjeti, η1 = 1,0, ravni kraj): lbd = 425 mm, izvedeno 362 mm

14.9 Sažetak provjera

Provjera	Računska vrijednost	Nosivost	Iskorištenost	Ocjena
Čvor ispod ležaja (C-C-T)	8.89 MPa	14.96 MPa	59.4 %	ZADOVOLJAVA
Tlačna dijagonala	8.75 MPa	10.56 MPa	82.8 %	ZADOVOLJAVA
Posmik VRd,max	400.0 kN	1075.0 kN	37.2 %	ZADOVOLJAVA
Glavna zatega	672 mm²	679 mm²	99.1 %	ZADOVOLJAVA
Horizontalne spone	170 mm²	302 mm²	56.3 %	ZADOVOLJAVA
Kratka konzola ac ≤ z0	250 mm	494 mm	50.6 %	ZADOVOLJAVA

14.10 Iskaz armature i materijala

Iskaz za 1 kom. konzola. Armatura B500B.

Poz.	Naziv	Ø [mm]	Kom	L [m]	Ukupno [m]	kg/m	Masa [kg]
1	Glavna armatura (zatega i donji krak)	12	6	2.72	16.32	0.888	14.49
2	Horizontalne zatvorene vilice	8	3	2.02	6.06	0.395	2.39
3	U-šipke gore i dolje	12	6	0.74	4.44	0.888	3.94

Rekapitulacija	Količina
B500B Ø12	18.43 kg
B500B Ø8	2.39 kg
Ukupno armatura B500B	20.82 kg
Beton C30/37 (samo konzola)	0.068 m³
Oplata konzole	0.65 m²
Utrošak armature	306.2 kg/m³

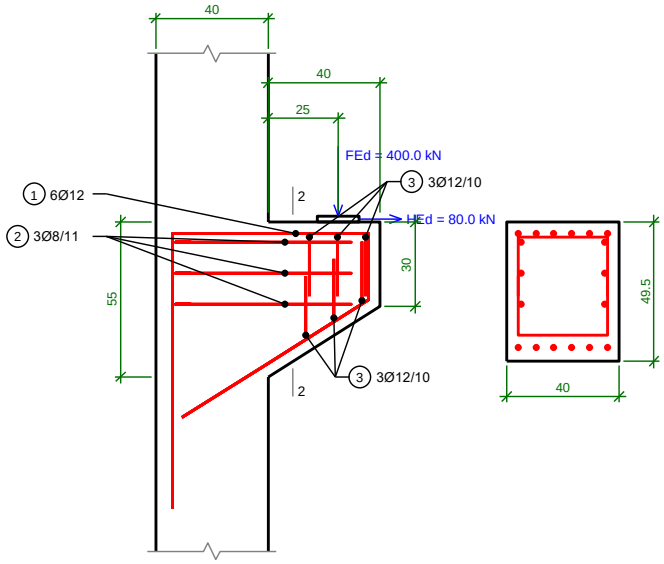
14.11 Napomene i upozorenja

- Donji krak poz. 1 u stupu skraćen na 360 mm (potrebno 425 mm) - donji pojas je tlačen, provjeriti sidrenje.

- Glavna armatura poz. 1 je jedna savijena šipka; u stup ulazi vertikalnim krakom duljine hc + lbd i donjim kosim krakom.
- U-šipke poz. 3 postavljaju se u parovima (gornja i donja) s preklopom vertikalnih krakova.
- Armatura stupa nije predmet ovog proračuna.
Najveća iskorištenost: 99.1 %

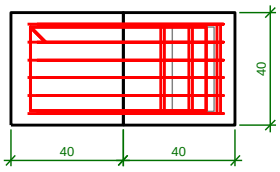
Napomena: Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

14.11.1 12. Nacrt armature



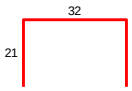
PRESJEK 1-1 M 1:20

PRESJEK 2-2



TLOCRT

ISKAZ ARMATURE (1 kom. konzola)

Poz.	Oblik i mjere [cm]	Ø	kom	L
1		12	6	2
2		8	3	2
3		12	6	0

NAPOMENE:

- Beton C30/37, armatura B500B, zaštitni sloj cnom = 35 mm
- Kote u cm. Poz. 3: gornja i donja U-šipka s preklopom krakova.
- Konzola K1: FEd = 400.0 kN, HEd = 80.0 kN

RCDappedEnd
Zasječeni oslonac AB grede - EN 1992-1-1

15 Program RCDappedEnd

PRORAČUN ZASJEČENOG OSLONCA AB GREDE

Granično stanje nosivosti prema HRN EN 1992-1-1 – model tlačnih i vlačnih štapova

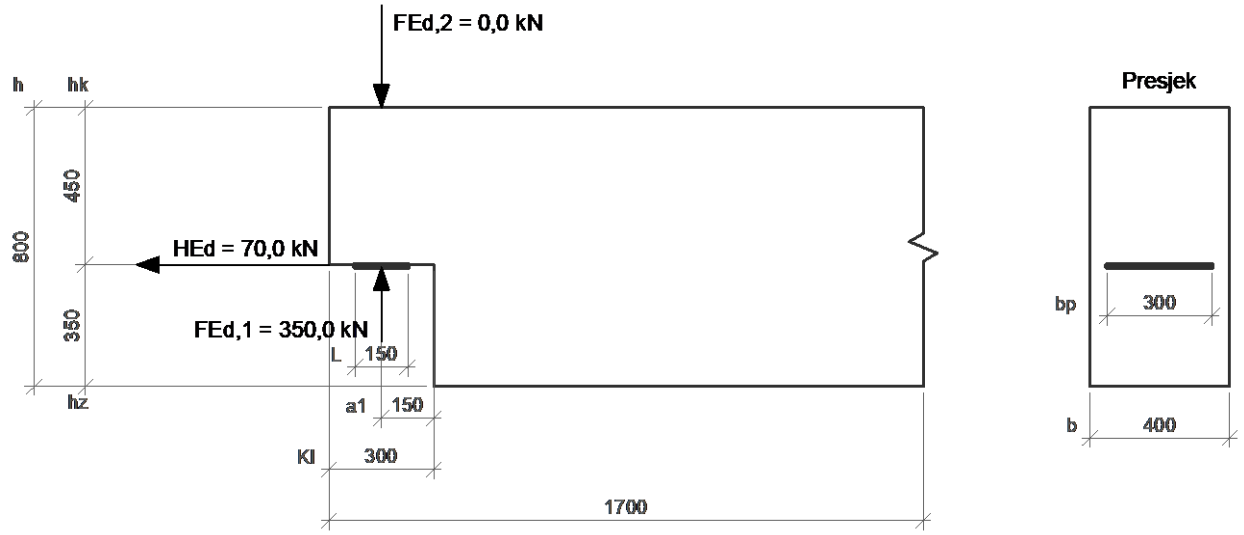
Projekt: Primjer

Pozicija: POS 1 - zasjek grede

Datum: 15.11.2026.

15.1 Ulazni podaci

Tip: vertikalni zasjek.



Slika 1. Geometrija i djelovanja (mjere u mm)

Veličina	Vrijednost	Veličina	Vrijednost
h [mm]	800	b [mm]	400
h_k (visina nosa) [mm]	450	$h_z = h - h_k$ [mm]	350
K_l (duljina nosa) [mm]	300	a_1 [mm]	150
L (duljina ležaja) [mm]	150	b_p (širina ležaja) [mm]	300
$F_{Ed,1}$ [kN]	350,0	$F_{Ed,2}$ [kN]	0,0
H_{Ed} [kN]	70,0	cot θ (polje uz zasjek)	1,25
c_{nom} [mm]	30	L_d (duljina detalja) [mm]	1700

15.2 Materijali

Beton C30/37, armatura B500B.

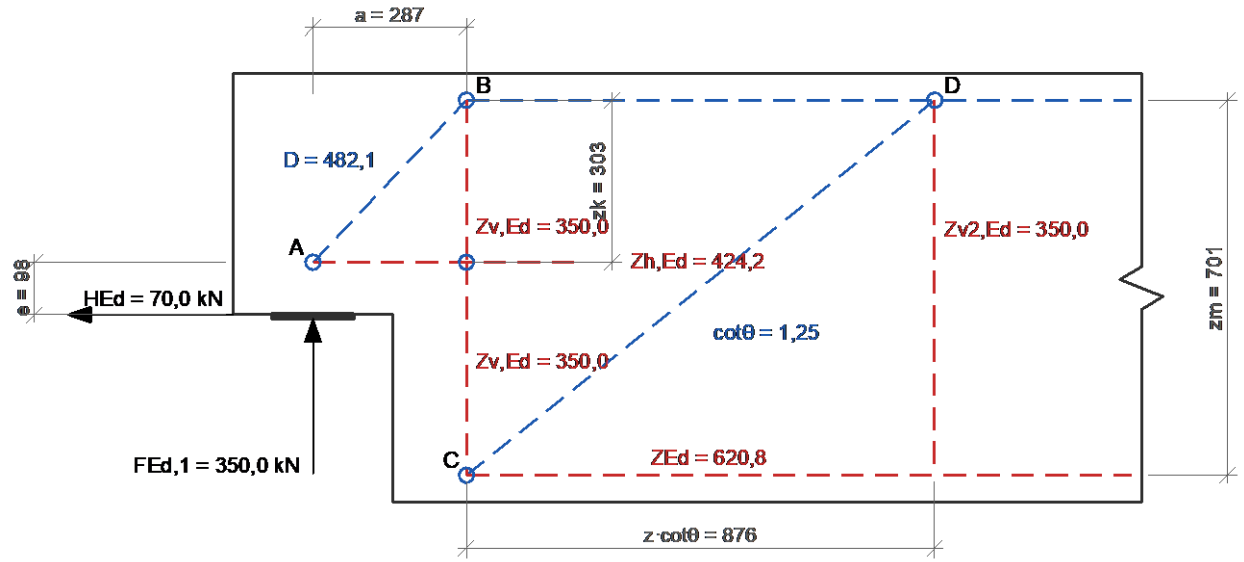
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_C = 1{,}00 \cdot 30{,}0/1{,}50 = 20{,}00$ MPa

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_S = 500{,}0/1{,}15 = 434{,}78$ MPa

$f_{ctm} = 2{,}90$ MPa; $f_{ctk,0{,}05} = 2{,}03$ MPa; $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0{,}05}/\gamma_C = 1{,}35$ MPa

$v' = 1 - f_{ck}/250 = 0{,}88$; $v_1 = 0{,}6 \cdot v' = 0{,}53$

15.3 Model tlačnih i vlačnih štapova



Slika 2. Model zasjeka i sile u štapovima [kN]

3.1 Geometrija modela

$x_F = K_l - a_1 = 300 - 150 = 150$ mm

$y_h = 448{,}0$ mm (težište U-petlji od donjeg ruba); $e = y_h - h_z = 98{,}0$ mm

y_B = 751,0 mm (gornji tlačni pojas); y_m = 50,0 mm (težište glavne armature)
x_E = 437,0 mm (os vilica zasjeka na razini Z_h); $a = x_E - x_F$ = 287,0 mm
$z_k = y_B - y_h$ = 303,0 mm; $z_m = y_B - y_m$ = 701,0 mm
$\theta = \arctan(z_k/a)$ = 46,6°
x_C = 437,0 mm; $x_D = x_C + z_m \cdot \cot\theta$ = 1313,3 mm

3.2 Sile u štapovima

$V_{Ed} = F_{Ed,1} - F_{Ed,2}$ = 350,0 - 0,0 = 350,0 kN
$Z_{h,Ed} = [V_{Ed} \cdot a + H_{Ed} \cdot (y_B - h_z)] / z_k$ = [350,0·287,0 + 70,0·401,0] / 303,0 = 424,2 kN
$D_{Ed} = V_{Ed} / \sin\theta$ = 350,0 / sin(46,6°) = 482,1 kN
$Z_{v,Ed} = V_{Ed}$ = 350,0 kN
$Z_{Ed} = [V_{Ed} \cdot (x_D - x_F) + H_{Ed} \cdot (y_B - h_z)] / z_m$ = [350,0·1163,3 + 70,0·401,0] / 701,0 = 620,8 kN
$Z_{v2,Ed} = V_{Ed}$ = 350,0 kN (raspodijeljeno na duljinu $z_m \cdot \cot\theta$ = 876 mm)
$C_{Ed} = \max(Z_{Ed} - H_{Ed}; V_{Ed} \cdot a/z_k)$ = 550,8 kN

15.4 Potrebna i odabrana armatura

Element	$A_{s,potr}$ [mm²]	Odabrano	$A_{s,odab}$ [mm²]
Poz 1: U-petlje $Z_{h,Ed}$	976	2 U Ø20	1257
Poz 2: vilice zasjeka $Z_{v,Ed}$	805	4 Ø12 dvorezne	905
Poz 3: glavna donja Z_{Ed}	1428	8 Ø16	1608
Poz 4 (konstruktivno)	-	2 Ø8 dvorezne	201
Poz 5: dodatne U-petlje nosa	314	2 U Ø10	314
Poz 6: vilice grede [mm²/m]	919	Ø10/150 dvorezne	1047
Poz 7: gornja konstruktivna	-	2 Ø14	308

Sidrenje (8.4)

Z_h: f_{bd} = 3,04 MPa; $l_{b,rqd}$ = 555 mm; l_{bd} = 555 mm iza vilica zasjeka; kraj: x = 1070 mm
Z_{Ed}: f_{bd} = 3,04 MPa; $l_{b,rqd}$ = 508 mm; l_{bd} = 508 mm; ravni dio l_1 = 0 mm + kuka 645 mm
Promjer savijanja: U-petlja D = 245 mm (8.3: 243 mm); kuka D = 265 mm (8.3: 262 mm)

15.5 Provjere

Provjera (HRN EN 1992-1-1)	E_d	R_d	Status
Tlak na ležaju (CCT): $\sigma_c = F_{Ed,1} / (b_p \cdot L)$ [6.5.4(4)b]	7,78 MPa	14,96 MPa	ZADOVOLJAVA
Tlačni štap D u čvoru A (CCT): $\sigma = D_{Ed} / (b_p \cdot w_A)$ [6.5.4(4)b]	6,59 MPa	14,96 MPa	ZADOVOLJAVA
Tlačni štap D, raspucani beton: $\sigma = D_{Ed} / (b \cdot w_A)$ [6.5.2(2)]	4,95 MPa	10,56 MPa	ZADOVOLJAVA
Tlačni štap D u čvoru B (CTT): $\sigma = D_{Ed} / (b \cdot w_B)$ [6.5.4(4)c]	5,48 MPa	13,20 MPa	ZADOVOLJAVA
Tlačni pojas uz gornji rub: $\sigma = C_{Ed} / (b \cdot 2(h-y_B))$ [6.5.4(4)a]	14,05 MPa	17,60 MPa	ZADOVOLJAVA
Nagib tlačnog štapa D (preporuka modela): $\theta \geq 30°$ [model]	46,55 °	30,00 °	ZADOVOLJAVA
Poprečna sila nosa: $V_{Ed} \leq 0{,}5 \cdot b \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$ [6.2.2(6)]	350,00 kN	743,42 kN	ZADOVOLJAVA
Tlačna dijagonala grede: $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ [6.2.3(3)]	350,00 kN	1444,40 kN	ZADOVOLJAVA
Armatura $Z_{h,Ed}$ (U-petlje) [6.5.3]	975,56 mm2	1256,64 mm2	ZADOVOLJAVA
Armatura $Z_{v,Ed}$ / $Z_{v,k,Ed}$ (vilice zasjeka) [6.5.3]	805,00 mm2	904,78 mm2	ZADOVOLJAVA
Glavna armatura Z_{Ed} [6.5.3, 9.2.1.1]	1427,93 mm2	1608,50 mm2	ZADOVOLJAVA
Horizontalne petlje nosa $A_{s,lnk} \geq 0{,}25 \cdot A_{s,main}$ [J.3]	314,16 mm2	314,16 mm2	ZADOVOLJAVA
Vilice grede A_{sw}/s (6.8; $\rho_{w,min}$) [6.2.3, 9.2.2]	918,69 mm2/m	1047,20 mm2/m	ZADOVOLJAVA
Razmak vilica grede $s \leq s_{l,max}$ [9.2.2(6)]	150,00 mm	300,00 mm	ZADOVOLJAVA
Vanjski rub ležaja unutar U-petlje (x) [detalj]	75,00 mm	50,00 mm	ZADOVOLJAVA
Unutarnji rub ležaja do lica zasjeka [detalj]	75,00 mm	30,00 mm	ZADOVOLJAVA
Promjer savijanja U-petlje (8.3) ≤ razmak krakova [8.3(3)]	245,00 mm	296,00 mm	ZADOVOLJAVA
Sidrenje glavne armature: $l_1 + l_{kuka} \geq l_{bd}$ [8.4.4]	507,65 mm	512,50 mm	ZADOVOLJAVA
U-petlje stanu u visinu nosa ($z_{gore} \leq y_B$) [detalj]	508,00 mm	751,00 mm	ZADOVOLJAVA

Sve provjere su zadovoljene.

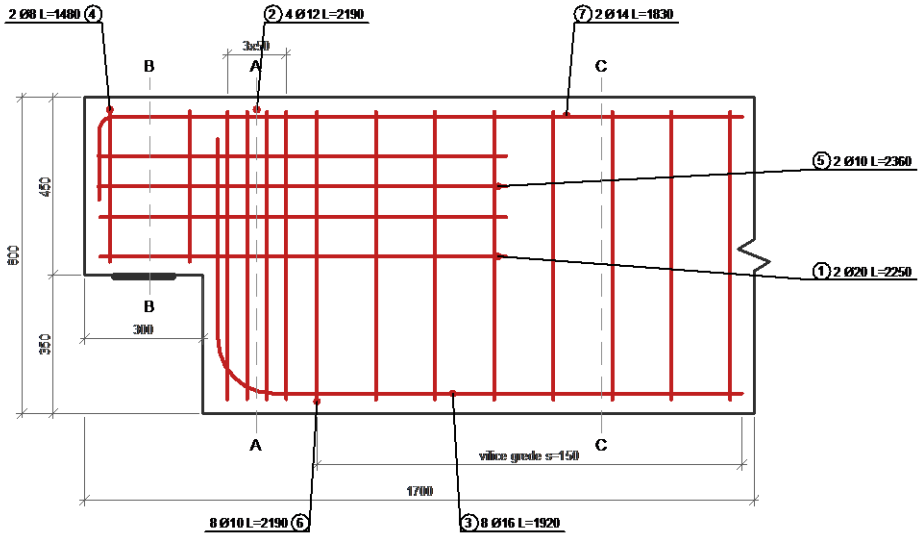
Pretpostavke modela

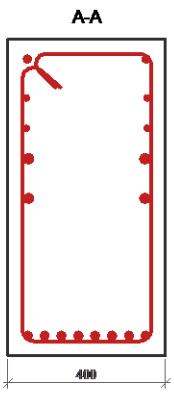
$F_{Ed,2}$ je sila na gornjem rubu iznad ležaja i prenosi se izravno na ležaj, pa kroz model prolazi $V_{Ed} = F_{Ed,1} - F_{Ed,2}$.

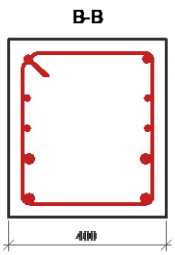
H_{Ed} djeluje u razini ležaja prema van. Z_{Ed} se određuje iz ravnoteže momenata oko čvora D, a sidrenje glavne armature provjerava se konzervativno punom silom Z_{Ed}.

Kod kosog zasjeka s kosim vilicama iznad razine Z_h predviđene su vertikalne vilice (Poz 2), a ispod nje kose vilice (Poz 8).

15.6 Nacrt armature i iskaz materijala







ISKAZ ARMATURE B500B - POS 1 - zasjek grede

Poz	Oblik i mjere [mm]	Ø	kom	L [m]	uk.L [m]
1	316 / 1040	20	2	2,25	4,50
2	740 / 340	12	4	2,19	8,76
3	653 / 1340	16	8	1,92	15,36
4	390 / 340	8	2	1,48	2,96
5	316 / 1040	10	2	2,36	4,72
6	740 / 340 / 1640	10	8	2,19	17,52
7	217	14	2	1,83	3,66

REKAPITULACIJA

Ø [mm]	uk.L [m]	kg/m	masa [kg]
8	2,96	0,395	1,2
10	22,24	0,617	13,7
12	8,76	0,888	7,8
14	3,66	1,208	4,4
16	15,36	1,578	24,2
20	4,50	2,466	11,1
Ukupno			62,4

Beton C30/37, armatura B500B, c,nom = 30 mm.
Mjere vilica su vanjske; duljine su po osi šipke.
Poz 3, 6, 7 prikazane su do duljine detalja Ld = 1700 mm.

Napomena: Program se koristi na vlastitu odgovornost.
Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

RCCover
Concrete cover · EN 1992-1-1

16 Program RCCover

Proračun zaštitnog sloja betona

prema HRN EN 1992-1-1, poglavlje 4.4.1

Datum: 15-Nov-26

16.1 Ulazni podaci

Parametar	Vrijednost
Razred izloženosti	XC3
Opis razreda	XC3: Korozija uzrokovana karbonatizacijom –

	Umjerena vlažnost
Promjer armature	16 mm
Uporabni vijek 100 godina	ne
Razred čvrstoće ≥ C35/45	ne
Prednapeti beton	ne
Betoniranje temelja	ne
Dopušteno odstupanje Δc_{dev}	10 mm

16.2 Postupak proračuna

- Osnovni $c_{min,dur}$ za XC3 (razred konstrukcije S4, tablica 4.4N) = 25 mm
- $c_{min,dur}$ = 25 mm
- $c_{min,b}$ (prionjivost, pojedinačna šipka) = promjer = 16 mm
- c_{min} = max($c_{min,b}$; $c_{min,dur}$; 10 mm) = 25 mm
- c_{nom} = c_{min} + Δc_{dev} = 25 + 10 = 35 mm

16.3 Rezultati

Veličina	Vrijednost
$c_{min,b}$	16 mm
$c_{min,dur}$	25 mm
c_{min}	25 mm
Nazivni zaštitni sloj c_{nom}	35 mm
Usvojeni zaštitni sloj c_{nom}	**35 mm**
Najmanji razred čvrstoće betona	**C30/37**

16.4 Napomene

- Korištene su preporučene vrijednosti iz EN 1992-1-1 (tablice 4.2, 4.3N, 4.4N, 4.5N i E.1N). Provjeriti nacionalni dodatak HRN EN 1992-1-1/NA.
- $c_{min,b}$ uzet je za pojedinačnu šipku i najveće zrno agregata do 32 mm.

Napomena: Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

AnchorLap
ANCHORAGE & LAP LENGTH · EC2

17 Program AnchorLap

Proračun duljine sidrenja i preklopa armaturnih šipki

prema HRN EN 1992-1-1:2013 (Eurokod 2) i nacionalnom dodatku, točke 8.4 i 8.7

Datum:	15.11.2026.

17.1 Ulazni podaci

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Razred betona		C30/37

Karakteristična vlačna čvrstoća betona	$f_{ctk,0.05}$	2.00 MPa
Armaturni čelik		B500B
Granica popuštanja čelika	f_{yk}	500 MPa
Parcijalni koeficijenti	γ_c / γ_s	1.50 / 1.15
Koeficijent dugotrajnih učinaka	α_{ct}	1.00
Promjer šipke	φ	16 mm
Vrsta naprezanja		vlak
Uvjeti prionjivosti		dobri
Oblik sidrenja		ravna šipka
Vrsta elementa		greda
Zaštitni sloj betona	c	30 mm
Bočni zaštitni sloj	c_1	30 mm
Svijetli razmak šipki	a	50 mm
Potrebna / stvarna armatura	$A_{s,req}$ / $A_{s,prov}$	8.04 / 8.04 cm²
Poprečna armatura uzduž l_{bd}	ΣA_{st}	0.00 cm²
Koeficijent položaja poprečne armature	K	0.00
Poprečni tlak	p	0.00 MPa
Zavarene poprečne šipke		ne
Udio preklopljenih šipki u presjeku	ρ_1	50 %

17.2 Proračunske čvrstoće materijala

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05} / \gamma_c = 1.00 \cdot 2.00 / 1.50 = 1.333$ MPa

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 434.78$ MPa

$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov} = 434.78 \cdot 1.000 = 434.78$ MPa

17.3 Granično naprezanje prionjivosti (8.4.2)

$\eta_1 = 1{,}0$ (dobri uvjeti prionjivosti)

$\eta_2 = 1{,}0$ ($\varphi = 16$ mm ≤ 32 mm)

$f_{bd} = 2{,}25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2{,}25 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.333 = 3.000$ MPa

17.4 Osnovna potrebna duljina sidrenja (8.4.3)

$l_{b,rqd} = (\varphi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd}) = (16 / 4) \cdot (434.78 / 3.000) = 579.7$ mm

17.5 Koeficijenti α (tablica 8.2)

$c_d = \min(a/2; c_1; c) = \min(25.0; 30; 30) = 25.0$ mm

$\alpha_1 = 1{,}00$ (ravna šipka)

$\alpha_2 = 1 - 0{,}15 \cdot (c_d - \varphi) / \varphi = 1 - 0{,}15 \cdot (25.0 - 16) / 16 \rightarrow \alpha_2 = 0.916$ ($0{,}7 \le \alpha_2 \le 1{,}0$)

$A_s = \pi \cdot \varphi^2 / 4 = 201.1$ mm²

$\Sigma A_{st,min} = 0{,}25 \cdot A_s = 50.3$ mm² (greda)

$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s = (0.0 - 50.3) / 201.1 = -0.250$

$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda = 1 - 0.00 \cdot -0.250 \rightarrow \alpha_3 = 1.000$ ($0{,}7 \le \alpha_3 \le 1{,}0$)

$\alpha_4 = 1{,}00$ (bez zavarenih poprečnih šipki)

$\alpha_5 = 1 - 0{,}04 \cdot p = 1 - 0{,}04 \cdot 0.00 \rightarrow \alpha_5 = 1.000$ ($0{,}7 \le \alpha_5 \le 1{,}0$)

$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 0.916 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 0.916 \ge 0{,}7$

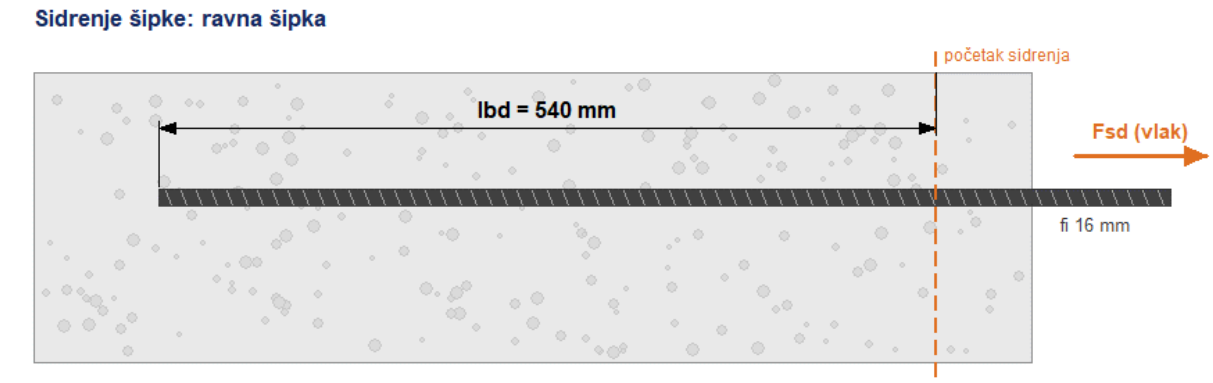
17.6 Proračunska duljina sidrenja (8.4.4)

$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot (\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) \cdot l_{b,rqd} = 1.000 \cdot 1.000 \cdot 0.916 \cdot 579.7 = 530.8$ mm

$l_{b,min} = \max(0{,}3 \cdot l_{b,rqd}; 10\varphi; 100\text{ mm}) = \max(173.9; 160; 100) = 173.9$ mm

l_{bd} = max(530.8; 173.9) = 530.8 mm

Usvojena duljina sidrenja: l_{bd} = 540 mm (33.8 φ)



Slika 1. Sidrenje šipke - ravna šipka

17.7 Duljina preklopa (8.7.3)

$\Sigma A_{st,min} = A_s \cdot \sigma_{sd} / f_{yd} = 201.1 \cdot 1.000 = 201.1$ mm²

$\lambda = (0.0 - 201.1) / 201.1 = -1.000 \rightarrow \alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda = 1.000$

$\alpha_6 = \sqrt{(\rho_1 / 25)} = \sqrt{(50 / 25)} \rightarrow \alpha_6 = 1.414 \quad (1{,}0 \leq \alpha_6 \leq 1{,}5)$

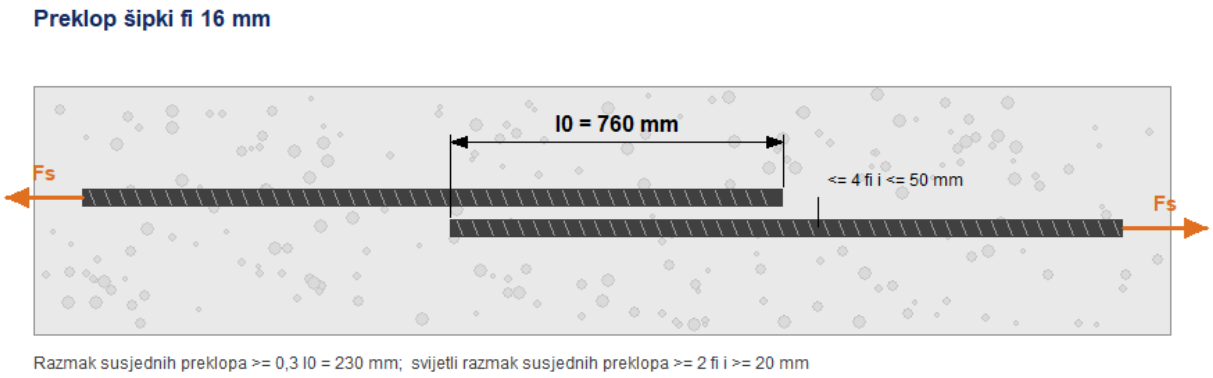
$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 0.916 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 0.916 \geq 0{,}7$

$l_0 = \alpha_1 \cdot (\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1.000 \cdot 0.916 \cdot 1.414 \cdot 579.7 = 750.7$ mm

$l_{0,min} = \max(0{,}3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\varphi; 200 \text{ mm}) = \max(246.0; 240; 200) = 246.0$ mm

$l_0 = \max(750.7; 246.0) = 750.7$ mm

Usvojena duljina preklopa: l_0 = 760 mm (47.5 φ)



Slika 2. Preklop šipki

Konstrukcijski zahtjevi za preklope (8.7.2 i 8.7.4)

- svijetli razmak između preklopljenih šipki ≤ 4φ = 64 mm i ≤ 50 mm (inače l_0 povećati za prekoračenje);
- uzdužni razmak susjednih preklopa ≥ 0,3 · l_0 = 230 mm;
- svijetli razmak susjednih preklopa ≥ 2φ = 32 mm i ≥ 20 mm;
- poprečna armatura: budući da je φ < 20 mm ili ρ_1 ≤ 25 %, dovoljna je poprečna armatura potrebna iz drugih razloga (8.7.4.1(2));

17.8 Sažetak rezultata

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Granično naprezanje prionjivosti	f_{bd}	3.00 MPa

Osnovna duljina sidrenja	$l_{b,rqd}$	580 mm
Minimalna duljina sidrenja	$l_{b,min}$	174 mm
Proračunska duljina sidrenja (usvojeno)	l_{bd}	540 mm
Minimalna duljina preklopa	$l_{0,min}$	246 mm
Duljina preklopa (usvojeno)	l_0	760 mm

Izračunato programom AnchorLap 1.0. Rezultate je potrebno provjeriti; odgovornost za projekt snosi projektant.

18 Program CrackWidth

Proračun širine pukotina

Granično stanje uporabljivosti prema HRN EN 1992-1-1:2013, točka 7.3.4

Projekt:	Stambeno-poslovna zgrada
Element:	Greda POS 101
Izradio:	
Datum:	15.11.2026.
Program:	CrackWidth Pro 1.0

18.1 Ulazni podaci

18.1.1 1.1 Materijali

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Razred betona		C30/37	
Karakteristična tlačna čvrstoća	f_{ck}	30.0	MPa
Srednja tlačna čvrstoća	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	38.0	MPa
Srednja vlačna čvrstoća	f_{ctm}	2.896	MPa
Modul elastičnosti betona	E_{cm}	32837	MPa
Modul elastičnosti čelika	E_s	200000	MPa
Armatura		rebrasta (dobra prionjivost)	
Koeficijent puzanja	$\phi(\infty, t_0)$	2.00	

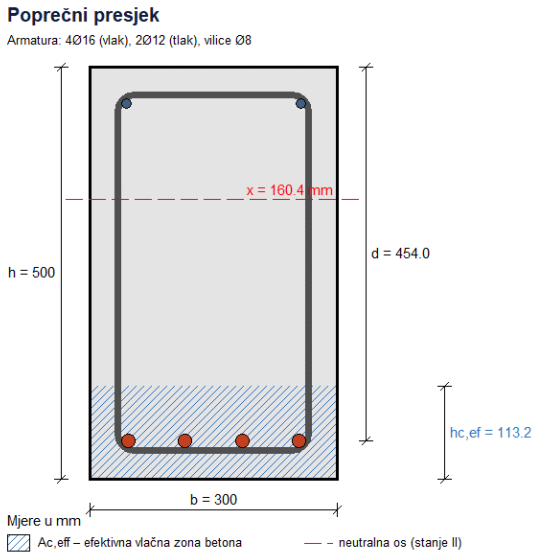
18.1.2 1.2 Geometrija presjeka i armatura

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Širina presjeka	b	300	mm
Visina presjeka	h	500	mm
Zaštitni sloj do vilica	c_{nom}	30	mm
Promjer vilica	$Ø_w$	8	mm
Vlačna armatura	A_{s1}	4Ø16 = 804.2	mm^2
Tlačna armatura	A_{s2}	2Ø12 = 226.2	mm^2

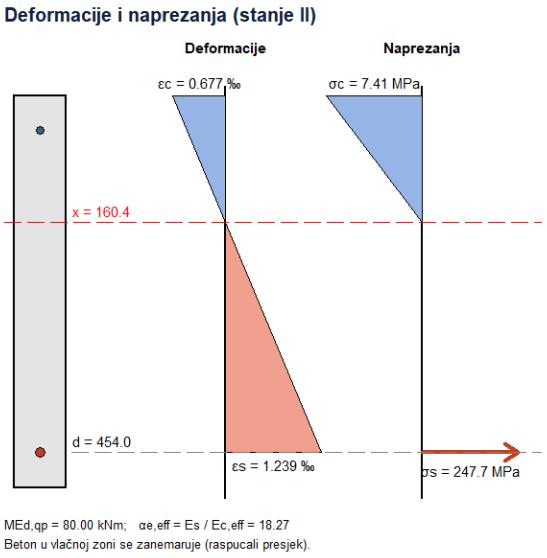
18.1.3 1.3 Opterećenje i kriterij

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Moment (nazovistalna kombinacija)	$M_{Ed,qp}$	80.00	kNm

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Trajanje opterećenja		dugotrajno	
Granična širina pukotine	w_{max}	0.30	mm



Slika 1. Poprečni presjek s efektivnom vlačnom zonom



Slika 2. Raspodjela deformacija i naprezanja (stanje II)

18.2 Proračun

18.2.1 2.1 Geometrijske veličine

$c = c_{nom} + Ø_w = 30 + 8 = 38.0$ mm

$d = h - c - Ø/2 = 500 - 38.0 - 8.0 = 454.0$ mm

$d_2 = c + Ø_2/2 = 38.0 + 6.0 = 44.0$ mm

$A_{s1} = 4 \cdot Ø^2 \cdot \pi/4 = 804.2$ mm^2

Osni razmak vlaènih šipki: s = 69.3 mm

18.2.2 2.2 Moduli elastičnosti i omjeri modula

$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \phi) = 32837 / (1 + 2.00) = 10946$ MPa

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200000 / 32837 = 6.091$

$\alpha_{e,eff} = E_s / E_{c,eff} = 200000 / 10946 = 18.272$

18.2.3 2.3 Moment raspucavanja

$M_{cr} = f_{ctm} \cdot b \cdot h^2 / 6 = 2.896 \cdot 300 \cdot 500^2 / 6 = 36.21$ kNm

$M_{Ed,qp} = 80.00$ kNm $> M_{cr} = 36.21$ kNm $\Rightarrow$ presjek je raspucao

18.2.4 2.4 Naprezanja u raspucalom presjeku (stanje II)

Položaj neutralne osi iz jednakosti statičkih momenata tlačne i vlačne zone:

$b \cdot x^2/2 + (\alpha_{e,eff} - 1) \cdot A_{s2} \cdot (x - d_2) = \alpha_{e,eff} \cdot A_{s1} \cdot (d - x)$

$x = 160.41$ mm

$I_{cr} = b \cdot x^3/3 + \alpha_{e,eff} \cdot A_{s1} \cdot (d - x)^2 + (\alpha_{e,eff} - 1) \cdot A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 = 1732.38 \cdot 10^6$ mm^4

$\sigma_c = M_{Ed,qp} \cdot x / I_{cr} = 80.00 \cdot 10^6 \cdot 160.41 / 1732.38 \cdot 10^6 = 7.41$ MPa

$\sigma_s = \alpha_{e,eff} \cdot M_{Ed,qp} \cdot (d - x) / I_{cr} = 18.272 \cdot 80.00 \cdot 10^6 \cdot 293.59 / 1732.38 \cdot 10^6 = 247.73$ MPa

18.2.5 2.5 Efektivna vlačna zona betona

$h_{c,ef} = \min\{2{,}5(h - d); (h - x)/3; h/2\} = \min\{115.0; 113.2; 250.0\} = 113.2$ mm

$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,ef} = 300 \cdot 113.2 = 33959\ mm^2$

$\rho_{p,eff} = A_{s1} / A_{c,eff} = 804.2 / 33959 = 0.02368$

18.2.6 2.6 Razlika srednjih deformacija armature i betona

$k_t = 0.4$ (dugotrajno opterećenje); $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.896$ MPa

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot f_{ct,eff}/\rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})] / E_s \geq 0{,}6 \cdot \sigma_s/E_s$

$= [247.73 - 0.4 \cdot 2.896/0.02368 \cdot (1 + 6.091 \cdot 0.02368)] / 200000 = 0.9588$ ‰

$0{,}6 \cdot \sigma_s/E_s = 0{,}6 \cdot 247.73/200000 = 0.7432$ ‰

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.9588$ ‰

18.2.7 2.7 Maksimalni razmak pukotina

$k_1 = 0.8$; $k_2 = 0.5$ (savijanje); $k_3 = 3.4$; $k_4 = 0.425$

$s = 69.3\ mm \leq 5 \cdot (c + Ø/2) = 5 \cdot (38.0 + 8.0) = 230.0\ mm \Rightarrow$ izraz (7.11)

$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot Ø/\rho_{p,eff} = 3.4 \cdot 38.0 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot 16/0.02368 = 244.1\ mm$

18.2.8 2.8 Karakteristična širina pukotine

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 244.1 \cdot 0.9588 \cdot 10^{-3} = 0.234\ mm$

18.3 Zaključak

$w_k = 0.234\ mm \leq w_{max} = 0.30\ mm \Rightarrow$ ZADOVOLJAVA

Napomena: proračun vrijedi za pravokutni presjek opterećen savijanjem, s jednim redom vlačne armature istog promjera. Potrebno je zasebno provjeriti minimalnu armaturu (7.3.2).

19 Program RCDeflection

Proračun progiba: Greda POZ 101

Proračun progiba armiranobetonskog elementa metodom zakrivljenosti prema HRN EN 1992-1-1, točka 7.4.3. Djelovanja se uzimaju za kvazi-stalnu kombinaciju, a utjecaji puzanja i skupljanja betona prema točki 3.1.4 i Dodatku B.

19.1.1 1. Gradiva

19.1.1.1 Beton C25/30

Karakteristična tlačna čvrstoća i srednja tlačna čvrstoća:

$$f_{ck} = 25\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25 + 8 = 33\ \mathrm{N/mm^2}$$

Srednja vlačna čvrstoća betona (tablica 3.1):

$$f_{ctm} = 0{,}30 \cdot {f_{ck}}^{2/3} = 0{,}30 \cdot 25^{2/3} = 2{,}565\ \mathrm{N/mm^2}$$

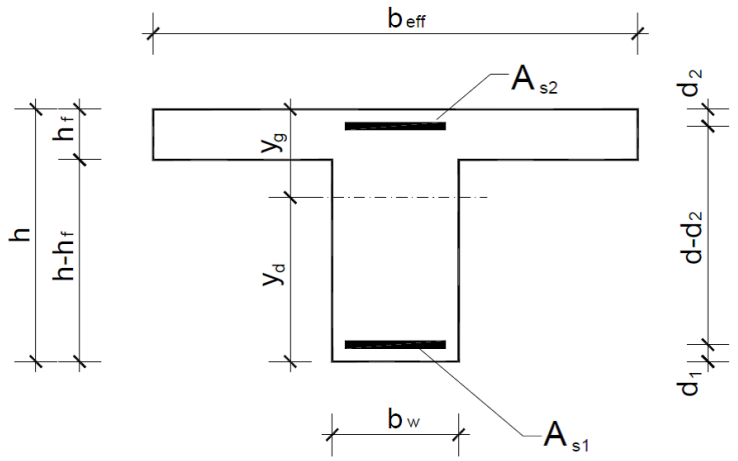
Sekantni modul elastičnosti betona (tablica 3.1):

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0{,}3} = 22000 \cdot \left(\frac{33}{10}\right)^{0{,}3} = 31\,476\ \mathrm{N/mm^2}$$

19.1.1.2 Armatura B500B

$$E_s = 200\,000\ \mathrm{N/mm^2}$$

19.1.2 2. Poprečni presjek



Oznaka	Vrijednost	Opis
b_w	30,0 cm	širina rebra
h	60,0 cm	ukupna visina presjeka
b_{eff}	200,0 cm	sudjelujuća širina ploče
h_f	12,0 cm	debljina ploče
A_{s1}	15,71 cm²	vlačna armatura (dolje)
d_1	5,0 cm	udaljenost težišta A_{s1} od donjeg ruba
A_{s2}	0,00 cm²	tlačna armatura (gore)
d_2	5,0 cm	udaljenost težišta A_{s2} od gornjeg ruba

Statička visina:

$$d = h\text{-}d_1 = 60{,}0\text{-}5{,}0 = 55{,}0 \text{ cm}$$

Površina betonskog presjeka, opseg izložen sušenju i nazivna veličina elementa:

$$A_c = b_{eff} \cdot h_f + b_w \cdot (h\text{-}h_f) = 200{,}0 \cdot 12{,}0 + 30{,}0 \cdot (60{,}0\text{-}12{,}0) = 3840{,}0 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot b_{eff} + 2 \cdot h = 2 \cdot 200{,}0 + 2 \cdot 60{,}0 = 520{,}0 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 3840{,}0}{520{,}0} = 14{,}77 \text{ cm} = 147{,}7 \text{ mm}$$

19.1.3 3. Puzanje i skupljanje betona

Ulazni podaci: relativna vlažnost okoliša $RH = 50$ %, cement razreda N (normalni), starost betona u trenutku opterećenja $t_0 = 28$ dana, na početku sušenja $t_s = 7$ dana i promatrani trenutak $t = 25\,550$ dana.

19.1.3.1 Koeficijent puzanja φ(t,t₀) (Dodatak B.1)

$$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t,t_0)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

Utjecaj relativne vlažnosti (za $f_{cm} \leq 35$ N/mm²):

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1\text{-}\frac{RH}{100}}{0{,}1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} = 1 + \frac{1\text{-}\frac{50}{100}}{0{,}1 \cdot \sqrt[3]{147{,}7}} = 1{,}946$$

Utjecaj čvrstoće betona:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16{,}8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16{,}8}{\sqrt{33}} = 2{,}925$$

Utjecaj starosti betona u trenutku opterećenja:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0{,}1 + t_0{}^{0{,}20}} = \frac{1}{0{,}1 + 28^{0{,}20}} = 0{,}488$$

$$\varphi_0 = 1{,}946 \cdot 2{,}925 \cdot 0{,}488 = 2{,}780$$

Razvoj puzanja u vremenu:

$$\beta_H = 1{,}5 \cdot \left[1 + (0{,}012 \cdot RH)^{18}\right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 = 471{,}6$$

$$\beta_c(t,t_0) = \left(\frac{t\text{-}t_0}{\beta_H + t\text{-}t_0}\right)^{0{,}3} = \left(\frac{25\,550\text{-}28}{471{,}6 + 25\,550\text{-}28}\right)^{0{,}3} = 0{,}995$$

Koeficijent puzanja:

$$\varphi(t,t_0) = 2{,}780 \cdot 0{,}995 = 2{,}764$$

19.1.3.2 Skupljanje betona ε_{cs} (3.1.4(6) i Dodatak B.2)

Ukupno skupljanje sastoji se od skupljanja sušenjem i autogenog skupljanja:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

Osnovno skupljanje sušenjem (B.11), za cement razreda N (normalni): $\alpha_{ds1} = 4$, $\alpha_{ds2} = 0{,}12$

$$\beta_{RH} = 1{,}55 \cdot \left[1\text{-}\left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3\right] = 1{,}55 \cdot \left[1\text{-}\left(\frac{50}{100}\right)^3\right] = 1{,}356$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(\text{-}\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)\right] \cdot 10^{\text{-}6} \cdot \beta_{RH} = 5{,}121 \cdot 10^{\text{-}4}$$

$$\beta_{ds}(t,t_s) = \frac{(t\text{-}t_s)}{(t\text{-}t_s) + 0{,}04 \cdot \sqrt{h_0{}^3}} = \frac{25\,543}{25\,543 + 0{,}04 \cdot \sqrt{147{,}7^3}} = 0{,}997$$

Koeficijent ovisan o nazivnoj veličini $h_0 = 147{,}7$ mm (tablica 3.3, linearna interpolacija):

$$k_h = 0{,}928$$

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0{,}997 \cdot 0{,}928 \cdot 5{,}121 \cdot 10^{\text{-}4} = 4{,}741 \cdot 10^{\text{-}4}$$

Autogeno skupljanje (3.11) – (3.13):

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \cdot (f_{ck}\text{-}10) \cdot 10^{\text{-}6} = 2{,}5 \cdot (25\text{-}10) \cdot 10^{\text{-}6} = 3{,}750 \cdot 10^{\text{-}5}$$

$$\beta_{as}(t) = 1\text{-}\exp(\text{-}0{,}2 \cdot t^{0{,}5}) = 1\text{-}\exp(\text{-}0{,}2 \cdot 25\,550^{0{,}5}) = 1{,}000$$

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as} \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1{,}000 \cdot 3{,}750 \cdot 10^{\text{-}5} = 3{,}750 \cdot 10^{\text{-}5}$$

Ukupno skupljanje:

$$\varepsilon_{cs} = 4{,}741 \cdot 10^{\text{-}4} + 3{,}750 \cdot 10^{\text{-}5} = 5{,}116 \cdot 10^{\text{-}4}$$

19.1.4 4. Efektivni modul elastičnosti i omjer modula

Efektivni modul elastičnosti betona uključuje puzanje (7.20):

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty,t_0)} = \frac{31\,476}{1 + 2{,}764} = 8361\ \text{N/mm}^2$$

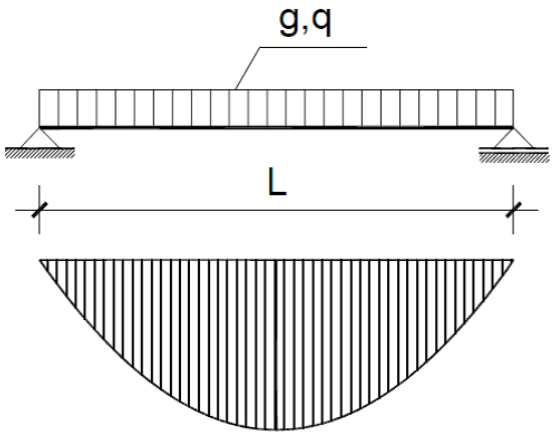
Omjer modula elastičnosti armature i betona:

za t = 0: $\alpha_{e,0} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200\,000}{31\,476} = 6{,}35$

za t = ∞: $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200\,000}{8361} = 23{,}92$

U daljnjem proračunu koristi se $\alpha_e = 23{,}92$ (dugotrajno opterećenje).

19.1.5 5. Statički sustav i djelovanja



Sustav 5: prosta greda, jednoliko kontinuirano opterećenje

Raspon: $L = 8{,}00\ \text{m}$

Stalno djelovanje: $g = 12{,}50\ \text{kN/m}$

Promjenjivo djelovanje: $q = 18{,}75\ \text{kN/m}$

Kvazi-stalna kombinacija djelovanja (HRN EN 1990, 6.5.3):

$$E_d = \Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Koeficijent za kvazi-stalnu vrijednost promjenjivog djelovanja: $\psi_2 = 0{,}80$

$$q_{Ed} = g + \psi_2 \cdot q = 12{,}50 + 0{,}80 \cdot 18{,}75 = 27{,}50\ \text{kN/m}$$

Najveći moment savijanja u polju za kvazi-stalnu kombinaciju:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{27{,}50 \cdot 8{,}00^2}{8} = 220{,}00\ \text{kNm}$$

Koeficijent k ovisi o obliku dijagrama momenata savijanja (progib $v = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r}$):

$$k = \frac{5}{48} = 0{,}1042$$

Koeficijent progiba od skupljanja (zakrivljenost od skupljanja je jednolika po duljini nosača), za prostu gredu s jednolikom zakrivljenošću po duljini:

$$k_{cs} = \frac{1}{8} = 0{,}1250$$

19.1.6 6. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

19.1.6.1 Betonski presjek (bez armature)

$$y_{0g} = \frac{b_{eff} \cdot \frac{h_f^2}{2} + b_w \cdot (h\text{-}h_f) \cdot \left(h_f + \frac{h\text{-}h_f}{2}\right)}{A_c} = 17{,}25\ \text{cm}$$

$$I_0 = \frac{b_{eff} \cdot h_f^3}{12} + b_{eff} \cdot h_f \cdot \left(y_{0g}\text{-}\frac{h_f}{2}\right)^2 + \frac{b_w \cdot (h\text{-}h_f)^3}{12} + b_w \cdot (h\text{-}h_f) \cdot \left(\frac{h + h_f}{2}\text{-}y_{0g}\right)^2 = 1\,115\,280\ \text{cm}^4$$

$$y_{0d} = h\text{-}y_{0g} = 60{,}0\text{-}17{,}25 = 42{,}75 \text{ cm}$$

19.1.6.2 Stanje naprezanja I (presjek bez pukotina)

Idealni presjek: površina armature množi se s $(\alpha_e\text{-}1)$:

$$A_I = A_c + (\alpha_e\text{-}1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 3840{,}0 + (23{,}92\text{-}1) \cdot (15{,}71 + 0{,}00) = 4200{,}1 \text{ cm}^2$$

$$y_{1g} = \frac{A_c \cdot y_{0g} + (\alpha_e\text{-}1) \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_I} = 20{,}49 \text{ cm}$$

$$I_I = I_0 + A_c \cdot (y_{1g}\text{-}y_{0g})^2 + (\alpha_e\text{-}1) \cdot \left[A_{s1} \cdot (d\text{-}y_{1g})^2 + A_{s2} \cdot (y_{1g}\text{-}d_2)^2\right] = 1\,584\,410 \text{ cm}^4$$

Statički moment površine armature oko težišta idealnog presjeka:

$$S_I = A_{s1} \cdot (d\text{-}y_{1g})\text{-}A_{s2} \cdot (y_{1g}\text{-}d_2) = 15{,}71 \cdot (55{,}0\text{-}20{,}49)\text{-}0{,}00 \cdot (20{,}49\text{-}5{,}0) = 542{,}2 \text{ cm}^3$$

19.1.6.3 Stanje naprezanja II (raspucali presjek)

Beton u vlačnoj zoni ne sudjeluje. Položaj neutralne osi $x = y_{2g}$ određuje se iz jednakosti statičkih momenata tlačne i vlačne zone oko neutralne osi:

$$b_{eff} \cdot h_f \cdot \left(x\text{-}\frac{h_f}{2}\right) + \frac{b_w \cdot (x\text{-}h_f)^2}{2} + (\alpha_e\text{-}1) \cdot A_{s2} \cdot (x\text{-}d_2) = \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d\text{-}x)$$

Neutralna os nalazi se u rebru ($x > h_f$).

$$x = y_{2g} = 12{,}63 \text{ cm}$$

$$I_{II} = \frac{b_{eff} \cdot {h_f}^3}{12} + b_{eff} \cdot h_f \cdot \left(x\text{-}\frac{h_f}{2}\right)^2 + \frac{b_w \cdot (x\text{-}h_f)^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d\text{-}x)^2 + (\alpha_e\text{-}1) \cdot A_{s2} \cdot (x\text{-}d_2)^2 = 808\,903 \text{ cm}^4$$

$$S_{II} = A_{s1} \cdot (d\text{-}x)\text{-}A_{s2} \cdot (x\text{-}d_2) = 15{,}71 \cdot (55{,}0\text{-}12{,}63)\text{-}0{,}00 \cdot (12{,}63\text{-}5{,}0) = 665{,}6 \text{ cm}^3$$

19.1.7 7. Moment nastanka pukotina i koeficijent raspodjele

Moment nastanka prve pukotine (betonski presjek, srednja vlačna čvrstoća $f_{ctm} = 0{,}2565 \text{ kN/cm}^2$):

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot I_0}{y_{0d}} = \frac{0{,}2565 \cdot 1\,115\,280}{42{,}75} = 6691{,}6 \text{ kNcm} = 66{,}92 \text{ kNm}$$

$M_{Ed} = 220{,}00 \text{ kNm} > M_{cr} = 66{,}92 \text{ kNm}$ → presjek je raspucao.

Naprezanje u vlačnoj armaturi za raspucali presjek:

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e \cdot M_{Ed} \cdot (d\text{-}x)}{I_{II}} = \frac{23{,}92 \cdot 22\,000 \cdot (55{,}0\text{-}12{,}63)}{808\,903} = 27{,}56 \text{ kN/cm}^2$$

Naprezanje u vlačnoj armaturi za raspucali presjek pri momentu nastanka pukotina:

$$\sigma_{sr} = \frac{\alpha_e \cdot M_{cr} \cdot (d\text{-}x)}{I_{II}} = \frac{23{,}92 \cdot 6692 \cdot (55{,}0\text{-}12{,}63)}{808\,903} = 8{,}38 \text{ kN/cm}^2$$

Naprezanje u betonu na gornjem rubu (raspucali presjek):

$$\sigma_c = \frac{M_{Ed} \cdot x}{I_{II}} = \frac{22\,000 \cdot 12{,}63}{808\,903} = 0{,}344 \text{ kN/cm}^2$$

Relativna deformacija vlačne armature:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{27{,}56}{20\,000} = 1{,}378 \cdot 10^{-3}$$

Koeficijent raspodjele zakrivljenosti (7.19), gdje je β koeficijent kojim se uzima u obzir trajanje opterećenja (β = 1,0 kratkotrajno, β = 0,5 dugotrajno ili ponavljano opterećenje):

$$\beta = 0{,}50$$

$$\zeta = 1\text{-}\beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1\text{-}0{,}50 \cdot \left(\frac{8{,}38}{27{,}56}\right)^2 = 0{,}9537$$

19.1.8 8. Zakrivljenosti

Zakrivljenost od opterećenja i puzanja $\left(E_{c,eff} = 836{,}1\ \mathrm{kN/cm^2}\right)$:

stanje naprezanja I:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{22\,000}{836{,}1 \cdot 1\,584\,410} = 1{,}661 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

stanje naprezanja II:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_s}{d\text{-}x} = \frac{1{,}378 \cdot 10^{-3}}{55{,}0\text{-}12{,}63} = 3{,}253 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

Srednja zakrivljenost od opterećenja i puzanja (7.18):

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1\text{-}\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} = 0{,}9537 \cdot 3{,}253 \cdot 10^{-5} + 0{,}0463 \cdot 1{,}661 \cdot 10^{-5} = 3{,}179 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

Zakrivljenost od skupljanja (7.21):

$$\frac{1}{r_{cs,I}} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot S_I}{I_I} = \frac{5{,}116 \cdot 10^{-4} \cdot 23{,}92 \cdot 542{,}2}{1\,584\,410} = 4{,}188 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

$$\frac{1}{r_{cs,II}} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot S_{II}}{I_{II}} = \frac{5{,}116 \cdot 10^{-4} \cdot 23{,}92 \cdot 665{,}6}{808\,903} = 1{,}007 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

$$\frac{1}{r_{cs,m}} = \zeta \cdot \frac{1}{r_{cs,II}} + (1\text{-}\zeta) \cdot \frac{1}{r_{cs,I}} = 9{,}797 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

Ukupna zakrivljenost:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{cs,m}} = 3{,}179 \cdot 10^{-5} + 9{,}797 \cdot 10^{-6} = 4{,}159 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{cm^{-1}}$$

19.1.9 9. Progib

Progib od opterećenja i puzanja:

$$v_m = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_m} = 0{,}1042 \cdot 800^2 \cdot 3{,}179 \cdot 10^{-5} = 2{,}12\ \mathrm{cm}$$

Progib od skupljanja:

$$v_{cs} = k_{cs} \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{cs,m}} = 0{,}1250 \cdot 800^2 \cdot 9{,}797 \cdot 10^{-6} = 0{,}78\ \mathrm{cm}$$

Ukupni dugotrajni progib:

$$v_{tot} = v_m + v_{cs} = 2{,}12 + 0{,}78 = 2{,}90\ \mathrm{cm}$$

Granični progib (7.4.1(4)):

$$v_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{800}{250} = 3{,}20\ \mathrm{cm}$$

$$v_{tot} = 2{,}90\ \mathrm{cm} \leq v_{lim} = 3{,}20\ \mathrm{cm}$$

Proračun progiba zadovoljava.

Za usporedbu, elastični (kratkotrajni) progib nearmiranog presjeka bez pukotina:

$$v_{el} = k \cdot L^2 \cdot \frac{M_{Ed}}{E_{cm} \cdot I_0} = 0{,}1042 \cdot 800^2 \cdot \frac{22\,000}{3147{,}6 \cdot 1\,115\,280} = 0{,}42 \text{ cm}$$

$$\frac{v_{tot}}{v_{el}} = \frac{2{,}90}{0{,}42} = 6{,}95$$

19.1.10 Sažetak rezultata

Veličina	Vrijednost
Koeficijent puzanja ϕ	2,764
Skupljanje ε_{cs}	$5{,}116 \cdot 10^{-4}$
Moment M_{Ed} (kvazi-stalna komb.)	220,00 kNm
Moment nastanka pukotina M_{cr}	66,92 kNm
Koeficijent raspodjele ζ	0,954
Progib od opterećenja i puzanja v_m	2,12 cm
Progib od skupljanja v_{cs}	0,78 cm
Ukupni progib v_{tot}	2,90 cm
Granični progib L/250	3,20 cm
Ocjena	zadovoljava

RCPadFoundation
Pad foundation design · EN 1992-1-1 · EN 1997-1

20 Program RCPadFoundation

Statički proračun temelja samca POZ T1

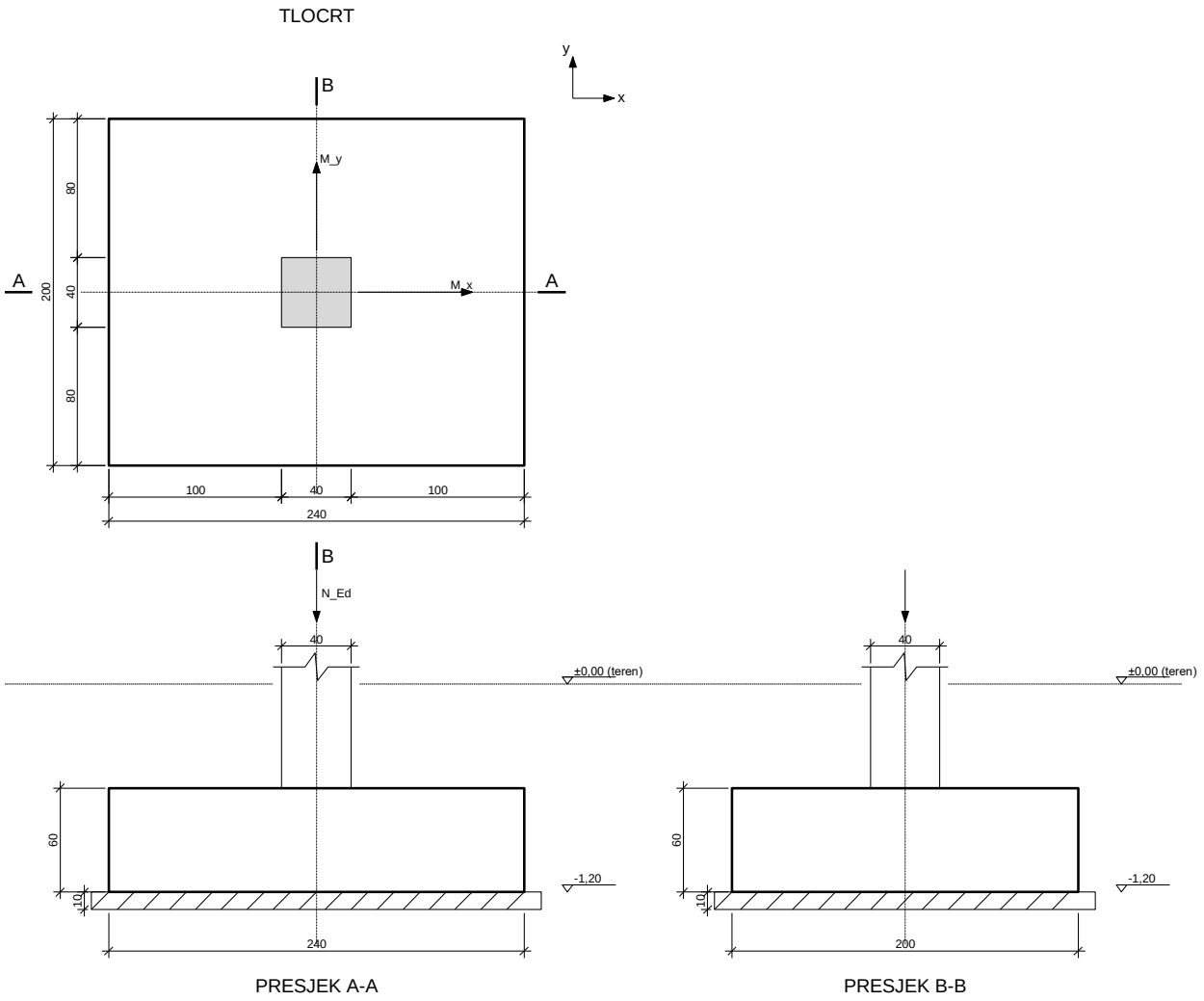
Proračun prema HRN EN 1997-1 i HRN EN 1992-1-1. Datum: 16-Nov-26.

20.1 Ulazni podaci

Podatak	Vrijednost
Projekt	Glavni projekt - konstrukcija
Građevina	Građevina
Pozicija	POZ T1
Propisi	HRN EN 1990, HRN EN 1992-1-1, HRN EN 1997-1

20.1.1 1.1 Geometrija

Oznaka	Opis	Vrijednost
Tip	oblik temelja	pravokutni (prizmatični)
B	duljina temelja (smjer x)	2,40 m
L	širina temelja (smjer y)	2,00 m
H	ukupna visina temelja	0,60 m
bx x by	presjek stupa	0,40 x 0,40 m
Df	dubina temeljenja	1,20 m



Slika 1: Geometrija temelja - tlocrt i presjeci

20.1.2 1.2 Materijali

Oznaka	Opis	Vrijednost
Beton	razred čvrstoće	C25/30
f_{ck}	karakteristična tlačna čvrstoća	25,0 MPa
f_{cd}	$= \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \cdot 25 / 1,50$	16,67 MPa
f_{ctm}	srednja vlačna čvrstoća	2,56 MPa
Čelik	B500B, f_{yk}	500 MPa
f_{yd}	$= f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15$	434,8 MPa
c_{nom}	zaštitni sloj betona	50 mm
γ_b	zapreminska težina betona	25,0 kN/m³

20.1.3 1.3 Temeljno tlo

Oznaka	Opis	Vrijednost
Metoda	HRN EN 1997-1, Dodatak D (drenirano)	
ϕ'_k	karakteristični kut trenja	30,0°
c'_k	karakteristična kohezija	0,0 kPa
γ'	zapreminska težina tla ispod temelja	19,0 kN/m³
$\gamma_{\phi'} / \gamma_{c'} / \gamma_{R,v}$	parcijalni faktori	1,00 / 1,00 / 1,40
γ_z	zapreminska težina zasipa	19,0 kN/m³
E_s	modul stišljivosti tla	30,0 MPa
ν	Poissonov koeficijent tla	0,30

Oznaka	Opis	Vrijednost
s_{dop}	dopušteno slijeganje	25 mm

20.1.4 1.4 Opterećenja (proračunske vrijednosti na vrhu temelja)

Mx - moment oko osi x (ekscentricitet u smjeru y), My - moment oko osi y (ekscentricitet u smjeru x).

Kombinacija	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]	$M_{Ed,y}$ [kNm]
K1 max N	1500,0	60,0	120,0
K2 max Mx	1100,0	180,0	40,0
K3 max My	900,0	30,0	260,0

Za granično stanje uporabljivosti opterećenja se dobivaju dijeljenjem s prosječnim parcijalnim faktorom γ_F = 1,40.

20.2 Vlastita težina temelja i zasipa

$V_t = 2{,}880\ m^3 \Rightarrow G_t = V_t \cdot \gamma_b = 2{,}880 \cdot 25{,}0 = 72{,}0\ kN$

$V_z = 2{,}880\ m^3 \Rightarrow G_z = V_z \cdot \gamma_z = 2{,}880 \cdot 19{,}0 = 54{,}7\ kN$

$A = B \cdot L = 2{,}40 \cdot 2{,}00 = 4{,}800\ m^2$

20.3 Granično stanje nosivosti (GSN)

20.3.1 3.1 Nosivost temeljnog tla (HRN EN 1997-1, 6.5.2)

Proračun s efektivnom površinom A' = B' · L', B' = B - 2|e_x|, L' = L - 2|e_y|. Vlastita težina temelja i zasipa uzeta je s faktorom γ_G = 1,35 (nepovoljno) i 1,00 (povoljno).

Komb.	γ_G	V_d [kN]	e_x [m]	e_y [m]	B' [m]	L' [m]	σ_{Ed} [kPa]	σ_{Rd} [kPa]	η
K1 max N	1,35	1671,1	0,072	0,036	2,256	1,928	384,1	623,2	0,616
K1 max N	1,00	1626,7	0,074	0,037	2,252	1,926	374,9	623,1	0,602
K2 max Mx	1,35	1271,1	0,031	0,142	2,337	1,717	316,8	592,2	0,535
K2 max Mx	1,00	1226,7	0,033	0,147	2,335	1,707	307,9	590,9	0,521
K3 max My	1,35	1071,1	0,243	0,028	1,915	1,944	287,8	631,2	0,456
K3 max My	1,00	1026,7	0,253	0,029	1,894	1,942	279,3	628,4	0,444

Mjerodavno: K1 max N, γ_G = 1,35:

$V_d = N_{Ed} + \gamma_G (G_t + G_z) = 1500{,}0 + 1{,}35 \cdot (72{,}0 + 54{,}7) = 1671{,}1\ kN$

$e_x = M_{Ed,y} / V_d = 0{,}072\ m$; $e_y = M_{Ed,x} / V_d = 0{,}036\ m$

$B' = 1{,}928\ m$; $L' = 2{,}256\ m$ ($B' \le L'$)

$\varphi'_d = \arctan(\tan \varphi'_k / \gamma_\varphi) = 30{,}00°$; $c'_d = 0{,}0\ kPa$; $q' = \gamma_z \cdot Df = 22{,}8\ kPa$

$N_q = e^{\wedge}(\pi \tan\varphi) \tan^2(45° + \varphi/2) = 18{,}40$; $N_c = (N_q - 1) \cot\varphi = 30{,}14$; $N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan\varphi = 20{,}09$

$s_q = 1 + (B'/L') \sin\varphi = 1{,}427$; $s_\gamma = 1 - 0{,}3\ B'/L' = 0{,}744$; $s_c = (s_q N_q - 1)/(N_q - 1) = 1{,}452$

$R/A' = c' N_c s_c + q' N_q s_q + 0{,}5\ \gamma' B' N_\gamma s_\gamma = 872{,}5\ kPa$

$\sigma_{Rd} = (R/A') / \gamma_{R,v} = 872{,}5 / 1{,}40 = 623{,}2\ kPa$

$\sigma_{Ed} = V_d / A' = 1671{,}1 / (1{,}928 \cdot 2{,}256) = 384{,}1\ kPa$

Nosivost tla: $\sigma_{Ed} \le \sigma_{Rd}$ (η = 61,6 %) ZADOVOLJAVA

20.3.2 3.2 Ograničenje ekscentriciteta (HRN EN 1997-1, 6.5.4)

Uz povoljno djelovanje vlastite težine (γ_G = 1,0) rezultanta mora ostati unutar B/3 i L/3 od težišta.

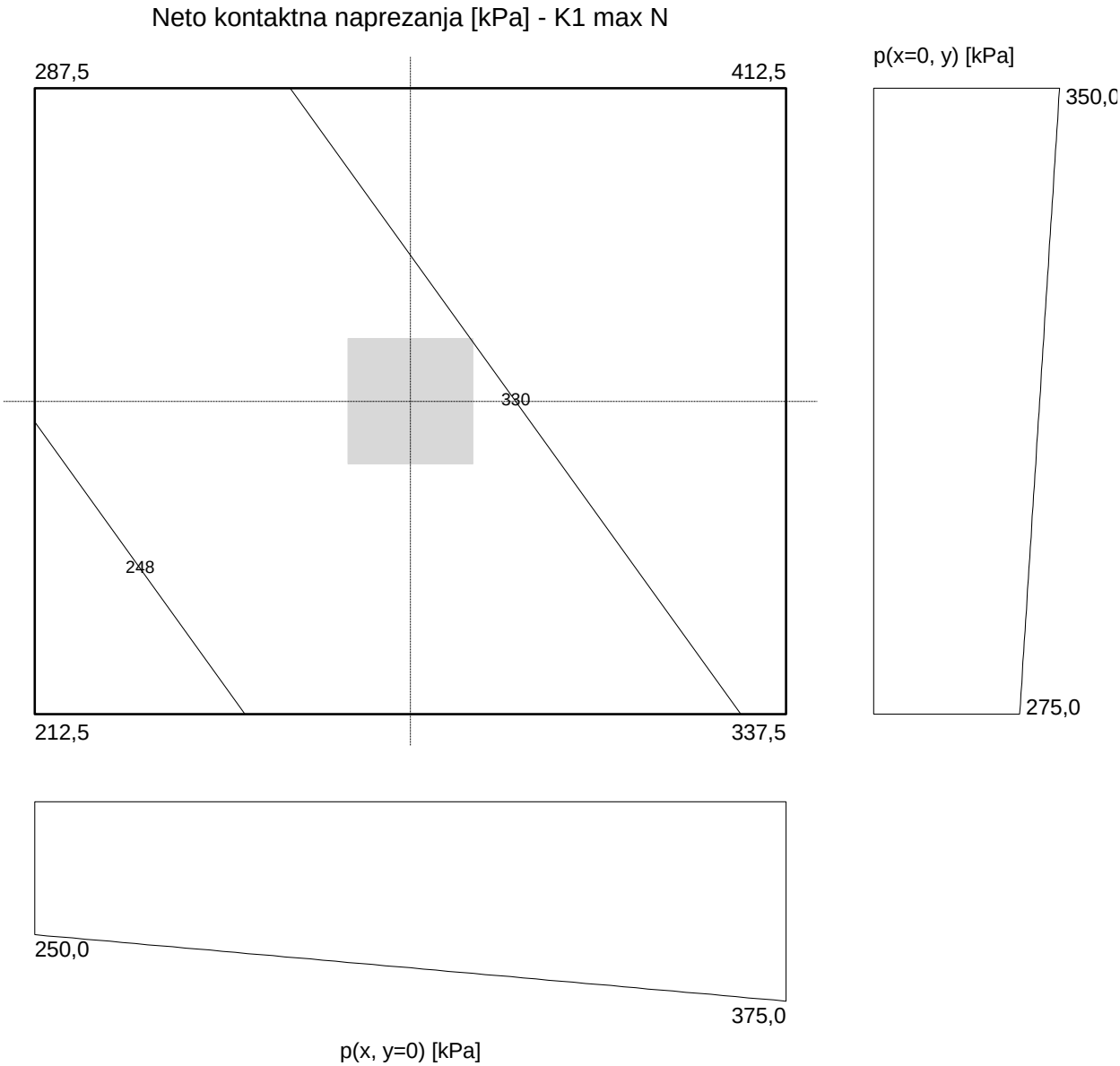
Mjerodavno K3 max My: $e_x = 0{,}253\ m \le B/3 = 0{,}800\ m$; $e_y = 0{,}029\ m \le L/3 = 0{,}667\ m$

Ekscentricitet rezultante (η = 31,7 %) ZADOVOLJAVA

20.3.3 3.3 Kontaktna naprezanja za dimenzioniranje temelja

Za dimenzioniranje se koristi neto reaktivno naprezanje od sila iz stupa (vlastita težina temelja i zasipa ne izaziva savijanje). Ako je rezultanta izvan jezgre presjeka, rješava se raspodjela bez vlačnih naprezanja (djelomično odizanje).

Komb.	e_x [m]	e_y [m]	raspodjela	σ_{max} [kPa]	kontakt [%]
K1 max N	0,080	0,040	linearna	412,5	100
K2 max Mx	0,036	0,164	linearna	362,5	100
K3 max My	0,289	0,033	linearna	341,7	100



Slika 2: Neto kontaktna naprezanja - mjerodavna kombinacija

20.3.4 3.4 Dimenzioniranje na savijanje (HRN EN 1992-1-1, 6.1)

Momenti savijanja računaju se integracijom reaktivnog naprezanja izvan promatranog presjeka (konzola od lica stupa). Za presjeke na kosinama i stepenicama uzeta je stvarna visina presjeka i širina tlačne zone na vrhu.
Potrebna armatura: $\mu_{Ed} = M_{Ed} / (b\, d^2\, f_{cd})$, $\omega = 1 - \sqrt{(1 - 2\mu_{Ed})}$, $A_s = \omega\, b\, d\, f_{cd} / f_{yd}$.
Armatura u smjeru x postavlja se u donji red (veća konzola), armatura u smjeru y iznad nje.
Smjer x (šipke paralelne s B) - mjerodavna kombinacija K1 max N:

s [m]	h [m]	b [m]	d [mm]	M_{Ed} [kNm]	μ_{Ed}	ω	$A_{s,req}$ [cm²]
0,200	0,600	2,000	543	357,6	0,0364	0,0371	15,43
0,325	0,600	2,000	543	275,5	0,0280	0,0284	11,84
0,450	0,600	2,000	543	203,6	0,0207	0,0209	8,72
0,575	0,600	2,000	543	142,2	0,0145	0,0146	6,07
0,700	0,600	2,000	543	91,6	0,0093	0,0094	3,90
0,825	0,600	2,000	543	51,8	0,0053	0,0053	2,20
0,950	0,600	2,000	543	23,2	0,0024	0,0024	0,98
1,075	0,600	2,000	543	5,8	0,0006	0,0006	0,25

Smjer y (šipke paralelne s L) - mjerodavna kombinacija K1 max N:

s [m]	h [m]	b [m]	d [mm]	M_{Ed} [kNm]	μ_{Ed}	ω	$A_{s,req}$ [cm²]
0,200	0,600	2,400	530	261,1	0,0232	0,0235	11,47
0,300	0,600	2,400	530	200,7	0,0179	0,0180	8,79
0,400	0,600	2,400	530	148,0	0,0132	0,0133	6,46
0,500	0,600	2,400	530	103,1	0,0092	0,0092	4,50
0,600	0,600	2,400	530	66,2	0,0059	0,0059	2,88
0,700	0,600	2,400	530	37,4	0,0033	0,0033	1,63
0,800	0,600	2,400	530	16,7	0,0015	0,0015	0,72
0,900	0,600	2,400	530	4,2	0,0004	0,0004	0,18

Minimalna armatura (9.2.1.1): $A_{s,min} = \max(0{,}26\, f_{ctm}/f_{yk};\ 0{,}0013)\, b_t\, d$

smjer x: $A_{s,min} = 0{,}00133 \cdot 2000 \cdot 543 = 14{,}48\ cm^2$

smjer y: $A_{s,min} = 0{,}00133 \cdot 2400 \cdot 530 = 16{,}97\ cm^2$

Odabrana armatura:

Smjer	$A_{s,req}$ [cm²]	$A_{s,min}$ [cm²]	Odabrano	$A_{s,prov}$ [cm²]	η
x (poz. 1)	15,43	14,48	13Ø14/15,0 cm	20,01	0,771
y (poz. 2)	11,47	16,97	16Ø12/15,0 cm	18,10	0,938

Savijanje: $A_{s,req} \le A_{s,prov}$ (η = 93,8 %) ZADOVOLJAVA

20.3.5 3.5 Proboj (HRN EN 1992-1-1, 6.4.4)

Kontrolni opseg na udaljenosti a ≤ 2d od lica stupa; reaktivni tlak unutar opsega umanjuje silu proboja.

Koeficijent β uzima u obzir momente u oba smjera: $\beta = 1 + k_x (M_{Ed,y}/V_{Ed,red})(u/W_x) + k_y (M_{Ed,x}/V_{Ed,red})(u/W_y)$.

$\rho_l = \sqrt{(\rho_{lx} \cdot \rho_{ly})} = 0{,}00162$; $C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c = 0{,}120$

Mjerodavna kombinacija K1 max N (d_{sr} = 537 mm na licu stupa):

a [m]	a/d	d(a) [mm]	u [m]	Δ V [kN]	$V_{Ed,red}$ [kN]	β	v_{Ed} [MPa]	$v_{Rd,c}$ [MPa]	η
0,134	0,25	537	2,443	136,2	1363,8	1,329	1,383	2,862	0,483
0,268	0,50	537	3,285	251,7	1248,3	1,263	0,895	1,431	0,625
0,402	0,75	537	4,128	409,2	1090,8	1,238	0,610	0,954	0,639
0,536	1,00	537	4,971	601,2	898,8	1,239	0,418	0,715	0,584
0,671	1,25	537	5,814	828,3	671,7	1,273	0,274	0,572	0,479

Najnepovoljniji kontrolni opseg: a = 0,349 m (0,65 d).

Proboj: $v_{Ed} \le v_{Rd,c}$ (bez poprečne armature) (η = 64,4 %) ZADOVOLJAVA

Lice stupa: $u_0 = 2(b_x + b_y) = 1{,}600$ m; $v_{Rd,max} = 0{,}4\ \nu\ f_{cd} = 0{,}4 \cdot 0{,}540 \cdot 16{,}67 = 3{,}60$ MPa

$v_{Ed,0} = \beta\, V_{Ed} / (u_0\, d) = 2{,}586$ MPa (K1 max N)

Proboj na licu stupa: $v_{Ed,0} \le v_{Rd,max}$ (η = 71,8 %) ZADOVOLJAVA

20.3.6 3.6 Poprečna sila (HRN EN 1992-1-1, 6.2.2)

Presjek na udaljenosti d od lica stupa, širina presjeka jednaka širini temelja.

Smjer	Komb.	s [m]	d [mm]	V_{Ed} [kN]	$v_{Rd,c}$ [MPa]	$V_{Rd,c}$ [kN]	η
x	K1 max N	0,743	543	331,9	0,356	387,1	0,857
y	K1 max N	0,730	530	223,5	0,359	456,6	0,490

Poprečna sila: $V_{Ed} \le V_{Rd,c}$ (η = 85,7 %) ZADOVOLJAVA

20.3.7 3.7 Sidrenje armature (HRN EN 1992-1-1, 9.8.2.2)

Sila u armaturi na udaljenosti x od ruba: $F_s = R \cdot z_e / z_i$, $z_i = 0{,}9\,d$. R je rezultanta tla na duljini x, z_e udaljenost R od sile N_{Ed} (0,15 b_{stupa} unutar lica). Raspoloživa duljina sidrenja je ravni dio šipke od točke x do ruba umanjen za zaštitni sloj, uvećan za vertikalni krak šipke (konzervativno $\alpha_1 = 1{,}0$).

$$l_{b,rqd} = (\text{Ø}/4)(\sigma_{sd}/f_{bd});\quad l_{bd} = \max(l_{b,rqd};\, l_{b,min});\quad l_{b,min} = \max(0{,}3\, l_{b,rqd};\, 10\text{Ø};\, 100\ \text{mm})$$

$$f_{bd} = 2{,}25\ \eta_1\ \eta_2\ f_{ctd} = 2{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}197 = 2{,}693\ \text{MPa}$$

Smjer	x [m]	R [kN]	z_e [m]	F_s [kN]	σ_{sd} [MPa]	$l_{b,rqd}$ [mm]	l_{bd} [mm]	raspoloživo [mm]	η
x	0,663	474,0	0,734	712,0	355,8	462	462	1103	0,419
y	0,537	438,5	0,594	546,0	301,7	336	336	968	0,347

Sidrenje: l_{bd} ≤ raspoloživa duljina (η = 41,9 %) **ZADOVOLJAVA**

20.4 Granično stanje uporabljivosti (GSU)

20.4.1 4.1 Kontaktna naprezanja i odizanje

Karakteristična opterećenja: $N_k = N_{Ed}/\gamma_F$, $M_k = M_{Ed}/\gamma_F$; vlastita težina s faktorom 1,0. Zahtjev: rezultanta unutar jezgre presjeka ($e_x/B + e_y/L \le 1/6$) - bez odizanja temelja.

Komb.	N_k+G [kN]	e_x [m]	e_y [m]	$e_x/B+e_y/L$	σ_{max} [kPa]	σ_{min} [kPa]	kontakt [%]
K1 max N	1198,1	0,072	0,036	0,048	321,0	178,2	100
K2 max Mx	912,4	0,031	0,141	0,084	285,3	94,9	100
K3 max My	769,6	0,241	0,028	0,114	270,4	50,2	100

Rezultanta unutar jezgre ($e_x/B + e_y/L \le 1/6$) (η = 68,7 %) **ZADOVOLJAVA**

20.4.2 4.2 Slijeganje

Slijeganje krutog temelja na elastičnom poluprostoru (pojednostavnjeno, bez utjecaja dubine stišljivog sloja):

$$q_{net} = (N_k + G) / A - \gamma_z\, Df = 226{,}8\ \text{kPa};\quad L/B = 1{,}20 \Rightarrow I_p = 0{,}892$$

$$s = q_{net} \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_p / E_s = 226{,}8 \cdot 2{,}00 \cdot 0{,}910 \cdot 0{,}892 / 30000 = 12{,}3\ \text{mm}$$

Slijeganje: $s \le s_{dop}$ = 25 mm (η = 49,1 %) **ZADOVOLJAVA**

20.4.3 4.3 Ograničenje naprezanja i širine pukotina (HRN EN 1992-1-1, 7.2 i 7.3.3)

Naprezanje u armaturi: $\sigma_s = M_k / (0{,}9\, d\, A_{s,prov})$. Pukotine se kontroliraju bez izravnog proračuna (tablice 7.2N i 7.3N) za w_k = 0,3 mm.

Smjer	M_k [kNm]	d [mm]	σ_s [MPa]	0,8 f_{yk} [MPa]	s [mm]	s_{max} [mm]	Ø [mm]	$Ø_{max}$ [mm]	uvjet
x	255,5	543	261,2	400	150	173	14	14	zadovoljava
y	186,5	530	216,1	400	150	230	12	21	zadovoljava

Naprezanje u armaturi i širina pukotina (η = 65,3 %) **ZADOVOLJAVA**

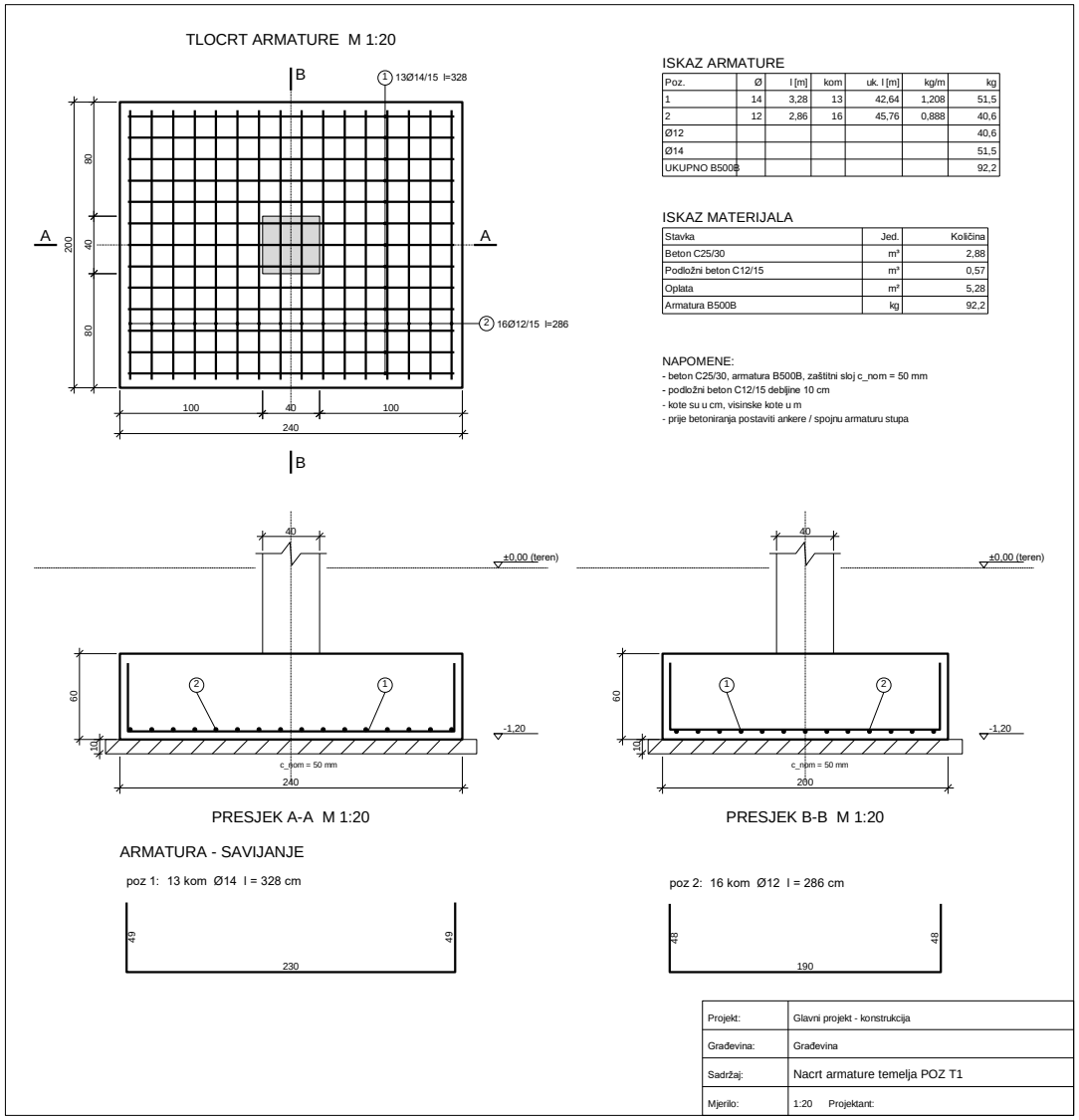
20.5 Iskaz armature i materijala

Iskaz armature B500B:

Poz.	Ø [mm]	Oblik	a [cm]	b [cm]	l [m]	kom	Σ l [m]	kg/m	masa [kg]
1	14	U (smjer x)	49,0	230,0	3,28	13	42,64	1,208	51,5
2	12	U (smjer y)	48,0	190,0	2,86	16	45,76	0,888	40,6
	Ø12	ukupno							40,6
	Ø14	ukupno							51,5
									92,2 kg

Iskaz materijala:

Stavka	Jed.	Količina
Beton temelja C25/30	m^3	2,880
Podložni beton C12/15, d = 10 cm	m^3	0,572
Oplata temelja (bočne plohe)	m^2	5,28
Armatura B500B	kg	92,2
Utrošak armature	kg/m^3	32,0
Zasip temelja	m^3	2,880



Slika 3: Nacrt armature temelja POZ T1

20.6 Sažetak provjera

Provjera	Iskoristivost [%]	Rezultat
GSN - nosivost tla	61,6	zadovoljava
GSN - ekscentricitet	31,7	zadovoljava
GSN - savijanje	93,8	zadovoljava
GSN - proboj (kontrolni opseg)	64,4	zadovoljava
GSN - proboj (lice stupa)	71,8	zadovoljava
GSN - poprečna sila	85,7	zadovoljava
GSN - sidrenje	41,9	zadovoljava
GSU - odizanje temelja	68,7	zadovoljava
GSU - slijeganje	49,1	zadovoljava
GSU - pukotine / naprezanja	65,3	zadovoljava

Temelj zadovoljava sve provjere. Odabrana armatura: poz. 1 i 2 prema iskazu.

20.6.1 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

21 Program RCRetainingWall

STATIČKI PRORAČUN AB KONZOLNOG POTPORNOG ZIDA

Beton C30/37, armatura B500B, razred izloženosti XC4, c_{nom} = 50 mm. Norme: HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-1, HRN EN 1992-1-1, HRN EN 1997-1, HRN EN 1998-1, HRN EN 1998-5 s nacionalnim dodacima.

PREGLED DOKAZA NOSIVOSTI I UPORABLJIVOSTI

Dokaz	Kombinacija / presjek	E_d	R_d	$\eta = E_d/R_d$	Status	Izraz
Zaštitni sloj	XC4, S4	40 mm	50 mm	0,800	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (4.1), (4.2)
Prevrtanje (EQU)	rotacija oko prednjeg ruba O	155,38 kNm/m	499,91 kNm/m	0,311	✓ OK	HRN EN 1997-1, (2.4)
Prevrtanje (EQU, zub)	rotacija bloka oko O' = (0; y_s)	216,50 kNm/m	559,89 kNm/m	0,387	✓ OK	HRN EN 1997-1, (2.4)
Klizanje (GEO, zub)	PP3	110,47 kN/m	166,66 kN/m	0,663	✓ OK	HRN EN 1997-1, (6.2)
Ekscentricitet $\|e\| \le B/3$	PP3 – max V (sva djelovanja nepovoljna)	0,210 m	1,200 m	0,175	✓ OK	HRN EN 1997-1, 6.5.4
Ekscentricitet $\|e\| \le B/3$ (zub)	PP3 – max V (sva djelovanja nepovoljna) – zamjenski temelj na y_s	0,303 m	1,200 m	0,252	✓ OK	HRN EN 1997-1, 6.5.4
Ekscentricitet $\|e\| \le B/3$	PP3 – min V (vertikalna djelovanja povoljna)	0,247 m	1,200 m	0,206	✓ OK	HRN EN 1997-1, 6.5.4
Ekscentricitet $\|e\| \le B/3$ (zub)	PP3 – min V (vertikalna djelovanja povoljna) – zamjenski temelj na y_s	0,350 m	1,200 m	0,291	✓ OK	HRN EN 1997-1, 6.5.4
Nosivost tla (GEO)	PP3	263,94 kN/m	465,95 kN/m	0,566	✓ OK	HRN EN 1997-1, (6.1), (D.2)
Klizanje (potres, zub)	$G + A_{Ed} + \psi_2 Q$ – spektar tipa 2, k_v gore	124,54 kN/m	197,79 kN/m	0,630	✓ OK	HRN EN 1998-5, 7.3; (E.1), (E.4)
Prevrtanje (potres)	$G + A_{Ed} + \psi_2 Q$ – spektar tipa 2, k_v gore, blok oko O'	238,10 kNm/m	601,58 kNm/m	0,396	✓ OK	HRN EN 1998-5, 7.3
Ekscentricitet (potres)	$G + A_{Ed} + \psi_2 Q$ – spektar tipa 2, k_v gore (zub)	0,519 m	1,200 m	0,433	✓ OK	HRN EN 1997-1, 6.5.4
Nosivost tla (potres)	$G + A_{Ed} + \psi_2 Q$ – spektar tipa 2, k_v dolje	273,35 kN/m	731,13 kN/m	0,374	✓ OK	HRN EN 1997-1, (6.1), (D.1)/(D.2); NA, 2.1.5
Savijanje (STR)	Zid – dno	1028 mm^2/m	1340 mm^2/m	0,767	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, 6.1
Poprečna sila (STR)	Zid – dno	103,36 kN/m	164,69 kN/m	0,628	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (6.2)

Dokaz	Kombinacija / presjek	E_d	R_d	$\eta = E_d/R_d$	Status	Izraz
Min./maks. vertikalna armatura zida	Zid – dno (9.6.2)	800 mm²/m	1864 mm²/m	0,429	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, 9.6.2
Savijanje (STR)	Prednja peta	668 mm²/m	1026 mm²/m	0,651	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, 6.1
Poprečna sila (STR)	Prednja peta	100,71 kN/m	183,59 kN/m	0,549	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (6.2)
Savijanje (STR)	Stražnja peta	667 mm²/m	1340 mm²/m	0,497	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, 6.1
Poprečna sila (STR)	Stražnja peta	81,85 kN/m	185,21 kN/m	0,442	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (6.2)
Savijanje (STR)	Posmični zub	519 mm²/m	754 mm²/m	0,688	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, 6.1
Poprečna sila (STR)	Posmični zub	34,63 kN/m	154,30 kN/m	0,224	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (6.2)
Ekscentricitet $\|e\| \le B/6$ (GSU)	nazovistalna $G + \psi_2 Q$	0,070 m	0,600 m	0,117	✓ OK	DIN 1054:2010-12, A 6.6.5
Širina pukotina (GSU)	Zid – dno	0,286 mm	0,300 mm	0,953	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (7.8)
Širina pukotina (GSU)	Prednja peta	0,129 mm	0,300 mm	0,430	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (7.8)
Širina pukotina (GSU)	Stražnja peta	0,187 mm	0,300 mm	0,622	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (7.8)
Širina pukotina (GSU)	Posmični zub	0,040 mm	0,300 mm	0,134	✓ OK	HRN EN 1992-1-1, (7.8)

ZAKLJUČAK: SVI DOKAZI NOSIVOSTI I UPORABLJIVOSTI ZADOVOLJAVAJU. Najveći stupanj iskorištenosti η_{max} = 0,953.

21.1 Primijenjeni propisi i norme

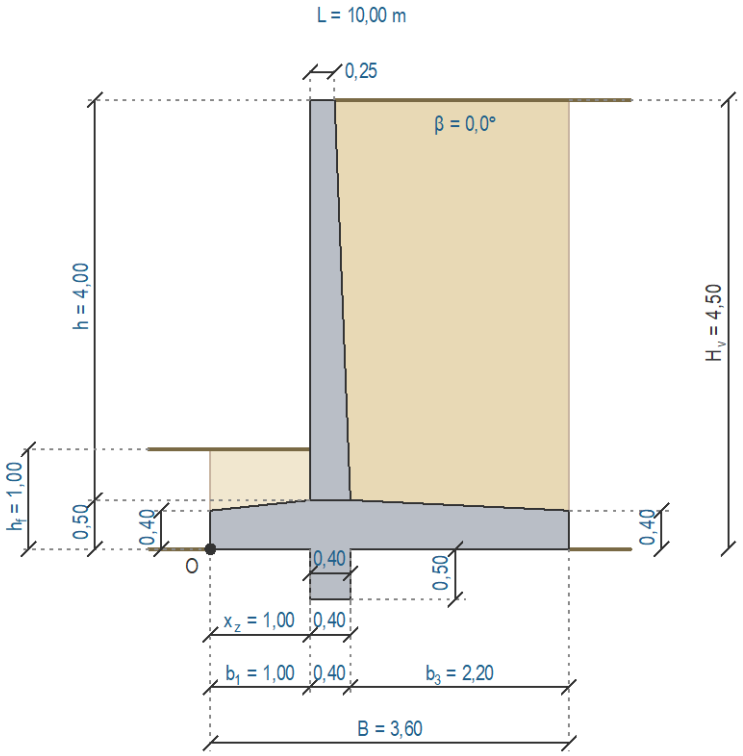
Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20, 7/22) i norme s nacionalnim dodacima: HRN EN 1990:2011 + /NA:2011; HRN EN 1991-1-1:2012 + /NA:2012; HRN EN 1992-1-1:2013 + /A1:2015 + /NA:2015; HRN EN 1997-1:2012 + /A1:2014 + /NA:2016; HRN EN 1998-1:2011 + /NA:2011 + /NA:2011/A1:2021; HRN EN 1998-5:2011 + /NA:2011.

Proračun se provodi za traku zida duljine 1 m (ravninsko stanje). Sile u kN/m, momenti u kNm/m, naprezanja u kPa. Ishodište koordinata: prednji donji rub temelja (x prema zasipu, y prema gore). Podzemna voda nije obuhvaćena (pretpostavljena trajna drenaža zasipa). Slijeganja i opća stabilnost kosine (HRN EN 1997-1, 9.7.2 i 11) nisu obuhvaćeni.

Proračunski pristup PP3 (HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, 2.1.11): A1* na konstrukcijska djelovanja, A2† na geotehnička djelovanja, M2 na parametre tla, otpornosti izrazom (2.7a), γ_R = 1,0.

21.2 Geometrija

Veličina	Vrijednost	Veličina	Vrijednost
Visina zida h	4,00 m	Širina temelja $B = b_1 + b_u + b_3$	3,60 m
Debljina zida vrh / dno b_o / b_u	0,25 / 0,40 m	Ukupna visina $H = d + h$	4,50 m
Prednja / stražnja peta b_1 / b_3	1,00 / 2,20 m	Visina fiktivne ravnine H_v	4,500 m
Debljine ploče d_1 / d / d_3	0,40 / 0,50 / 0,40 m	Nagib terena β	0,0°
Tlo ispred zida h_f	1,00 m	Površina betona A_c	3,140 m²
Posmični zub x_z / h_z	1,00 / 0,50 m	Širina zuba $b_{z,g}$ / $b_{z,d}$	0,40 / 0,40 m



Slika 1. Geometrija potpornog zida

$H_v = H + (B - x_{bt}) \cdot \tan\beta = 4{,}500 + (3{,}600 - 1{,}250) \cdot \tan 0{,}0° = 4{,}500$ m

> Tlak tla za dokaze vanjske stabilnosti računa se na vertikalnoj fiktivnoj ravnini kroz kraj stražnje pete; tlo iznad stražnje pete smatra se dijelom kliznog tijela zida.

21.3 Gradiva

Beton C30/37: f_{ck} = 30 MPa, f_{ctm} = 2,9 MPa, E_{cm} = 33 GPa (HRN EN 1992-1-1, 3.1.2, Tablica 3.1)

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 1{,}0 \cdot 30/1{,}50 = 20{,}00$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (3.15)] (HRN EN 1992-1-1/NA:2015, 2.12)

Armaturni čelik B500B: f_{yk} = 500 MPa, E_s = 200 GPa (HRN EN 1992-1-1, 3.2.2 i Prilog C)

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1{,}15 = 434{,}8$ MPa (HRN EN 1992-1-1, 3.2.7)

Zaštitni sloj: razred izloženosti XC4, razred konstrukcije S4 ⟶ $c_{min,dur}$ = 30 mm (HRN EN 1992-1-1, Tablica 4.4N; NA:2015, 2.19) ; $c_{min,b} = Ø_{max}$ = 16 mm ; c_{min} = 30 mm [HRN EN 1992-1-1, (4.2)]

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 + 10 = 40$ mm ; temelj na podložnom betonu $c_{nom} \geq 40$ mm ⟶ $c_{nom,req} = 40$ mm ≤ c_{nom} = 50 mm ⟶ η = 0,800 **ZADOVOLJAVA**

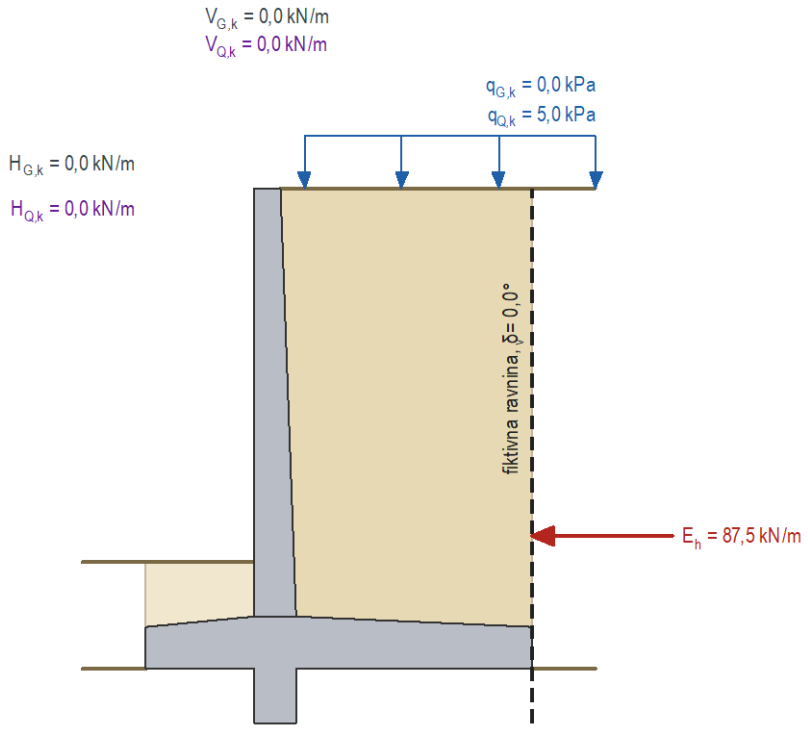
w_{max} = 0,30 mm ≤ 0,30 mm za razred XC4 (HRN EN 1992-1-1, 7.3.1, Tablica 7.1N) ✓

Zasip: γ = 19,0 kN/m³, φ'_k = 30,0°, c'_k = 0,0 kPa. Temeljno tlo: γ = 19,0 kN/m³, φ'_k = 30,0°, c'_k = 0,0 kPa, $c_{u,k}$ = 0,0 kPa; uvjeti: drenirani.

21.4 Karakteristična djelovanja (po 1 m zida)

Djelovanje	Vrijednost [kN/m]	x [m]	y [m]	Moment oko O [kNm/m]
G_1 – vlastita težina AB ($\gamma_c \cdot A_c = 25{,}0 \cdot 3{,}140$)	78,50	1,485	1,075	116,57
G_2 – tlo iznad stražnje pete ($\gamma \cdot A = 19{,}0 \cdot 9{,}210$)	174,99	2,467	2,497	431,69
G_3 – tlo iznad prednje pete	10,45	0,485	0,724	5,07
G_4 – stalno opterećenje q_G na stražnjoj peti	0,00	2,425	–	0,00
G_5 – stalna vertikalna sila na vrhu V_G	0,00	1,125	4,500	0,00
G_6 – stalna horizontalna sila na vrhu H_G	0,00	–	4,500	0,00
Q_1 – promjenjivo opterećenje q_Q na stražnjoj peti	11,75	2,425	–	28,49
Q_2 – promjenjiva vertikalna sila na vrhu V_Q	0,00	1,125	4,500	0,00
Q_3 – promjenjiva horizontalna sila na vrhu H_Q	0,00	–	4,500	0,00

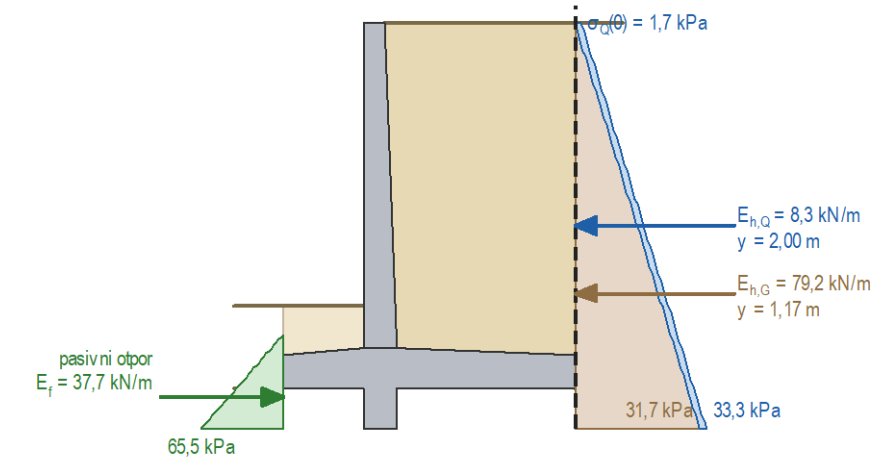
Moment oko točke prevrtanja O: za vertikalne sile M = V· x, za horizontalne M = H· y. Tlak tla je stalno djelovanje (HRN EN 1990/NA:2011, 2.5). Težišta su određena iz poligona presjeka.



Slika 2. Karakteristična djelovanja na zid

21.5 Tlak tla na fiktivnu ravninu (karakteristične vrijednosti, M1)

Vrsta tlaka: aktivni; ψ = 90° (vertikalna fiktivna ravnina), δ_v = 0,00°, β = 0,0°, φ' = 30,00°
$K_a = \sin^2(\psi+\varphi')/\{\sin^2\psi \cdot \sin(\psi-\delta) \cdot [1 + \sqrt{(\sin(\varphi'+\delta)\sin(\varphi'-\beta)/(\sin(\psi-\delta)\sin(\psi+\beta)))}]^2\}$ = 0,3333 [HRN EN 1998-5, (E.2), θ = 0]
$\sigma(z) = K \cdot (\gamma z + q) - 2c'\sqrt{K} \geq 0$ [HRN EN 1997-1, (C.1)] ; c' = 0,00 kPa ; H_p = 5,000 m
E_G = 79,17 kN/m (y = 1,167 m) ; E_Q = 8,33 kN/m (y = 2,000 m)
$E_h = E \cdot \cos\delta_v$; $E_v = E \cdot \sin\delta_v \rightarrow E_{h,G}$ = 79,17, $E_{v,G}$ = 0,00, $E_{h,Q}$ = 8,33, $E_{v,Q}$ = 0,00 kN/m (E_v djeluje na x = B)



Tlak tla (G) – smeđe ; od promjenjivog opterećenja (Q) – plavo ; horizontalne komponente, karakteristične vrijednosti (M1)

Slika 3. Tlak tla na fiktivnu ravninu i pasivni otpor (karakteristične vrijednosti)

5.1 Otpor tla ispred zida

Nepredviđeni iskop $\Delta a = \min(0{,}1 \cdot H_r; 0{,}5\ m) = 0{,}350$ m (HRN EN 1997-1, 9.3.2.2(2)) ; proračunska razina tla $h_p = h_f - \Delta a = 0{,}650$ m

Odabir za GSN – pasivni otpor: $K_p = 3{,}0000$ ($\varphi' = 30{,}00°$, $\delta = 0$) [HRN EN 1998-5, (E.4), $\theta = 0$] ; $\sigma_f(z) = K_p \gamma z + 2c'\sqrt{K_p}$ [HRN EN 1997-1, (C.2)] ; $c' = 0{,}00$ kPa ; $\gamma = 19{,}00$ kN/m³

Otpor od $y = -0{,}500$ m do h_p: $E_f = \int \sigma_f\, dz = 37{,}69$ kN/m ($y_f = -0{,}117$ m)

Rev24: otpor tla ispred zida uzima se u obzir u svim dokazima nosivosti i stabilnosti (vrsta otpora odabire se zasebno za GSN, GSU i potres). U ravnoteži momenata i položaju rezultante uzima se mobilizirani dio $E_{f,mob} = \min(E_f; H)$, tj. najviše onoliko koliko je potrebno za ravnotežu horizontalnih sila; u klizanju se uzima puni proračunski otpor $R_{f;d}$. Mora se osigurati da tlo ispred zida neće biti trajno uklonjeno.

Model 1 – temeljna ploha: uz posmični zub tlak tla na fiktivnu ravninu i otpor tla ispred zida djeluju do donje kote zuba $y_s = -0{,}500$ m; dio tlaka ispod temeljne plohe prenosi se preko zuba na kruto tijelo zid–temelj–zub, a kontaktno naprezanje određuje se na temeljnoj plohi. Model 2 – kruti blok (zid, zub i tlo do klizne plohe kroz dno zuba) dokazuje se u t. 6 i 7.

21.6 Prevrtanje oko prednjeg ruba – EQU (HRN EN 1997-1, 2.4.7.2; HRN EN 1997-1/NA:2016, Tablice A.1(HR) i A.2(HR))

Zasip: $\varphi'_d = \arctan(\tan\varphi'_k/\gamma_{\varphi'}) = \arctan(\tan 30{,}0°/1{,}25) = 24{,}79°$; $c'_d = 0{,}00$ kPa ; temeljno tlo: $\varphi'_d = 24{,}79°$; $c'_d = 0{,}00$ kPa (HRN EN 1997-1, 2.4.6.2, (2.2))

$K = 0{,}4091 \rightarrow E_{h,G} = 97{,}17$ kN/m ($y = 1{,}167$ m), $E_{h,Q} = 10{,}23$ kN/m ($y = 2{,}000$ m), $E_{v,G} = 0{,}00$ kN/m

$E_{dst;d} = \gamma_{G,dst}(E_{h,G}\, y_G + H_G\, H) + \gamma_{Q,dst}(E_{h,Q}\, y_Q + H_Q\, H) = 1{,}10 \cdot (97{,}17 \cdot 1{,}167 + 0{,}00 \cdot 4{,}50) + 1{,}50 \cdot (10{,}23 \cdot 2{,}000 + 0{,}00 \cdot 4{,}50) = 155{,}38$ kNm/m

$E_{stb;d,0} = \gamma_{G,stb}(G_1\, x_1 + G_2\, x_2 + G_3\, x_3 + G_4\, x_4 + G_5\, x_5 + E_{v,G}\, B) = 0{,}90 \cdot (116{,}57 + 431{,}69 + 5{,}07 + 0{,}00 + 0{,}00 + 0{,}00) = 498{,}00$ kNm/m

Otpor tla ispred zida (pasivni otpor, odabir za GSN; parametri temeljnog tla EQU), dio iznad točke O (od $y = 0$ do $h_f - \Delta a = 0{,}650$ m): $E_f = 9{,}81$ kN/m ; $y_f = 0{,}217$ m (HRN EN 1997-1, 9.5.3 i Dodatak C)

$E_{f;d} = \gamma_{G,stb} \cdot E_f = 0{,}90 \cdot 9{,}81 = 8{,}83$ kN/m ; $H_{dst;d} = 122{,}23$ kN/m ; $E_{f,mob} = \min(E_{f;d}; H_{dst;d}) = 8{,}83$ kN/m ; $M_f = E_{f,mob} \cdot y_f = 1{,}91$ kNm/m

$E_{stb;d} = E_{stb;d,0} + M_f = 498{,}00 + 1{,}91 = 499{,}91$ kNm/m

$E_{dst;d} \leq E_{stb;d}$ [HRN EN 1997-1, (2.4)] $\rightarrow \eta = 155{,}38/499{,}91 =$ **0,311** **ZADOVOLJAVA**

Vertikalna komponenta tlaka tla $E_{v,G}$ množi se faktorom $\gamma_{G,stb}$, a horizontalna $\gamma_{G,dst}$ (na strani sigurnosti). Promjenjiva vertikalna djelovanja su povoljna i ne uzimaju se u obzir. Otpor tla ispred zida uzima se kao stabilizirajuće djelovanje (mobilizirani dio, faktor $\gamma_{G,stb}$, parametri tla EQU).

Prevrtanje uz posmični zub – rotacija krutog bloka (zid, zub i tlo do klizne plohe) oko točke O' = (0; y_s)(HRN EN 1997-1, 2.4.7.2 i 9.7.3)

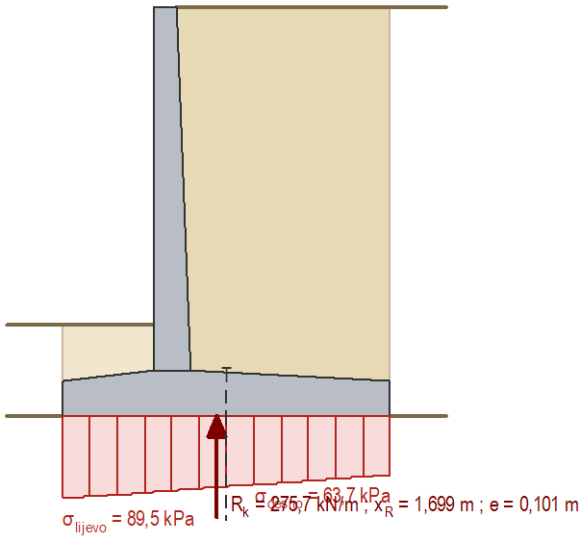
y_s = -0,500 m ; W_s = 30,40 kN/m (x_s = 1,875 m) ; $E_{dst;d} = \gamma_{G,dst}[E_{h,G}(y_G - y_s) + H_G(H - y_s)] + \gamma_{Q,dst}[E_{h,Q}(y_Q - y_s) + H_Q(H - y_s)]$ = 216,50 kNm/m
$E_{stb;d,0} = \gamma_{G,stb}(\Sigma G_i x_i + E_{v,G} B + W_s x_s)$ = 549,30 kNm/m ; otpor ispred bloka $E_{f;d} = \gamma_{G,stb}E_f$ = 27,64 kN/m ; $E_{f,mob}$ = 27,64 kN/m ; $M_f = E_{f,mob}(y_f - y_s)$ = 10,59 kNm/m
$E_{dst;d} \le E_{stb;d}$ [HRN EN 1997-1, (2.4)] → η = 216,50/559,89 = **0,387** **ZADOVOLJAVA**

21.7 Vanjska stabilnost – GEO (PP3: A1*/A2† + M2 + R3)

Parcijalni faktori: γ_G = 1,35 (konstr.) / 1,00 (geot.), $\gamma_{G,fav}$ = 1,00 / 1,00, γ_Q = 1,50 / 1,30, $\gamma_{\varphi'}$ = 1,25, $\gamma_{c'}$ = 1,25, γ_{cu} = 1,40, γ_R = 1,00 (HRN EN 1997-1/NA:2016, Tablice A.3(HR), A.4(HR), A.13(HR))

Zasip: φ'_d = 24,79°, c'_d = 0,00 kPa; temeljno tlo: φ'_d = 24,79°, c'_d = 0,00 kPa, $c_{u,d}$ = 0,00 kPa [HRN EN 1997-1, (2.2)]
Vrsta tlaka: aktivni; ψ = 90° (vertikalna fiktivna ravnina), δ_v = 0,00°, β = 0,0°, φ' = 24,79°
$K_a = \sin^2(\psi+\varphi')/\{\sin^2\psi \cdot \sin(\psi-\delta) \cdot [1 + \sqrt{(\sin(\varphi'+\delta)\sin(\varphi'-\beta)/(\sin(\psi-\delta)\sin(\psi+\beta)))}]^2\}$ = 0,4091 [HRN EN 1998-5, (E.2), θ = 0]
$\sigma(z) = K \cdot (\gamma z + q) - 2c'\sqrt{K} \ge 0$ [HRN EN 1997-1, (C.1)] ; c' = 0,00 kPa ; H_p = 5,000 m
E_G = 97,17 kN/m (y = 1,167 m) ; E_Q = 10,23 kN/m (y = 2,000 m)
$E_h = E \cdot \cos\delta_v$; $E_v = E \cdot \sin\delta_v$ → $E_{h,G}$ = 97,17, $E_{v,G}$ = 0,00, $E_{h,Q}$ = 10,23, $E_{v,Q}$ = 0,00 kN/m (E_v djeluje na x = B)

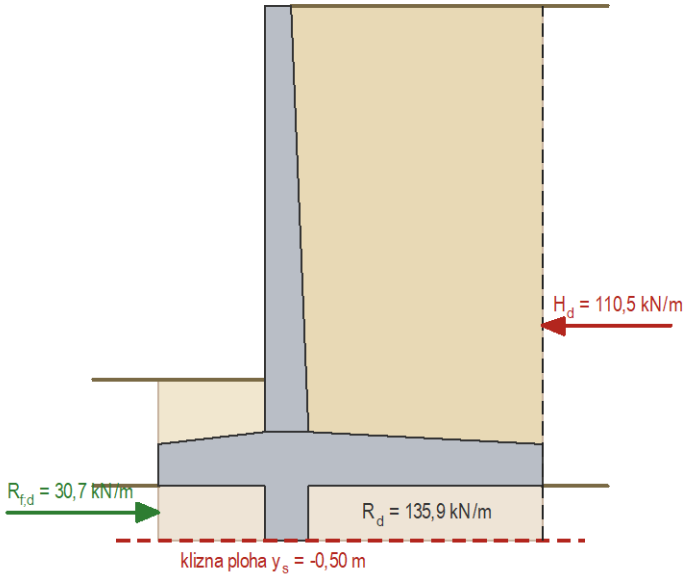
7.1 Naprezanja na temeljno tlo (karakteristične vrijednosti)



Slika 4. Kontaktno naprezanje na donjoj plohi temeljne ploče (G + Q, M1)

V_k = 275,69 kN/m ; H_k = 49,81 kN/m ; M_{stb} = 577,42 ; M_{dst} = 109,03 kNm/m ; x_R = 1,699 m ; e = B/2 – x_R = 0,101 m
$|e| \le B/6$ = 0,600 m → $\sigma = V/B(1 \pm 6e/B)$: σ_{lijevo} = **89,5 kPa** ; σ_{desno} = **63,7 kPa**

7.2 Klizanje – posmični zub: klizna ploha kroz dno zuba (HRN EN 1997-1, 6.5.3 i 9.7.3)



Slika 5. Model klizanja uz posmični zub

Klizna ploha horizontalna na razini $y_s = -h_z = -0{,}500$ m; tlo između temeljne plohe i klizne plohe giba se zajedno sa zidom.
Tlak tla na fiktivnu ravninu produženu do klizne plohe: $H_s = H_v - y_s = 5{,}000$ m → $E_{h,G} = 97{,}17$ kN/m, $E_{h,Q} = 10{,}23$ kN/m [HRN EN 1997-1, (C.1)]
$H_d = \gamma_G E_{h,G} + \gamma_Q E_{h,Q} + \gamma_G H_G + \gamma_Q H_Q = 1{,}00 \cdot 97{,}17 + 1{,}30 \cdot 10{,}23 + 1{,}35 \cdot 0{,}00 + 1{,}50 \cdot 0{,}00 = 110{,}47$ kN/m
Tlo u kliznom bloku: $A = B \cdot h_z - A_{zub} = 3{,}60 \cdot 0{,}500 - 0{,}200 = 1{,}600$ m² → $W_s = 30{,}40$ kN/m
$V'_d = 263{,}94 + 1{,}00 \cdot 30{,}40 = 294{,}34$ kN/m (težine povoljno, G_1 uključuje težinu zuba)
Klizanje tlo po tlu: $R_d = V'_d \tan\varphi'_d/\gamma_{R;h} = 294{,}34 \cdot \tan 24{,}79°/1{,}00 = 135{,}95$ kN/m [HRN EN 1997-1, (6.3a)]
Otpor tla ispred kliznog bloka – pasivni otpor, odabir za GSN (od klizne plohe do $h_f - \Delta a = 0{,}650$ m, $H_p = 1{,}150$ m): pasivni otpor: $K_p = 2{,}4442$ ($\varphi' = 24{,}79°$, $\delta = 0$) [HRN EN 1998-5, (E.4), $\theta = 0$] ; $\sigma_f(z) = K_p\gamma\, z + 2c'\sqrt{K_p}$ [HRN EN 1997-1, (C.2)] ; $c' = 0{,}00$ kPa ; $\gamma = 19{,}00$ kN/m³
$E_f = \int \sigma_f\, dz = 30{,}71$ kN/m ; $R_{f;d} = E_f/\gamma_{R;e} = 30{,}71$ kN/m (HRN EN 1997-1, 6.5.3(2), 9.5.3)
$H_d \le R_d + R_{f;d}$ [HRN EN 1997-1, (6.2)] → $\eta = 110{,}47/166{,}66 =$ **0,663** **ZADOVOLJAVA**

> Uz posmični zub klizanje po samoj temeljnoj plohi nije moguće bez smicanja zuba; otpor tla ispred kliznog bloka uzima se prema vrsti otpora odabranoj za GSN. Nosivost zuba dokazuje se u t. 9.5.

7.3 Nosivost temeljnog tla i položaj rezultante (HRN EN 1997-1, 6.5.2, 6.5.4 i Dodatak D)

> Otpor tla ispred zida uzima se u obzir u položaju rezultante i nosivosti tla preko mobiliziranog dijela $E_{f,mob} = \min(R_{f;d}; H_d)$: smanjuje horizontalnu silu na temeljnoj plohi i ekscentricitet (HRN EN 1997-1, 6.5.2, 6.5.4 i 9.5.3).
>
> Posmični zub: dokaz se provodi (1) na temeljnoj plohi – tlak i otpor tla do y_s, kontaktno naprezanje na temeljnoj plohi – i (2) za zamjenski temelj na razini klizne plohe kroz dno zuba (širina B, $y = y_s$), kruti blok zid–zub–tlo, opterećenje $q' = \gamma(h_f - \Delta a - y_s)$. Mjerodavan je nepovoljniji rezultat.

Kombinacija: max V (sva djelovanja nepovoljna)

$V_d = 306{,}69$ kN/m ; $H_d = 110{,}47$ kN/m ; $\Sigma M_{stb,0} = 631{,}17$; $\Sigma M_{dst} = 139{,}96$ kNm/m
Otpor tla ispred zida: $R_{f;d} = 30{,}71$ kN/m ($y_f = -0{,}117$ m) ; $E_{f,mob} = \min(R_{f;d}; H_d) = 30{,}71$ kN/m → $H_{d,net} = 79{,}76$ kN/m ; $\Sigma M_{stb} = 631{,}17 + 30{,}71 \cdot -0{,}117 = 627{,}59$ kNm/m
$x_R = (\Sigma M_{stb} - \Sigma M_{dst})/V_d = 1{,}590$ m ; $e = B/2 - x_R = 0{,}210$ m ; $|e| \le B/3 = 1{,}200$ m (HRN EN 1997-1, 6.5.4(1)P) → $\eta = 0{,}175$ **ZADOVOLJAVA**
$B' = B - 2|e| = 3{,}180$ m ; $q' = \gamma(h_f - \Delta a) = 12{,}35$ kPa ; traka ($L' \to \infty$)
$N_q = e^{\pi \tan\varphi'} \tan^2(45° + \varphi'/2) = 10{,}431$; $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi' = 20{,}418$; $N_\gamma = 2(N_q - 1)\tan\varphi' = 8{,}712$ (HRN EN 1997-1, D.4)
$i_q = [1 - H/(V + A'c'\cot\varphi')]^2 = 0{,}5475$; $i_\gamma = [\cdot]^3 = 0{,}4051$; $i_c = 0{,}4995$
$R/A' = c'N_c\, i_c + q'N_q\, i_q + 0{,}5\gamma\, B'N_\gamma\, i_\gamma = 177{,}15$ kPa [HRN EN 1997-1, (D.2)]
$R_d = (R/A') \cdot A'/\gamma_{R;v} = 563{,}34$ kN/m ; $V_d \le R_d$ [HRN EN 1997-1, (6.1)] → $\eta =$ **0,544** **ZADOVOLJAVA**

Kombinacija: max V (sva djelovanja nepovoljna) – posmični zub, zamjenski temelj na razini y_s = -0,500 m

V_d = 306,69 + 1,00· 30,40 = 337,09 kN/m ; $E_{f,mob}$ = min(30,71; 110,47) = 30,71 kN/m ; H_d = 79,76 kN/m ; Σ M_{stb} = 699,94 ; Σ M_{dst} = 195,19 kNm/m (oko O' = (0; y_s))

x_R = 1,497 m ; e = B/2 – x_R = 0,303 m ; |e| ≤ B/3 → η = 0,252 **ZADOVOLJAVA**

B' = 2,995 m ; q' = γ(h_f – Δ a – y_s) = 21,85 kPa ; R/A' = 243,09 kPa ; R_d = 727,99 kN/m → η = **0,463** **ZADOVOLJAVA**

Kombinacija: min V (vertikalna djelovanja povoljna)

V_d = 263,94 kN/m ; H_d = 110,47 kN/m ; Σ $M_{stb,0}$ = 553,33 ; Σ M_{dst} = 139,96 kNm/m

Otpor tla ispred zida: $R_{f;d}$ = 30,71 kN/m (y_f = -0,117 m) ; $E_{f,mob}$ = min($R_{f;d}$; H_d) = 30,71 kN/m → $H_{d,net}$ = 79,76 kN/m ; Σ M_{stb} = 553,33 + 30,71· -0,117 = 549,75 kNm/m

x_R = (Σ M_{stb} – Σ M_{dst})/V_d = 1,553 m ; e = B/2 – x_R = 0,247 m ; |e| ≤ B/3 = 1,200 m (HRN EN 1997-1, 6.5.4(1)P) → η = 0,206 **ZADOVOLJAVA**

B' = B – 2|e| = 3,105 m ; q' = γ(h_f – Δ a) = 12,35 kPa ; traka (L' → ∞)

$N_q = e^{\pi \tan\varphi'}\tan^2(45° + \varphi'/2)$ = 10,431 ; $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi'$ = 20,418 ; $N_\gamma = 2(N_q - 1)\tan\varphi'$ = 8,712 (HRN EN 1997-1, D.4)

$i_q = [1 - H/(V + A'c'\cot\varphi')]^2$ = 0,4870 ; $i_\gamma = [\cdot]^3$ = 0,3398 ; i_c = 0,4326

R/A' = c'N_c i_c + q'N_q i_q + 0,5γ B'N_γ i_γ = 150,06 kPa [HRN EN 1997-1, (D.2)]

R_d = (R/A')· A'/$\gamma_{R;v}$ = 465,95 kN/m ; V_d ≤ R_d [HRN EN 1997-1, (6.1)] → η = **0,566** **ZADOVOLJAVA**

Kombinacija: min V (vertikalna djelovanja povoljna) – posmični zub, zamjenski temelj na razini y_s = -0,500 m

V_d = 263,94 + 1,00· 30,40 = 294,34 kN/m ; $E_{f,mob}$ = min(30,71; 110,47) = 30,71 kN/m ; H_d = 79,76 kN/m ; Σ M_{stb} = 622,10 ; Σ M_{dst} = 195,19 kNm/m (oko O' = (0; y_s))

x_R = 1,450 m ; e = B/2 – x_R = 0,350 m ; |e| ≤ B/3 → η = 0,291 **ZADOVOLJAVA**

B' = 2,901 m ; q' = γ(h_f – Δ a – y_s) = 21,85 kPa ; R/A' = 214,15 kPa ; R_d = 621,21 kN/m → η = **0,474** **ZADOVOLJAVA**

Prema HRN EN 1997-1/NA:2016, Dodatak D, izraz (D.2) ne uključuje utjecaj dubine temelja (na strani sigurnosti). Teren ispred zida je horizontalan.

21.8 Potresna proračunska situacija (HRN EN 1998-5, 7.3 i Dodatak E; HRN EN 1997-1, Dodatak D)

a_g = γ_I· a_{gR} = 1,00· 0,160g = 0,160g (HRN EN 1998-1, 3.2.1(3)) ; α = a_g/g = 0,160 ; tip temeljnog tla B ; r = 2,0 (HRN EN 1998-5, 7.3.2.2, Tablica 7.1)

Faktor r = 2,0 prema HRN EN 1998-5, Tablica 7.1 odnosi se na slobodne masivne zidove koji smiju pretrpjeti trajni pomak d_r; za savitljive armiranobetonske zidove Tablica 7.1 propisuje r = 1,0. Primjena r > 1 odluka je projektanta (iza zida nema osjetljivih građevina, dopušten je trajni pomak).

Prema HRN EN 1998-1/NA:2011/A1:2021 proračun se provodi za elastične spektre tipa 1 i tipa 2. Kombinacija G + A_{Ed} + ψ_2· Q [HRN EN 1990, (6.12b)]; γ_G = γ_Q = 1,0; parcijalni koeficijenti za tlo $\gamma_{\varphi'}$ = 1,00, $\gamma_{c'}$ = 1,00, γ_{cu} = 1,00, koeficijent otpornosti γ_R = 1,0; suhi zasip, c' = 0 u tlaku tla (na strani sigurnosti).

φ'_d = 30,00° (zasip), 30,00° (temeljno tlo) ; δ_d = min(δ_v; 2/3· φ'_d) = 0,00° ; statički K_a = 0,3333 ; H = H_v – y = 5,000 m ; E_{st} = ½ γ K_a H^2 + q· K_a· H = 79,17 kN/m

Otpor tla ispred zida u potresu (odabir za potres) – pasivni otpor: K_p = 3,0000 (φ' = 30,00°, δ = 0) [HRN EN 1998-5, (E.4), θ = 0] ; $\sigma_f(z)$ = (1 ± k_v)· K_pγ z + 2c'√ K_p [HRN EN 1997-1, (C.2)] ; c' = 0,00 kPa ; γ = 19,00 kN/m^3 [HRN EN 1998-5, (E.1), (E.4)]

Model 1 – temeljna ploha: tlak tla na fiktivnu ravninu i otpor tla ispred zida djeluju do donje kote posmičnog zuba y_s = -0,500 m; kontaktno naprezanje i nosivost određuju se na temeljnoj plohi (širina B = 3,60 m).

Model 2 – kruti blok: zid, zub i tlo do klizne plohe kroz dno zuba; tlo u bloku W_s = γ· (B· h_z – A_{zub}) = 19,0· 1,600 = 30,40 kN/m (x_s = 1,875 m, y_s = -0,250 m) s vertikalnom silom (1 ± k_v)W_s i inercijskom silom k_h W_s; otpor tla ispred bloka od y_s do h_f – Δ a (H_p = 1,150 m); klizanje tlo po tlu po kliznoj plohi; položaj rezultante i nosivost za zamjenski temelj na razini y_s.

Slučaj	k_h	k_v	θ [°]	K_{AE}	E_{AE} [kN/m]	V_d [kN/m]	H_d [kN/m]	$E_{f,E}$ [kN/m]	η klizanje	e_1 [m]	η nosivost$_1$	e_2 [m]	η nosivost$_2$
spektar tipa 1, k_v dolje	0,0960	+0,0480	5,234	0,3908	97,27	308,47	125,52	37,35	0,583	0,368	0,333	0,463	0,295
spektar tipa 1, k_v gore	0,0960	–0,0480	5,758	0,3971	89,79	280,21	118,05	33,73	0,604	0,373	0,324	0,475	0,286
spektar tipa 2, k_v dolje	0,1080	+0,0356	5,953	0,3995	98,27	304,83	130,06	36,61	0,612	0,406	0,374	0,507	0,329
spektar tipa 2, k_v gore	0,1080	–0,0356	6,390	0,4050	92,75	283,85	124,54	33,91	0,630	0,413	0,370	0,519	0,325

$k_h = \alpha \cdot S/r$ [HRN EN 1998-5, (7.1)] ; $k_v = \pm 0{,}5 \cdot k_h$ (tip 1) ili $\pm 0{,}33 \cdot k_h$ (tip 2) [HRN EN 1998-5, (7.2), (7.3)] ; $\tan\theta = k_h/(1 \pm k_v)$ [HRN EN 1998-5, (E.6), (E.7)] ; K_{AE} [HRN EN 1998-5, (E.2)] ; $E_{AE} = \frac{1}{2}\gamma(1 \pm k_v)K \cdot H^2 + q(1 \pm k_v)K \cdot H$ [HRN EN 1998-5, (E.1)]; prirast ΔE djeluje na H/2 (HRN EN 1998-5, 7.3.2.3(4))

$V_d = [G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + \psi_2(Q_1 + Q_2)](1 \pm k_v) + E_v$; $H_d = E_h + k_h(G_1 + G_2 + G_3) + G_6 + \psi_2 Q_3$ (HRN EN 1998-5, 7.3.2.1 i 7.3.2.2; HRN EN 1990, (6.12b))

Klizanje (model 2): $T_s = E_h + k_h(G_1 + G_2 + G_3 + W_s) + G_6 + \psi_2 Q_3 \le R_d + R_{f,d}$; $R_d = N_s \cdot \tan\varphi'_d$ ($N_s = (\Sigma G + W_s)(1 \pm k_v) + E_v$) ; $R_{f,d} = E_{f,E}$ ispred bloka ($\gamma_R = 1{,}0$) [HRN EN 1997-1, (6.2), (6.3a)]

Mjerodavno (spektar tipa 2, k_v gore): $\eta = 0{,}630$ **ZADOVOLJAVA**

Položaj rezultante: mobilizirani otpor $E_{f,mob} = \min(E_{f,E}; H_d) \rightarrow H_{d,net} = H_d - E_{f,mob}$; $M_{stb} = M_{stb,0} + E_{f,mob} \cdot y_f$; $e = B/2 - (M_{stb} - M_{dst})/V_d$; $|e| \le B/3$ (HRN EN 1997-1, 6.5.4) ; mjerodavno (spektar tipa 2, k_v gore (zub)): $\eta = 0{,}433$ **ZADOVOLJAVA**

Prevrtanje: $M_{dst} \le M_{stb}$; mjerodavno (spektar tipa 2, k_v gore, blok oko O'): $\eta = 238{,}10/601{,}58 = 0{,}396$ **ZADOVOLJAVA**

Nosivost tla (HRN EN 1997-1, 6.5.2.1, (6.1) i Dodatak D; HRN EN 1997-1/NA:2016, 2.1.5): djelovanja potresne kombinacije s faktorima 1,0 (uključene inercijske sile i potresni tlak tla), $H = H_d - E_{f,mob}$, $B' = B - 2|e|$, $q' = \gamma(h_f - \Delta a$ [$- y_s$ za zamjenski temelj]) ; R/A' prema (D.2) (drenirano) ili (D.1) (nedrenirano) s parametrima tla potresne kombinacije $\varphi'_d = 30{,}00°$, $c'_d = 0{,}00$ kPa, $c_{u,d} = 0{,}00$ kPa ; $R_d = (R/A')A'/\gamma_{R;v}$, $\gamma_{R;v} = 1{,}0$; $V_d \le R_d$

Mjerodavno (spektar tipa 2, k_v dolje): $V_d = 273{,}35$ kN/m ; $R_d = 731{,}13$ kN/m $\rightarrow \eta = 0{,}374$ **ZADOVOLJAVA**

Indeks 1 – model temeljne plohe (širina B na y = 0, tlak i otpor tla do y_s); indeks 2 – zamjenski temelj na razini klizne plohe kroz dno zuba ($y_s = -0{,}500$ m). Mjerodavan je nepovoljniji model.

Rev25/26: nosivost tla u potresu dokazuje se prema HRN EN 1997-1, Dodatak D (umjesto HRN EN 1998-5, Dodatak F). U potresnoj kombinaciji primjenjuju se karakteristične vrijednosti parametara čvrstoće tla ($\gamma_{\varphi'} = \gamma_{c'} = \gamma_{cu} = 1{,}0$ – početne vrijednosti u ulaznim podacima) i $\gamma_R = 1{,}0$. To je odluka projektanta: HRN EN 1997-1/NA:2016, 2.1.5 za otpornost u izvanrednim situacijama upućuje na vrijednosti za stalne i prolazne situacije, a HRN EN 1998-5/NA:2011, 2.2 navodi $\gamma_{\varphi'} = 1{,}25$ i $\gamma_{cu} = 1{,}4$. Utjecaj dubine temelja je zanemaren. Unutarnje sile u zidu, temeljnoj ploči i zubu za potresnu situaciju uspoređuju se u t. 9 sa stalnom situacijom (anvelopa).

21.9 Dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata – STR

Tlak tla za dimenzioniranje armature: tlak mirovanja K_0. Proračunski pristup 3 za STR (HRN EN 1997-1, 2.4.7.3.4.4; HRN EN 1990, A1.3.1(5)): A1 na konstrukcijska djelovanja (vlastita težina AB, V_G, H_G, V_Q, H_Q), A2 na geotehnička djelovanja (tlak tla, težina tla, q_G, q_Q), parametri tla M2. Kombinacija [HRN EN 1990, (6.10)].

Konzolni zid upet u temeljnu ploču ne mora se pomaknuti dovoljno za razvoj aktivnog stanja (HRN EN 1997-1, 9.5.1 i 9.5.2); zato se za AB elemente može odabrati tlak mirovanja ili povećani aktivni tlak.

9.1 Zid (konzola upeta u temeljnu ploču)

Tlak na stražnje lice zida: $\delta_w = 0$ (tlak mirovanja) ; $K_a = 0{,}4091$; mjerodavni $K = 0{,}5807$; $\sigma_h(z) = [K(\gamma z + q) - 2c'\sqrt{K}]\cos\delta_w$, $c' = 0{,}00$ kPa [HRN EN 1997-1, (C.1)]

$M_{Ed}(z) = 1{,}00 \cdot M_{E,G} + 1{,}30 \cdot M_{E,Q} + 1{,}35 \cdot H_{G,k} \cdot z + 1{,}50 \cdot H_{Q,k} \cdot z$ [HRN EN 1990, (6.10)]

z [m]	t [m]	d [m]	$M_{G,k}$	$M_{Q,k}$	M_{Ed} [kNm/m]	V_{Ed} [kN/m]	μ_{Ed}	$A_{s,req}$	$A_{s,prov}$	$V_{Rd,c}$	Status
1,00	0,287	0,229	1,84	1,45	3,73	9,29	0,0035	346	1340	138,31	OK
2,00	0,325	0,267	14,71	5,81	22,26	29,61	0,0156	403	1340	147,60	OK
3,00	0,363	0,305	49,65	13,07	66,63	60,97	0,0359	513	1340	156,37	OK
4,00	0,400	0,342	117,69	23,23	147,88	103,36	0,0632	1028	1340	164,69	OK

z – dubina presjeka od vrha zida. $M_{G,k}$ i $M_{Q,k}$ – momenti bez parcijalnih faktora (tlak tla s parametrima M2). Moment M_{qp} za GSU računa se s karakterističnim parametrima tla (M1). Za potresnu situaciju zid se provjerava s mjerodavnim (većim) momentom iz t. 8.

Presjek u dnu zida (upeti presjek): h = 0,400 m, $d = h - c_{nom} - \text{Ø}/2 = 0{,}400 - 0{,}050 - 0{,}008 = 0{,}342$ m

$M_{Ed} = 147{,}88$ kNm/m ; $V_{Ed} = 103{,}36$ kN/m

$\mu_{Ed} = M_{Ed}/(b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 147{,}88/(1{,}0 \cdot 0{,}342^2 \cdot 20000) = 0{,}0632 \le \mu_{lim} = 0{,}295$

$\xi = [0{,}8 - \sqrt{(0{,}64 - 1{,}28\mu)}]/0{,}64 = 0{,}0817$; $z = d(1 - 0{,}4\xi) = 0{,}331$ m [HRN EN 1992-1-1, (3.19)–(3.21)]

$A_{s,req} = M_{Ed}/(z \cdot f_{yd}) = 1028$ mm²/m ; $A_{s,min} = \max(0{,}26\, f_{ctm}/f_{yk};\ 0{,}0013) \cdot b \cdot d = 516$ mm²/m [HRN EN 1992-1-1, (9.1N)]

Odabrano Ø16/15,0 cm $\rightarrow A_{s,prov} = 1340$ mm²/m ; $\eta = 1028/1340 =$ **0,767** **ZADOVOLJAVA**

$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1{,}765 \le 2{,}0$; $\rho_l = 0{,}00392$; $C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c = 0{,}120$; $v_{Rd,c} = 0{,}482$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.2a)] ; $v_{min} = 0{,}449$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.3N)]

$V_{Rd,c} = \max(v_{Rd,c}; v_{min}) \cdot b \cdot d = 164{,}69$ kN/m ; $\eta = 103{,}36/164{,}69 =$ **0,628** **ZADOVOLJAVA**

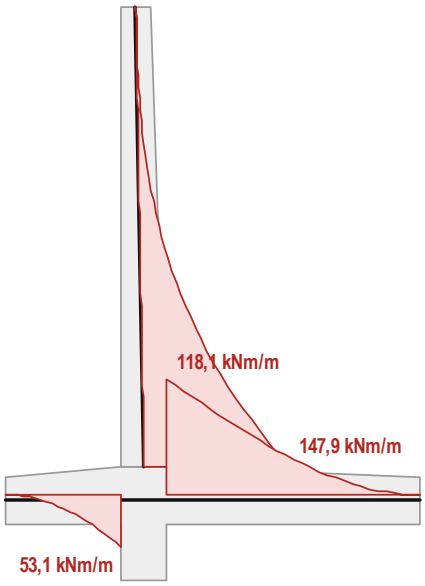
Vertikalna armatura zida (Poz 1 + Poz 4): $A_{s,v} = 1340 + 524 = 1864$ mm²/m ; $A_{s,vmin} = 0{,}002\, A_c = 800$; $A_{s,vmax} = 0{,}04\, A_c = 16000$ mm²/m (HRN EN 1992-1-1, 9.6.2(1); NA:2015, 2.88) $\rightarrow$ **ZADOVOLJAVA**

9.2 Unutarnje sile u temeljnoj ploči

Kontaktna naprezanja iz linearne raspodjele (kruta ploča), sile u presjecima na licima zida (x = 1,000 m i x = 1,400 m), numerička integracija. Tlak na fiktivnu ravninu s parametrima M2: K = 0,5807, $E_{h,G}$ = 137,91, $E_{h,Q}$ = 14,52, $E_{v,G}$ = 0,00 kN/m.

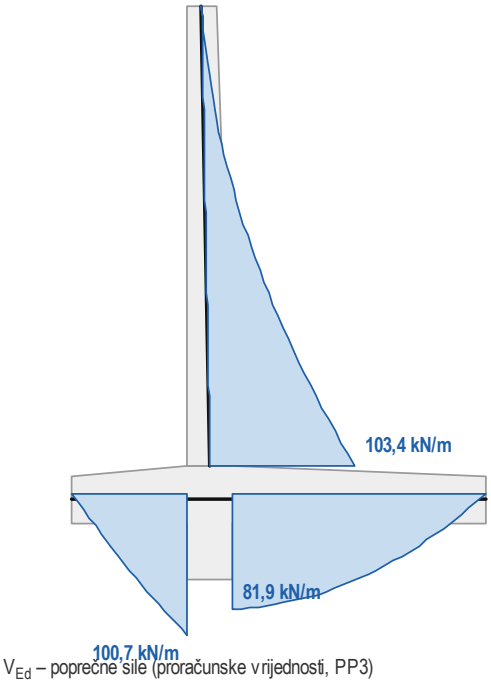
Kombinacija	V_d [kN/m]	e [m]	Prednja peta M_{Ed} [kNm/m]	Prednja peta V_{Ed} [kN/m]	Stražnja peta M_{Ed} [kNm/m]	Stražnja peta V_{Ed} [kN/m]
STR-1 (sva djelovanja nepovoljna), bez otpora tla	306,69	0,390	52,44	99,52	111,29	76,92
STR-2 (vertikalna djelovanja povoljna), bez otpora tla	263,94	0,456	48,57	91,88	115,72	80,44
STR-1 (sva djelovanja nepovoljna), s otporom tla ispred zida	306,69	0,390	53,12	100,71	113,67	78,34
STR-2 (vertikalna djelovanja povoljna), s otporom tla ispred zida	263,94	0,456	49,24	93,07	118,10	81,85
nazovistalna (GSU, M1)	263,94	0,228	38,06	–	78,73	–
potresna (G + A_{Ed} + ψ_2 Q, model 1, anvelopa)	–	–	47,71	90,55	110,71	77,85

Unutarnje sile temeljne ploče određuju se kao anvelopa varijanti bez otpora tla ispred zida i s mobiliziranim otporom $E_{f,mob}$ = min(E_f; H) u kontaktnom naprezanju (Rev24), te potresne situacije (Rev16). Težina tla iznad prednje pete množi se faktorom kombinacije (Rev19).



M_{Ed} – crtano na vlačnoj strani elementa (zid: stražnje lice; prednja peta: donja zona; stražnja peta: gornja zona)

Slika 6. Dijagram momenata savijanja M_{Ed} (proračunske vrijednosti, PP3)



Slika 7. Dijagram poprečnih sila V_{Ed} (proračunske vrijednosti, PP3)

9.3 Prednja peta – donja armatura (Poz 2)

Presjek na prednjem licu zida: h = 0,500 m, d = h – c_{nom} – Ø/2 = 0,500 – 0,050 – 0,007 = 0,443 m

M_{Ed} = 53,12 kNm/m ; V_{Ed} = 100,71 kN/m
$\mu_{Ed} = M_{Ed}/(b\cdot d^2\cdot f_{cd}) = 53,12/(1,0\cdot 0,443^2\cdot 20000) = 0,0135 \le \mu_{lim} = 0,295$
$\xi = [0,8 - \sqrt{(0,64 - 1,28\mu)}]/0,64 = 0,0170$; $z = d(1 - 0,4\xi) = 0,440$ m [HRN EN 1992-1-1, (3.19)–(3.21)]
$A_{s,req} = M_{Ed}/(z\cdot f_{yd}) = 278$ mm²/m ; $A_{s,min} = \max(0,26\, f_{ctm}/f_{yk};\ 0,0013)\cdot b\cdot d = 668$ mm²/m [HRN EN 1992-1-1, (9.1N)]
Odabrano Ø14/15,0 cm → $A_{s,prov}$ = 1026 mm²/m ; η = 668/1026 = **0,651** **ZADOVOLJAVA**
$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1,672 \le 2,0$; $\rho_l = 0,00232$; $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,120$; $v_{Rd,c} = 0,383$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.2a)] ; $v_{min} = 0,414$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.3N)]
$V_{Rd,c} = \max(v_{Rd,c};\ v_{min})\cdot b\cdot d = 183,59$ kN/m ; η = 100,71/183,59 = **0,549** **ZADOVOLJAVA**

9.4 Stražnja peta – gornja armatura (Poz 3)

Presjek na stražnjem licu zida: h = 0,500 m, d = h – c_{nom} – Ø/2 = 0,500 – 0,050 – 0,008 = 0,442 m

M_{Ed} = 118,10 kNm/m ; V_{Ed} = 81,85 kN/m
$\mu_{Ed} = M_{Ed}/(b\cdot d^2\cdot f_{cd}) = 118,10/(1,0\cdot 0,442^2\cdot 20000) = 0,0302 \le \mu_{lim} = 0,295$
$\xi = [0,8 - \sqrt{(0,64 - 1,28\mu)}]/0,64 = 0,0384$; $z = d(1 - 0,4\xi) = 0,435$ m [HRN EN 1992-1-1, (3.19)–(3.21)]
$A_{s,req} = M_{Ed}/(z\cdot f_{yd}) = 624$ mm²/m ; $A_{s,min} = \max(0,26\, f_{ctm}/f_{yk};\ 0,0013)\cdot b\cdot d = 667$ mm²/m [HRN EN 1992-1-1, (9.1N)]
Odabrano Ø16/15,0 cm → $A_{s,prov}$ = 1340 mm²/m ; η = 667/1340 = **0,497** **ZADOVOLJAVA**
$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1,673 \le 2,0$; $\rho_l = 0,00303$; $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,120$; $v_{Rd,c} = 0,419$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.2a)] ; $v_{min} = 0,415$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.3N)]
$V_{Rd,c} = \max(v_{Rd,c};\ v_{min})\cdot b\cdot d = 185,21$ kN/m ; η = 81,85/185,21 = **0,442** **ZADOVOLJAVA**

9.5 Posmični zub – konzola upeta u temeljnu ploču, opterećena otporom tla

Zub prenosi horizontalnu reakciju tla na prednjoj plohi – pasivni otpor (odabir za GSN). Mjerodavna je veća vrijednost: (a) karakteristični parametri tla i γ_G = 1,35 (A1), (b) parametri tla M2 i γ_G = 1,00 (A2) [HRN EN 1990, (6.10)]; za potresnu situaciju odabir za potres s K_{pE} i (1 ± k_v) (anvelopa).

Mjerodavno: (a) M1/A1 → V_{Ed} = 34,63 kN/m ; M_{Ed} = 9,46 kNm/m (vlak na prednjoj plohi) ; nazovistalno (odabir za GSU): V = 25,65 kN/m, M_{qp} = 7,01 kNm/m

Presjek zuba u spoju s temeljnom pločom: h = 0,400 m, d = h – c_{nom} – Ø/2 = 0,400 – 0,050 – 0,006 = 0,344 m

M_{Ed} = 9,46 kNm/m ; V_{Ed} = 34,63 kN/m
$\mu_{Ed} = M_{Ed}/(b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 9,46/(1,0 \cdot 0,344^2 \cdot 20000) = 0,0040 \leq \mu_{lim} = 0,295$
$\xi = [0,8 – \sqrt{(0,64 – 1,28\mu)}]/0,64 = 0,0050$; $z = d(1 – 0,4\xi) = 0,343$ m [HRN EN 1992-1-1, (3.19)–(3.21)]
$A_{s,req} = M_{Ed}/(z \cdot f_{yd}) = 63$ mm²/m ; $A_{s,min} = \max(0,26\, f_{ctm}/f_{yk}; 0,0013) \cdot b \cdot d = 519$ mm²/m [HRN EN 1992-1-1, (9.1N)]
Odabrano Ø12/15,0 cm → $A_{s,prov}$ = 754 mm²/m ; η = 519/754 = **0,688** **ZADOVOLJAVA**
$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1,762 \leq 2,0$; $\rho_l = 0,00219$; $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,120$; $v_{Rd,c} = 0,396$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.2a)] ; $v_{min} = 0,449$ MPa [HRN EN 1992-1-1, (6.3N)]
$V_{Rd,c} = \max(v_{Rd,c}; v_{min}) \cdot b \cdot d = 154,30$ kN/m ; η = 34,63/154,30 = **0,224** **ZADOVOLJAVA**

Moment upetosti zuba prenosi se u temeljnu ploču kao koncentrirani moment na mjestu zuba; u unutarnjim silama ploče (t. 9.2) nije uključen. Za zub blizu lica zida utjecaj je malen.

21.10 Granično stanje uporabljivosti

10.1 Položaj rezultante u odnosu na 1. jezgru presjeka – nazovistalna kombinacija

Nazovistalna kombinacija G + $\psi_2 \cdot$ Q, ψ_2 = 0,00 [HRN EN 1990, (6.16b)] ; V_{qp} = 263,94 kN/m ; H_{qp} = 41,48 kN/m
Otpor tla ispred zida (pasivni otpor, odabir za GSU): $E_{f,mob} = \min(E_f; H_{qp}) = \min(37,69; 79,17) = 37,69$ kN/m (y_f = -0,117 m)
$x_R = (M_{stb} – M_{dst})/V_{qp} = (548,93 – 92,36)/263,94 = 1,730$ m ; e = B/2 – x_R = 0,070 m
|e| ≤ B/6 = 0,600 m (DIN 1054:2010-12, A 6.6.5(2)) → η = 0,117 **ZADOVOLJAVA**

Rezultanta nazovistalne kombinacije leži unutar 1. jezgre poprečnog presjeka – cijela kontaktna ploha je tlačno napregnuta i ne nastaje otvorena reška.

10.2 Ograničenje širine pukotina (HRN EN 1992-1-1, 7.3.4)

Nazovistalna kombinacija G + ψ_2 Q; w_{max} = 0,30 mm; k_t = 0,4, k_1 = 0,8, k_2 = 0,5, k_3 = 3,4, k_4 = 0,425.

Zid – dno (M_{qp} = 101,33 kNm/m)

$\alpha_{e,eff} = E_s/(E_{cm}/(1+\varphi)) = 18,18$; x = 107,0 mm ; $\sigma_s = M/(A_s(d – x/3)) = 246,8$ MPa
$h_{c,ef} = \min\{2,5(h–d); (h–x)/3; h/2\} = 97,7$ mm ; $\rho_{p,eff} = 0,01373$ [HRN EN 1992-1-1, (7.10)]
$\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm} = \max\{[\sigma_s – k_t\, f_{ct,eff}/\rho_{p,eff}(1+\alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s; 0,6\sigma_s/E_s\} = 0,7762$ ‰ [HRN EN 1992-1-1, (7.9)]
s = 150 mm ≤ 5(c + Ø/2) = 290 mm → $s_{r,max} = k_3\, c + k_1\, k_2\, k_4 Ø/\rho_{p,eff} = 368,2$ mm [HRN EN 1992-1-1, (7.11)]
$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm}) = 0,286$ mm ≤ w_{max} = 0,30 mm [HRN EN 1992-1-1, (7.8)] → η = **0,953** **ZADOVOLJAVA**

Prednja peta (M_{qp} = 38,06 kNm/m)

$\alpha_{e,eff} = E_s/(E_{cm}/(1+\varphi)) = 18,18$; x = 111,3 mm ; $\sigma_s = M/(A_s(d – x/3)) = 91,4$ MPa
$h_{c,ef} = \min\{2,5(h–d); (h–x)/3; h/2\} = 129,6$ mm ; $\rho_{p,eff} = 0,00792$ [HRN EN 1992-1-1, (7.10)]
$\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm} = \max\{[\sigma_s – k_t\, f_{ct,eff}/\rho_{p,eff}(1+\alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s; 0,6\sigma_s/E_s\} = 0,2741$ ‰ [HRN EN 1992-1-1, (7.9)]
s = 150 mm ≤ 5(c + Ø/2) = 285 mm → $s_{r,max} = k_3\, c + k_1\, k_2\, k_4 Ø/\rho_{p,eff} = 470,5$ mm [HRN EN 1992-1-1, (7.11)]
$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm}) = 0,129$ mm ≤ w_{max} = 0,30 mm [HRN EN 1992-1-1, (7.8)] → η = **0,430** **ZADOVOLJAVA**

Stražnja peta (M_{qp} = 78,73 kNm/m)

$\alpha_{e,eff} = E_s/(E_{cm}/(1+\varphi)) = 18,18$; x = 124,4 mm ; $\sigma_s = M/(A_s(d – x/3)) = 146,7$ MPa
$h_{c,ef} = \min\{2,5(h–d); (h–x)/3; h/2\} = 125,2$ mm ; $\rho_{p,eff} = 0,01071$ [HRN EN 1992-1-1, (7.10)]
$\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm} = \max\{[\sigma_s – k_t\, f_{ct,eff}/\rho_{p,eff}(1+\alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s; 0,6\sigma_s/E_s\} = 0,4400$ ‰ [HRN EN 1992-1-1, (7.9)]
s = 150 mm ≤ 5(c + Ø/2) = 290 mm → $s_{r,max} = k_3\, c + k_1\, k_2\, k_4 Ø/\rho_{p,eff} = 424,0$ mm [HRN EN 1992-1-1, (7.11)]
$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm}) = 0,187$ mm ≤ w_{max} = 0,30 mm [HRN EN 1992-1-1, (7.8)] → η = **0,622** **ZADOVOLJAVA**

Posmični zub (M_{qp} = 7,01 kNm/m)

$\alpha_{e,eff} = E_s/(E_{cm}/(1+\varphi)) = 18,18$; x = 84,4 mm ; $\sigma_s = M/(A_s(d – x/3)) = 29,4$ MPa
$h_{c,ef} = \min\{2,5(h–d); (h–x)/3; h/2\} = 105,2$ mm ; $\rho_{p,eff} = 0,00717$ [HRN EN 1992-1-1, (7.10)]
$\varepsilon_{sm} – \varepsilon_{cm} = \max\{[\sigma_s – k_t\, f_{ct,eff}/\rho_{p,eff}(1+\alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s; 0,6\sigma_s/E_s\} = 0,0883$ ‰ [HRN EN 1992-1-1, (7.9)]
s = 150 mm ≤ 5(c + Ø/2) = 280 mm → $s_{r,max} = k_3\, c + k_1\, k_2\, k_4 Ø/\rho_{p,eff} = 454,7$ mm [HRN EN 1992-1-1, (7.11)]

$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ = 0,040 mm ≤ w_{max} = 0,30 mm [HRN EN 1992-1-1, (7.8)] → η = **0,134** **ZADOVOLJAVA**

21.11 Armatura

Automatski izbor: za svaku poziciju odabire se najveći razmak u koracima 2,5 cm unutar 10–20 cm za koji vrijedi $A_{s,prov} \geq \max(A_{s,req}; A_{s,min})$, $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ i $w_k \leq w_{max}$; ako niti s = 10 cm ne zadovoljava, povećava se promjer šipke. Razmak šipki gornje i donje zone temelja je jednak, kao i razmak Poz 1, Poz 4 i Poz 7 u zidu.

Poz 1 – zid, stražnje lice, Ø16

s [cm]	$A_{s,prov}$ [mm²/m]	$A_{s,req}$ [mm²/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m]	w_k [mm]	Uvjeti
20,0	1005	1028	153,7	0,446	nisu ispunjeni
17,5	1149	1028	156,4	0,362	nisu ispunjeni
15,0	1340	1028	164,7	0,286	ispunjeni
12,5	1608	1028	175,0	0,218	ispunjeni
10,0	2011	1028	188,5	0,159	ispunjeni

Poz 2 – temelj, donja zona, Ø14

s [cm]	$A_{s,prov}$ [mm²/m]	$A_{s,req}$ [mm²/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m]	w_k [mm]	Uvjeti
20,0	770	668	183,6	0,211	ispunjeni
17,5	880	668	183,6	0,168	ispunjeni
15,0	1026	668	183,6	0,129	ispunjeni
12,5	1232	668	183,6	0,095	ispunjeni
10,0	1539	668	194,2	0,067	ispunjeni

Poz 3 – temelj, gornja zona, Ø16

s [cm]	$A_{s,prov}$ [mm²/m]	$A_{s,req}$ [mm²/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m]	w_k [mm]	Uvjeti
20,0	1005	667	183,3	0,302	nisu ispunjeni
17,5	1149	667	183,3	0,241	ispunjeni
15,0	1340	667	185,2	0,187	ispunjeni
12,5	1608	667	196,8	0,139	ispunjeni
10,0	2011	667	212,0	0,098	ispunjeni

Poz 8 – posmični zub, Ø12

s [cm]	$A_{s,prov}$ [mm²/m]	$A_{s,req}$ [mm²/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m]	w_k [mm]	Uvjeti
20,0	565	519	154,3	0,065	ispunjeni
17,5	646	519	154,3	0,052	ispunjeni
15,0	754	519	154,3	0,040	ispunjeni
12,5	905	519	154,3	0,030	ispunjeni
10,0	1131	519	156,0	0,021	ispunjeni

Usvojeno: temelj s = 15,0 cm (Poz 2 Ø14, Poz 3 Ø16) ; zid s = 15,0 cm (Poz 1 Ø16, Poz 4 Ø10, Poz 7 Ø12) ; konstruktivno 10 cm ≤ s ≤ 20 cm (HRN EN 1992-1-1, 8.2(2), 9.3.1.1(3); NA:2015, 2.83)
Posmični zub: Poz 8 Ø12/15,0 cm

11.1 Duljine sidrenja i preklopa (HRN EN 1992-1-1, 8.4 i 8.7)

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}/\gamma_c$ = 1,0 · 2,0/1,50 = 1,333 MPa [HRN EN 1992-1-1, (3.16)] ; $f_{bd} = 2{,}25\eta_1\eta_2 f_{ctd}$ [HRN EN 1992-1-1, (8.2)]
$l_{b,rqd} = (Ø/4)(\sigma_{sd}/f_{bd})$, $\sigma_{sd} = f_{yd}$ [HRN EN 1992-1-1, (8.3)] → Poz 1 (Ø16): 580 mm ; Poz 3 (Ø16, η_1 = 0,7): 828 mm ; Poz 4 (Ø10): 362 mm
Preklop U vilice Poz 7 s Poz 1 i Poz 4 (100 % nastavljenih šipki, α_6 = 1,5): $l_0 = \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0{,}3\alpha_6\, l_{b,rqd}; 15Ø; 200\text{ mm})$ [HRN EN 1992-1-1, (8.10), (8.11)] → stražnje lice 870 mm, prednje lice 652 mm → krak U vilice = **90 cm**

Konzervativno je uzeto $l_{bd} = l_{b,rqd}$ ($\alpha_1 \ldots \alpha_5$ = 1,0) ≥ $l_{b,min} = \max(0{,}3 l_{b,rqd}; 10Ø; 100\text{ mm})$ [HRN EN 1992-1-1, (8.4), (8.6)]. Najmanji promjer trna $Ø_{m,min}$ = 4Ø za Ø ≤ 16 mm, 7Ø za Ø > 16 mm (HRN EN 1992-1-1, Tablica 8.1N).

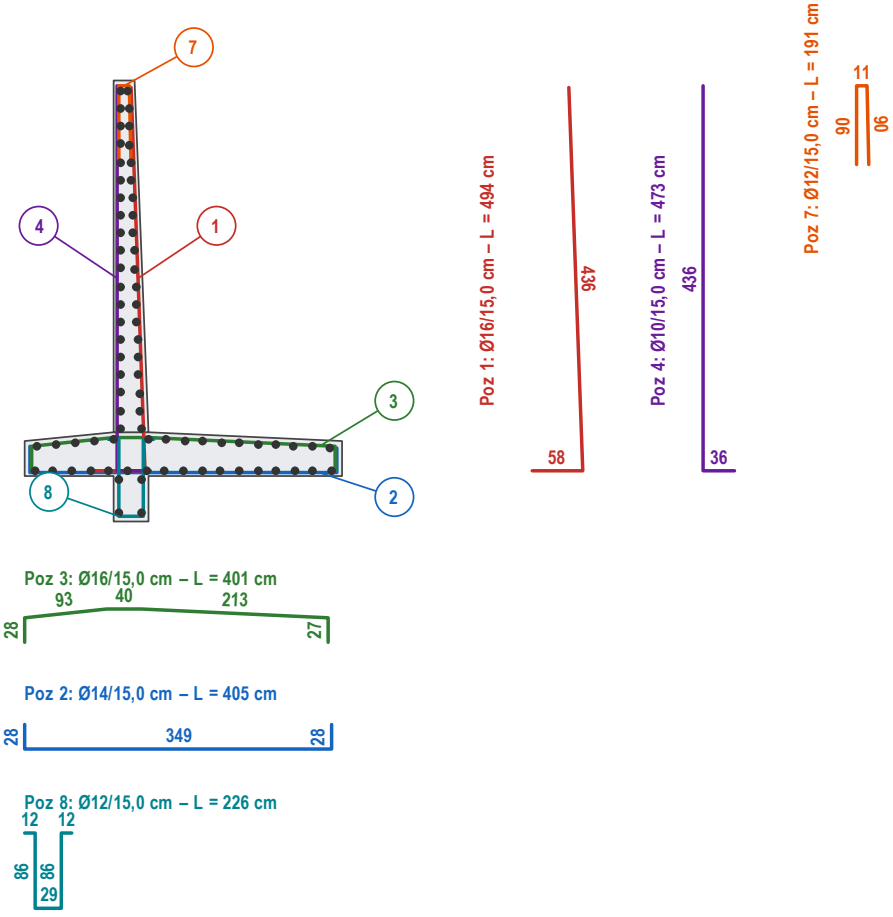
Poz 8 (zub): $l_{b,rqd} = (Ø/4)(f_{yd}/f_{bd})$ = 435 mm ; krakovi ulaze u ploču 42 cm (ograničeno debljinom ploče) ; horizontalna kuka 12 cm

11.3 Razdjelna (uzdužna) armatura (HRN EN 1992-1-1, 9.3.1.1(2) i 9.6.3(1))

Temelj: $A_{s,req} = 0{,}2 \cdot \max(A_{s,Poz2}; A_{s,Poz3}) = 0{,}2 \cdot 1340$ = 268 mm²/m → Poz 6, 9: Ø10/20,0 cm (A_s = 393 mm²/m ; upisano s = 20,0 cm)

Zid (po licu): $A_{s,req}$ = max{0,2 $A_{s,Poz1}$; ½ max(0,25 $A_{s,v}$; 0,001 A_c)} = max{268; 233} = 268 mm²/m → Poz 5: Ø10/20,0 cm (A_s = 393 mm²/m ; upisano s = 20,0 cm)

21.12 Nacrt armature



Poz 5: Ø10/20,0 cm (zid) ; Poz 6, 9: Ø10/20,0 cm (temelj, zub) – razdjelna armatura (točke)

Slika 8. Poprečni presjek zida s armaturom i reprezenti šipki (duljine u cm)

Duljine dijelova šipki kotirane su u cm (os šipke). Zaštitni sloj c_{nom} = 50 mm. Nožice Poz 1 i Poz 4 u temelju položene su neposredno iznad donje armature temelja (Poz 2).

21.13 Iskaz armature i materijala (duljina zida L = 10,00 m)

Poz	Opis	Ø [mm]	Razmak [cm]	Oblik	L [cm]	kom	Ukupno [m]	Masa [kg]
1	zid – stražnje (vlačno) lice	16	15,0	L	494	67	330,98	522,79
2	temelj – donja zona	14	15,0	U (kuke prema gore)	405	67	271,35	328,15
3	temelj – gornja zona	16	15,0	U (kuke prema dolje)	401	67	268,67	424,37
4	zid – prednje lice (konstruktivno)	10	15,0	L	473	67	316,91	195,53
5	razdjelna – zid	10	20,0	ravna	1000	40	400,00	246,80
6	razdjelna – temelj	10	20,0	ravna	1000	33	330,00	203,61
7	U vilica na vrhu zida (konstruktivno)	12	15,0	U (vilica)	191	67	127,97	113,70
8	posmični zub – U spona	12	15,0	U spona s kukama	226	67	151,42	134,53
9	razdjelna – posmični zub	10	20,0	ravna	1000	4	40,00	24,68
	Ukupno B500B							**2194,16**

Promjer	Masa [kg]	Masa po m zida [kg/m]
Ø10	670,62	67,06

Promjer	Masa [kg]	Masa po m zida [kg/m]
Ø12	248,23	24,82
Ø14	328,15	32,81
Ø16	947,16	94,72

Materijal	Po 1 m zida	Ukupno (L = 10,00 m)
Beton C30/37 [m³]	3,140	31,40
Armatura B500B [kg]	219,42	2194,16
Utrošak armature [kg/m³]	69,9	–
Oplata [m²]	10,43	104,31
Podložni beton C12/15, d = 10 cm [m³]	0,460	4,60

Masa šipki: 0,00617· Ø² kg/m (gustoća čelika 7850 kg/m³). Razdjelne šipke (Poz 5, 6, 9) položene su uzduž zida; u iskazu su bez preklopa. Oplata uključuje lica zida, bočne plohe temelja i zuba te dva čela.

21.14 Napomene i ograničenja

1) Vrijednosti parcijalnih faktora provjeriti prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2016; sve vrijednosti su promjenjive. 2) Koeficijenti tlaka tla određeni su izrazima iz HRN EN 1998-5, Dodatak E za θ = 0 (Coulombovo rješenje). 3) Podzemna voda, slijeganja, opća stabilnost te koncentrirana opterećenja na terenu nisu obuhvaćeni. 4) Dimenzioniranje na savijanje zanemaruje povoljni utjecaj uzdužne tlačne sile. 5) Rezultate treba provjeriti odgovorni projektant.

SheetPile Designer

22 Program SheetPile Designer

T2 – stijena s jednom razinom sidra (slobodno oslonjena), dva sloja, voda s obje strane

Proračun mehaničke otpornosti i stabilnosti prema HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-6, HRN EN 1997-1, HRN EN 1993-5, HRN EN 1993-1-1, HRN EN 1993-1-8, HRN EN 1998-5 s hrvatskim nacionalnim dodacima

22.1 Opći podaci i propisi

Podatak	Vrijednost
Projekt	IKA – GRAĐEVNA JAMA (testni primjer)
Građevina	T2 – stijena s jednom razinom sidra (slobodno oslonjena), dva sloja, voda s obje strane
Lokacija	—
Investitor	—
Projektant	—
Broj proračuna	T2
Oznaka elementa	ŽMURJE
Revizija	2
Datum	2026-11-16
Izradio	—

Podatak	Vrijednost
Kontrolirao	—

22.1.1 Primijenjeni propisi

Propis	Narodne novine	Primjena
Zakon o gradnji	NN 155/25	temeljni zahtjev mehanička otpornost i stabilnost
Tehnički propis za građevinske konstrukcije	NN 17/17, 75/20, 7/22	primjena Eurokodova i nacionalnih dodataka; dio sedmi – geotehničke konstrukcije
Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina	NN 118/19, 65/20	sadržaj i oprema proračuna
Pravilnik o kontroli projekata	NN 32/14, 72/20, 90/23	provjerljivost proračuna

22.1.2 Primijenjene norme (Eurokodovi 1. generacije)

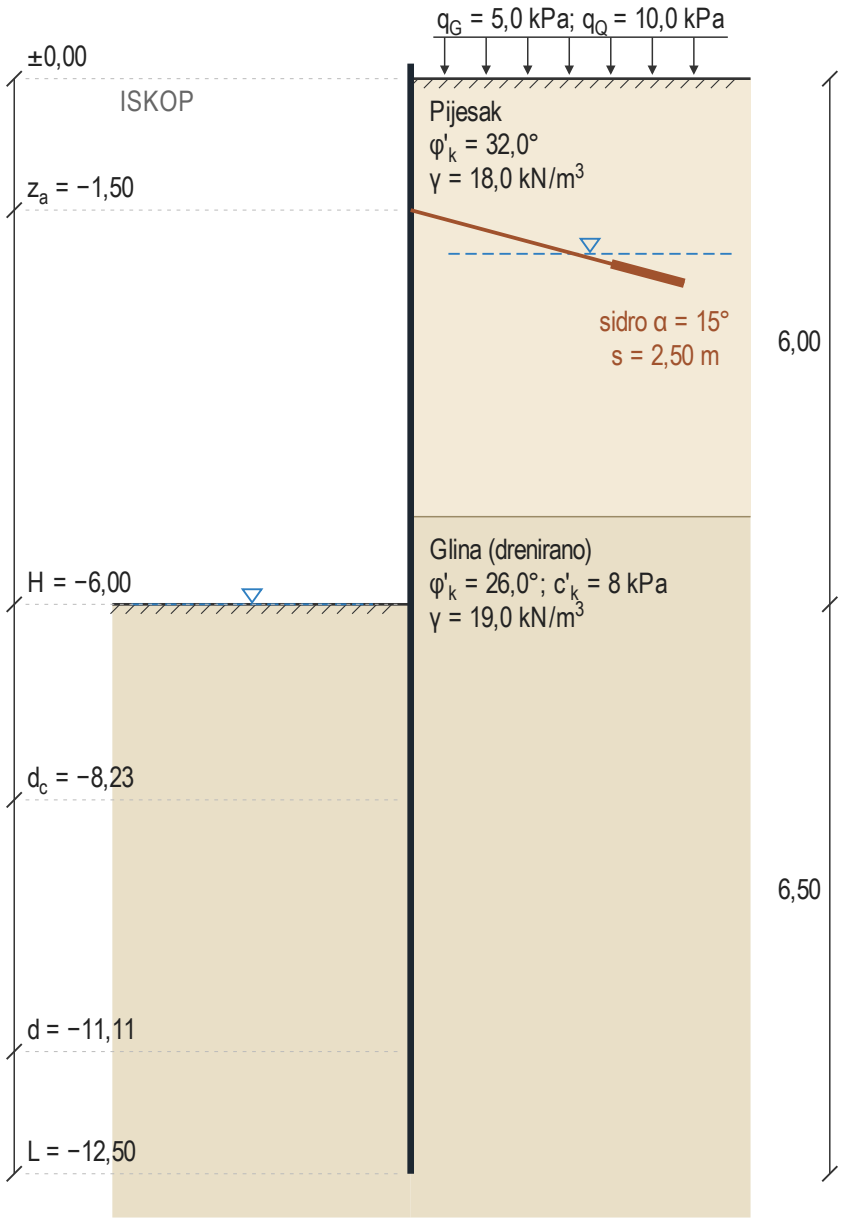
Oznaka	Naslov
HRN EN 1990:2011	Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija
HRN EN 1990:2011/NA:2011	Nacionalni dodatak
HRN EN 1997-1:2012	Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila
HRN EN 1997-1:2012/A1:2014	Amandman A1 (sidra)
HRN EN 1997-1:2012/NA:2016	Nacionalni dodatak
HRN EN 1993-5:2014	Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – 5. dio: Piloti i žmurje
HRN EN 1993-5:2014/NA:2014	Nacionalni dodatak
HRN EN 1993-1-1:2014 + A1:2015	Eurokod 3 – 1-1. dio: Opća pravila i pravila za zgrade
HRN EN 1993-1-1:2014/NA:2015	Nacionalni dodatak (γ_{M0}, γ_{M1}, γ_{M2})
HRN EN 1993-1-3:2014	Eurokod 3 – 1-3. dio: Hladno oblikovani elementi i limovi (f_{bv})
HRN EN 1993-1-3:2014/NA:2014	Nacionalni dodatak
HRN EN 1992-1-1:2013 + A1:2015 + Ispr.1:2015	Eurokod 2 – 1-1. dio: Opća pravila i pravila za zgrade (natege)
HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015	Nacionalni dodatak (γ_S, k_1, k_2)
HRN EN 1993-1-8:2014	Eurokod 3 – 1-8. dio: Proračun priključaka (vijci, proboj, razmaci)
HRN EN 1993-1-8:2014/NA:2014 + NA/A1:2019	Nacionalni dodatak i amandman (γ_{M2}, dopušteni razredi vijaka)
HRN EN 1991-1-6:2012 + Ispr.1:2014	Eurokod 1 – 1-6. dio: Djelovanja tijekom izvedbe
HRN EN 1991-1-6:2012/NA:2012	Nacionalni dodatak ($q_{ca,k}$, povratna razdoblja, ψ za opterećenja pri izvedbi)
HRN EN 1997-2:2012	Eurokod 7 – 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla (izvedene vrijednosti)
HRN EN 1991-1-1:2012	Eurokod 1 – 1-1. dio: Obujamske težine, vlastita težina, uporabna opterećenja (γ_w)
HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012	Nacionalni dodatak
HRN EN 1998-1:2011 + A1:2014 + Ispr.2:2015	Eurokod 8 – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja
HRN EN 1998-1:2011/NA:2011 + NA/A1:2021	Nacionalni dodatak i amandman A1
HRN EN 1998-5:2011	Eurokod 8 – 5. dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja
HRN EN 1998-5:2011/NA:2011	Nacionalni dodatak
HRN EN 10248-1:2023	Toplo valjano žmurje od nelegiranih čelika – 1. dio: Tehnički uvjeti isporuke
HRN EN 10025-2:2019	Toplo valjani proizvodi od konstrukcijskih čelika – 2. dio
HRN EN 1537:2013	Izvedba posebnih geotehničkih radova – Geotehnička sidra
HRN EN ISO 22477-5:2018	Ispitivanje geotehničkih konstrukcija – 5. dio: Ispitivanje sidara
HRN EN 12063	Izvedba posebnih geotehničkih radova – Zagatne stijene od žmurja (izdanje prema Prilogu I. TPGK)
ArcelorMittal, General Catalogue 2027	Katalog proizvođača žmurja – svojstva profila (ugrađena baza profila)

Izdanja normi potrebno je potvrditi prema Prilogu I. važećeg pročišćenog teksta Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije. Eurokodovi druge generacije (npr. HRN EN 1997-1:2024) se ne primjenjuju.

22.2 Ulazni podaci

22.2.1 Geometrija

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Tip stijene		sidrena stijena (1 razina) – slobodno oslonjena u tlu
Zadana duljina žmurja	L	12,50 m
Visina iskopa	H	6,00 m
Nagib terena iza / ispred	β	0,0° / 0,0°
Nepredviđeni iskop	Δ a	0,00 m



PRESJEK KROZ ZAGATNU STIJENU (kote u m)

Slika: Presjek kroz zagatnu stijenu s kotama

22.2.2 Slojevi tla (karakteristične vrijednosti)

Sloj	Od – do [m]	Stanje	γ / γ_{sat} [kN/m³]	ϕ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [kPa]	$\delta_{a,k}$ / $\delta_{p,k}$ [°]
Pijesak	0,00 – 5,00	drenirano	18,0 / 20,0	32,0	0,0	20,0 / 16,0

Sloj	Od – do [m]	Stanje	γ / γ_{sat} [kN/m³]	ϕ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [kPa]	$\delta_{a,k}$ / $\delta_{p,k}$ [°]
Glina (drenirano)	5,00 – kraj	drenirano	19,0 / 20,0	26,0	8,0	17,0 / 13,0

22.2.3 Podzemna voda i opterećenja

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Dubina vode iza stijene	$d_{w,a}$	2,00 m
Dubina vode ispred stijene	$d_{w,p}$	6,00 m
Zapreminska težina vode	γ_w	10,00 kN/m³
Stalno jednoliko opterećenje	$q_{G,k}$	5,00 kPa
Promjenjivo jednoliko opterećenje	$q_{Q,k}$	10,00 kPa
Kategorija (ψ)		Kategorija F: prometna područja, vozila ≤ 30 kN

22.2.4 Sidro

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Tip		geotehnicko
Dubina sidra	z_a	1,50 m
Nagib	α	15,0°
Razmak	s	2,50 m
Slobodna / sidrišna dionica		8,0 / 6,0 m
Metoda ispitivanja		1
Natega		kabel: $R_{t;d}$ = 900,0 kN (ručno)

22.2.5 Profil žmurja i čelik

Veličina	Vrijednost
Profil / oblik	AU 25 (testni podaci) / Z
b; h; t_f; t_w; α	750; 450; 14,5; 10,2 mm; 54,8°
A; I	187,0 cm²/m; 56 240 cm⁴/m
W_{el}; W_{pl}	2500; 2866 cm³/m
Čelik	S355GP, f_y = 355 MPa
Proračunski vijek	2 god.
Izvor svojstava profila	h, tf, tw, b, α , Wpl: priloženi Tedds ispis (Analysis and Design of sheet piles); A, I, Wel, bf: ilustrativni testni podaci

22.3 Projektni pristup, parcijalni koeficijenti i kombinacije

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, 2.1.11 Proračunski pristupi, točka 2.4.7.3.4.1(1)P)

Projektni pristup za potporne konstrukcije — PP3: (A1* ili A2) "+" M2 "+" R3

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.3.4.4 Proračunski pristup 3); (HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, 2.1.11 Proračunski pristupi, točka 2.4.7.3.4.1(1)P)

Projektni pristup za sidra — PP2 (A1 "+" M1 "+" R2) – stroži od PP2/PP3

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.3.4.3 Proračunski pristup 2); (HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, 2.1.11 Proračunski pristupi, točka 2.4.7.3.4.1(1)P)

Kombinacija djelovanja GSN — $\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$ "+" $\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$ "+" $\Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ [HRN EN 1990, izraz (6.10)]

(HRN EN 1990:2011/NA:2011, 2.5, točka A1.3.1(1))

> Tlak tla i tlak vode tretiraju se kao stalna djelovanja (HRN EN 1990:2011/NA:2011, 2.5). Tlakovi tla su geotehnička djelovanja – skupina A2.

22.3.1 Parcijalni koeficijenti – GSN (STR/GEO)

Koeficijent	Simbol	A1	A2 (primijenjeno)	Izvor
Stalno nepovoljno	$\gamma_{G;sup}$	1,35	1,00	tablica A.3(HR)
Stalno povoljno	$\gamma_{G;inf}$	1,00	1,00	tablica A.3(HR)
Promjenjivo nepovoljno	γ_Q	1,50	1,30	tablica A.3(HR)

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.3(HR))

22.3.2 Parcijalni koeficijenti za parametre tla

Parametar	Simbol	M1	M2 (primijenjeno)	Izvor
Kut unutarnjeg trenja (tan ϕ')	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25	tablica A.4(HR)
Efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25	tablica A.4(HR)
Nedrenirana posmična čvrstoća	γ_{cu}	1,00	1,40	tablica A.4(HR)
Gustoća težine	γ_{γ}	1,00	1,00	tablica A.4(HR)

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.4(HR))

22.3.3 Djelovanja tijekom izvedbe

(HRN EN 1991-1-6:2012 Djelovanja tijekom izvedbe; HRN EN 1991-1-6:2012/NA:2012)

Tlak tla i pomaci tla tijekom izvedbe — prema HRN EN 1997 (pogl. 4–7)

(HRN EN 1991-1-6:2012, 4.3 Geotehnička djelovanja – prema HRN EN 1997)

Djelovanje podzemne vode — statički tlak (pogl. 6); hidrodinamički učinci uzimaju se gdje su nepovoljniji

(HRN EN 1991-1-6:2012, 4.9(1) – statički tlak i/ili hidrodinamički učinci, nepovoljnije)

Opterećenje pri izvedbi – osoblje i ručni alat (najmanja karakteristična vrijednost); $q_{ca,k}$ — **$q_{ca,k}$ = 1,00 kN/m²**

(HRN EN 1991-1-6:2012, 4.11.1, tablica 4.1, NAPOMENA 2; HRN EN 1991-1-6:2012/NA:2012, 2.12 – prihvaćene preporučene vrijednosti)

Ostala opterećenja pri izvedbi uz rub jame – skladištenje Q_{cb}, privremena oprema Q_{cc}, teški strojevi Q_{cd} (vozila prema HRN EN 1991-2, dizalice prema HRN EN 1991-3), nakupljanje iskopanog tla Q_{ce} – zadaje projektant za pojedini projekt kroz $q_{G,k}$ / $q_{Q,k}$ ili dodatne dijagrame tlaka (HRN EN 1991-1-6:2012, 4.11.1, tablica 4.1).

Kategorija promjenjivog djelovanja: Kategorija F: prometna područja, vozila ≤ 30 kN — ψ_0 = 0,7 ; ψ_2 = 0,6

(HRN EN 1990:2011, Dodatak A1, tablica A1.1; HRN EN 1990:2011/NA:2011, 2.3)

Parcijalni koeficijent otpornosti tla; $\gamma_{R;e}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.7a)] — 1,0 (izraz (2.7a) – otpornost iz proračunskih parametara)

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.13(HR))

22.4 Geometrija i proračunske vrijednosti parametara tla

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.2 Proračunske vrijednosti geotehničkih parametara)

Nepredviđeni iskop – prema normi — $\Delta a_{norma} = \min(0{,}10 \cdot (H - z_a); 0{,}5\ m)$ — **Δa_{norma} = 0,45 m**

$\Delta a_{norma} = \min(0{,}10 \cdot (6{,}00 - 1{,}50); 0{,}50)$

(HRN EN 1997-1:2012, 9.3.2.2 Površine temeljnoga tla, stavak (2))

Nepredviđeni iskop – usvojeno; Δ a — **Δ a = 0,00 m**

(HRN EN 1997-1:2012, 9.3.2.2(3)/(4)) – vrijednost unio korisnik – izvor: test – razina dna pouzdano kontrolirana, 9.3.2.2(3)

Proračunska kota dna iskopa (pasivna strana) — $H_d = H + \Delta a$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.3)] — **H_d = 6,00 m**

6,00 + 0,00

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.3 Proračunske vrijednosti geometrijskih podataka)

Karakteristične vrijednosti parametara tla — odabire projektant kao opreznu procjenu na temelju izvedenih vrijednosti iz istražnih radova

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.5.2; HRN EN 1997-2:2012, 1.6 Rezultati ispitivanja i izvedene vrijednosti)

Sloj "Pijesak": ϕ_{cv} nije zadan – kontrola $\delta \le 2/3 \cdot \phi_{cv}$ provedena s ϕ'_k (pretpostavka projektanta) (HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1 Općenito, stavak (6)).

Sloj "Glina (drenirano)": ϕ_{cv} nije zadan – kontrola $\delta \le 2/3 \cdot \phi_{cv}$ provedena s ϕ'_k (pretpostavka projektanta) (HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1 Općenito, stavak (6)).

22.4.1 Proračunske vrijednosti parametara tla – GSN – PP3 (A2 + M2 + R3)

Sloj	Stanje	ϕ'_k [°]	ϕ'_d [°]	c'_d / $c_{u,d}$ [kPa]	$\delta_{a,d}$ [°]	$\delta_{p,d}$ [°]	γ_d [kN/m³]	$\gamma_{sat,d}$ [kN/m³]
Pijesak	drenirano	32,0	26,56	0,00	16,23	12,92	18,00	20,00
Glina (drenirano)	drenirano	26,0	21,32	6,40	13,74	10,46	19,00	20,00

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.2) [HRN EN 1997-1, izraz (2.2)]

22.4.2 Sloj 1: Pijesak

Proračunski kut unutarnjeg trenja

$\phi'_d = \arctan(\tan \phi'_k / \gamma_{\phi'})$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.2)]

$\phi'_d = \arctan(\tan 32{,}0° / 1{,}25)$

ϕ'_d = 26,56 °

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.2)

Proračunski kut trenja stijena–tlo, aktivno

$\delta_{a,d} = \arctan(\tan \delta_{a,k} / \gamma_{\phi'})$

$\delta_{a,d} = \arctan(\tan 20{,}0° / 1{,}25)$

$\delta_{a,d}$ = 16,23 °

(HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1(5), (6))

Proračunski kut trenja stijena–tlo, pasivno

$\delta_{p,d} = \arctan(\tan \delta_{p,k} / \gamma_{\phi'})$

$\delta_{p,d} = \arctan(\tan 16{,}0° / 1{,}25)$

$\delta_{p,d}$ = 12,92 °

(HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1(5), (6))

22.4.3 Sloj 2: Glina (drenirano)

Proračunski kut unutarnjeg trenja

$\phi'_d = \arctan(\tan \phi'_k / \gamma_{\phi'})$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.2)]

$\phi'_d = \arctan(\tan 26{,}0° / 1{,}25)$

ϕ'_d = 21,32 °

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.2)

Proračunska efektivna kohezija

$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.2)]

$c'_d = 8{,}00 / 1{,}25$

c'_d = 6,40 kPa

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.6.2)

Proračunski kut trenja stijena–tlo, aktivno

$\delta_{a,d} = \arctan(\tan \delta_{a,k} / \gamma_{\phi'})$

$\delta_{a,d} = \arctan(\tan 17{,}0° / 1{,}25)$

$\delta_{a,d}$ = 13,74 °

(HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1(5), (6))

Proračunski kut trenja stijena–tlo, pasivno

$\delta_{p,d} = \arctan(\tan \delta_{p,k} / \gamma_{\phi'})$

$\delta_{p,d} = \arctan(\tan 13{,}0° / 1{,}25)$

$\delta_{p,d}$ = 10,46 °

(HRN EN 1997-1:2012, 9.5.1(5), (6))

22.5 Koeficijenti tlaka tla (Dodatak C, C.2 – analitički postupak)

(HRN EN 1997-1:2012, Dodatak C, C.2 Analitički postupak za određivanje graničnih aktivnih i pasivnih tlakova tla)

22.5.1 Sloj 1: Pijesak

Aktivno: kut m_t (rubni uvjet na površini)

$\cos(2m_t + \phi + \beta_0) = -\sin \beta_0 / \sin \phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.3)]

$\phi = -26{,}56°$, $\beta_0 = \beta = 0{,}0°$

m_t = 58,280 °

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(7))

Aktivno: kut m_w (rubni uvjet na zidu)

$\cos(2m_w + \phi + \delta) = \sin \delta / \sin \phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.4)]

$\phi = -26{,}56°$, $\delta = -16{,}23°$

m_w = 47,048 °

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(8))

Rotacija tangente klizne linije

$v = m_t + \beta - m_w - \theta$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.5)]

$58{,}280 + 0{,}0 - (47{,}048) - 0$

v = 11,232 °

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(9))

Koeficijent okomitog opterećenja

$K_n = [1 + \sin \phi \cdot \sin(2m_w + \phi)] / [1 - \sin \phi \cdot \sin(2m_t + \phi)] \cdot \exp(2v \cdot \tan \phi)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.6)]

K_n = 0,3333

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(10))

Koeficijent težine tla (vodoravna komponenta, θ = 0)	$K_a = K_\gamma = K_n \cdot \cos\beta \cdot \cos(\beta - \theta)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.9)] $K_a = 0{,}3333 \cdot \cos 0{,}0° \cdot \cos 0{,}0°$	**K_a = 0,3333**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(12)); $K_q = K_n \cdot \cos^2\vartheta = K_\gamma$ za $\vartheta = 0$ [izraz (C.7)]

Pasivno: kut m_t (rubni uvjet na površini)	$\cos(2m_t + \phi + \beta_0) = -\sin\beta_0 / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.3)] $\phi = 26{,}56°$, $\beta_0 = \beta = 0{,}0°$	**m_t = 31,720 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(7))

Pasivno: kut m_w (rubni uvjet na zidu)	$\cos(2m_w + \phi + \delta) = \sin\delta / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.4)] $\phi = 26{,}56°$, $\delta = 12{,}92°$	**m_w = 10,258 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(8))

Rotacija tangente klizne linije	$v = m_t + \beta - m_w - \theta$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.5)] $31{,}720 + 0{,}0 - (10{,}258) - 0$	**v = 21,461 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(9))

Koeficijent okomitog opterećenja	$K_n = [1 + \sin\phi \cdot \sin(2m_w + \phi)] / [1 - \sin\phi \cdot \sin(2m_t + \phi)] \cdot \exp(2v \cdot \tan\phi)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.6)]	**K_n = 3,4917**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(10))

Koeficijent težine tla (vodoravna komponenta, θ = 0)	$K_p = K_\gamma = K_n \cdot \cos\beta \cdot \cos(\beta - \theta)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.9)] $K_p = 3{,}4917 \cdot \cos 0{,}0° \cdot \cos 0{,}0°$	**K_p = 3,4917**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(12)); $K_q = K_n \cdot \cos^2\vartheta = K_\gamma$ za $\vartheta = 0$ [izraz (C.7)]

Koeficijenti kohezije	$K_{ac} = 2 \cdot \sqrt{K_a}$; $K_{pc} = 2 \cdot \sqrt{K_p}$ [HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, izrazi (C.1)(HR), (C.2)(HR)] $2 \cdot \sqrt{0{,}3333}$; $2 \cdot \sqrt{3{,}4917}$	K_{ac} = 1,1547 ; K_{pc} = 3,7372

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak C)

22.5.2 Sloj 2: Glina (drenirano)

Aktivno: kut m_t (rubni uvjet na površini)	$\cos(2m_t + \phi + \beta_0) = -\sin\beta_0 / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.3)] $\phi = -21{,}32°$, $\beta_0 = \beta = 0{,}0°$	**m_t = 55,658 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(7))

Aktivno: kut m_w (rubni uvjet na zidu)	$\cos(2m_w + \phi + \delta) = \sin\delta / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.4)] $\phi = -21{,}32°$, $\delta = -13{,}74°$	**m_w = 42,123 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(8))

Rotacija tangente klizne linije	$v = m_t + \beta - m_w - \theta$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.5)] $55{,}658 + 0{,}0 - (42{,}123) - 0$	**v = 13,535 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(9))

Koeficijent okomitog opterećenja	$K_n = [1 + \sin\phi \cdot \sin(2m_w + \phi)] / [1 - \sin\phi \cdot \sin(2m_t + \phi)] \cdot \exp(2v \cdot \tan\phi)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.6)]	**K_n = 0,4125**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(10))

Koeficijent težine tla (vodoravna komponenta, θ = 0)	$K_a = K_\gamma = K_n \cdot \cos\beta \cdot \cos(\beta - \theta)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.9)] $K_a = 0{,}4125 \cdot \cos 0{,}0° \cdot \cos 0{,}0°$	**K_a = 0,4125**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(12)); $K_q = K_n \cdot \cos^2\vartheta = K_\gamma$ za $\vartheta = 0$ [izraz (C.7)]

Pasivno: kut m_t (rubni uvjet na površini)	$\cos(2m_t + \phi + \beta_0) = -\sin\beta_0 / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.3)] $\phi = 21{,}32°$, $\beta_0 = \beta = 0{,}0°$	**m_t = 34,342 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(7))

Pasivno: kut m_w (rubni uvjet na zidu)	$\cos(2m_w + \phi + \delta) = \sin\delta / \sin\phi$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.4)] $\phi = 21{,}32°, \delta = 10{,}46°$	**m_w = 14,122 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(8))

Rotacija tangente klizne linije	$v = m_t + \beta - m_w - \theta$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.5)] $34{,}342 + 0{,}0 - (14{,}122) - 0$	**v = 20,221 °**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(9))

Koeficijent okomitog opterećenja	$K_n = [1 + \sin\phi \cdot \sin(2m_w + \phi)] / [1 - \sin\phi \cdot \sin(2m_t + \phi)] \cdot \exp(2v \cdot \tan\phi)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.6)]	**K_n = 2,6417**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(10))

Koeficijent težine tla (vodoravna komponenta, θ = 0)	$K_p = K_\gamma = K_n \cdot \cos\beta \cdot \cos(\beta - \theta)$ [HRN EN 1997-1, izraz (C.9)] $K_p = 2{,}6417 \cdot \cos 0{,}0° \cdot \cos 0{,}0°$	**K_p = 2,6417**

(HRN EN 1997-1:2012, C.2(12)); $K_q = K_n \cdot \cos^2\vartheta = K_\gamma$ za $\vartheta = 0$ [izraz (C.7)]

Koeficijenti kohezije	$K_{ac} = 2 \cdot \sqrt{K_a}$; $K_{pc} = 2 \cdot \sqrt{K_p}$ [HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, izrazi (C.1)(HR), (C.2)(HR)] $2 \cdot \sqrt{0{,}4125}$; $2 \cdot \sqrt{2{,}6417}$	K_{ac} = 1,2845 ; K_{pc} = 3,2506

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak C)

22.5.3 Sažetak koeficijenata tlaka

Sloj	K_a	K_p	K_{ac}	K_{pc}
Pijesak	0,3333	3,4917	1,1547	3,7372
Glina (drenirano)	0,4125	2,6417	1,2845	3,2506

(HRN EN 1997-1:2012, Dodatak C)

22.6 Raspodjela tlakova tla i vode

(HRN EN 1997-1:2012, 9.5 Tlakovi tla; 9.6 Tlakovi vode; Dodatak C)

Proračunsko jednoliko opterećenje terena	$q_d = \gamma_G \cdot q_{G,k} + \gamma_Q \cdot q_{Q,k}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.1a)] $1{,}00 \cdot 5{,}00 + 1{,}30 \cdot 10{,}00$	**q_d = 18,00 kPa**

(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.3(HR))

Zapreminska težina vode; γ_w **γ_w = 10,00 kN/m³**

(HRN EN 1991-1-1:2012, Dodatak A, tablica A.10 – voda, slatka)

Aktivni tlak (drenirano)	$\sigma_a(z) = K_a \cdot [\sigma'_v(z) + q] + u(z) - 2c' \cdot \sqrt{K_a}$; efektivni dio ≥ 0 [HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, izraz (C.1)(HR)]	

(HRN EN 1997-1:2012, Dodatak C, C.1)

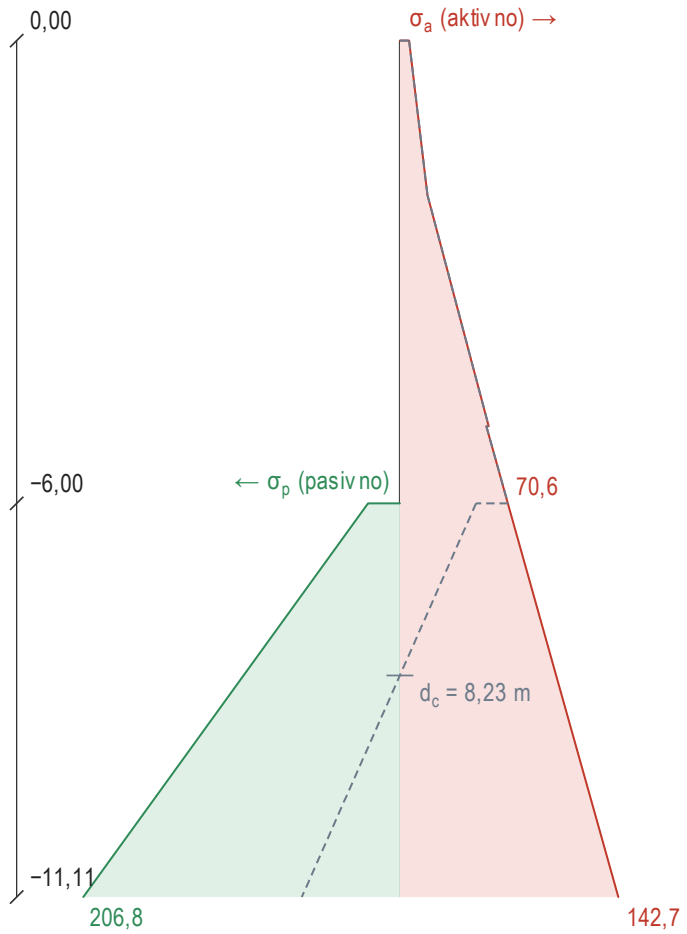
Pasivni tlak (drenirano)	$\sigma_p(z) = K_p \cdot \sigma'_v(z) + u(z) + 2c' \cdot \sqrt{K_p}$ [HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, izraz (C.2)(HR)]	

(HRN EN 1997-1:2012, Dodatak C, C.1)

22.6.1 Tlakovi po kotama (vrijednost iznad / ispod kote)

z [m]	σ_a [kPa]	σ_p [kPa]	σ_{neto} [kPa]
0,000	0,00 / 6,00	0,00	0,00 / 6,00
2,000	18,00	0,00	18,00
5,000	58,00 / 56,43	0,00	58,00 / 56,43
6,000	70,56	0,00 / 20,80	70,56 / 49,75
8,232	102,08	102,08	0,00
11,106	142,68	206,75	−64,07

(HRN EN 1997-1:2012, Dodatak C)



DIJAGRAM TLAKOVA – GSN (kPa)

Slika: Dijagram tlakova tla i vode – GSN

22.7 Statička analiza: Stijena sa sidrom – slobodno oslonjena u tlu

(HRN EN 1997-1:2012, 9.7 Proračun graničnog stanja nosivosti; 9.7.4 Rotacijski slom zagatnih stijena)

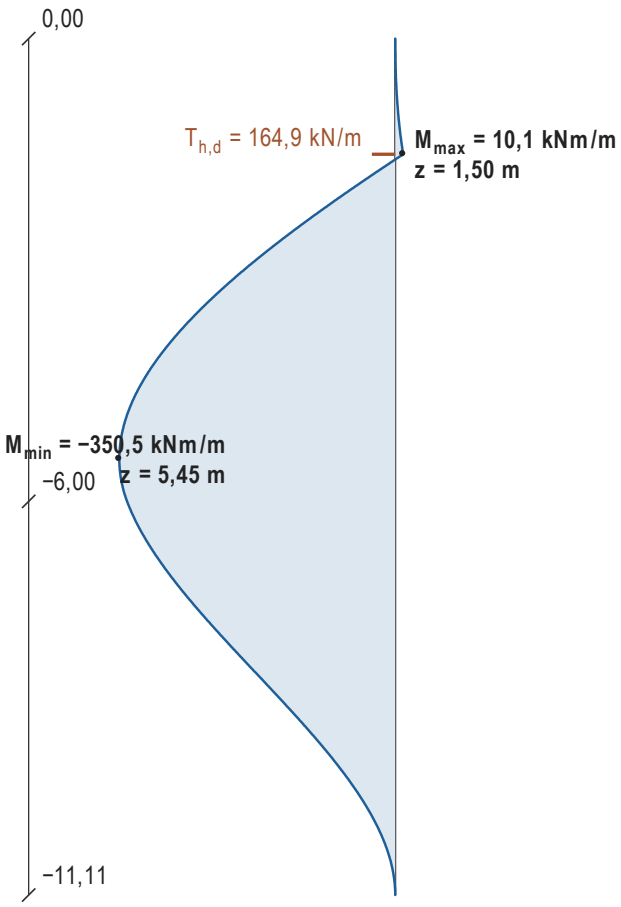
Uvjet ravnoteže momenata oko sidra (iteracija)	$\int_0^d \sigma_{neto}(z)\cdot(z - z_a)\,dz = 0$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.5)] z_a = 1,50 m	**11,106 m**
(HRN EN 1997-1:2012, 9.7.4)		
Vodoravna sila u sidru (Σ H = 0)	$T_{h,d} = \int_0^d \sigma_{neto}\,dz$	**$T_{h,d}$ = 164,93 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012, 9.7.4)		
Potrebna duljina	$L_{pot} = d\cdot(1 + k)$ 11,106·(1 + 0,00)	**L_{pot} = 11,106 m**
parcijalni koeficijenti već uključeni – bez dodatka		
Duljina žmurja – $L_{pot} \leq L$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.5)] 11,11 m ≤ 12,50 m *(HRN EN 1997-1:2012, 9.7.4)*		**ZADOVOLJAVA** iskoristivost 88,8 %

22.8 Unutarnje sile u žmurju (GSN)

(HRN EN 1997-1:2012, 9.7.6 Konstrukcijski slom potpornih konstrukcija; 2.4.7.3.2 [izraz (2.6a)])

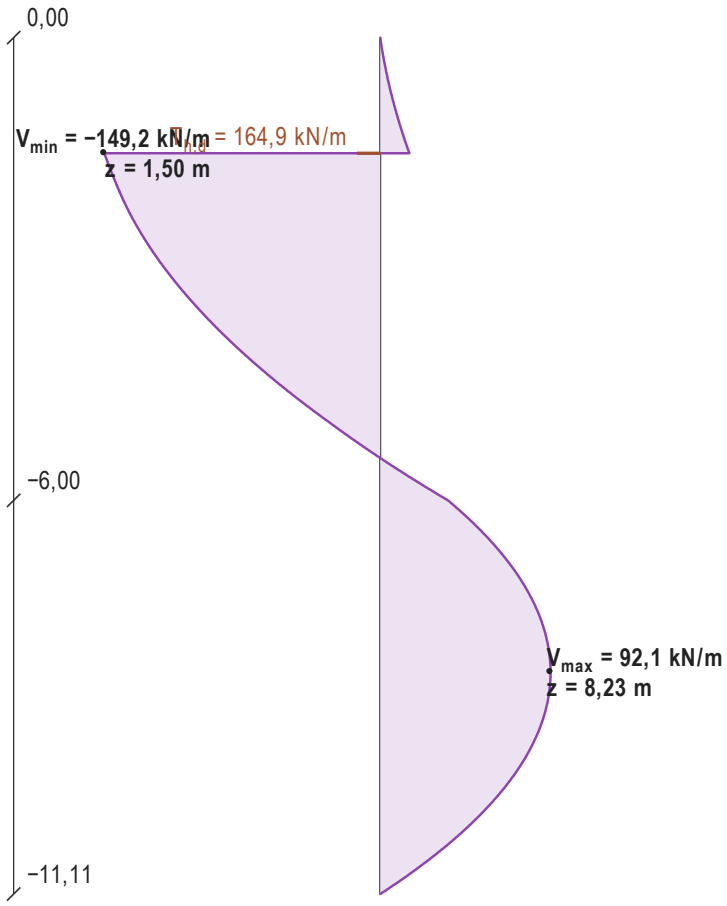
U PP3 su unutarnje sile proračunske vrijednosti iz analize s proračunskim parametrima tla i djelovanjima skupine A2 [HRN EN 1997-1, izraz (2.6a)]. Raspodjela tlakova je granična (puna aktivna i pasivna) do dubine ravnoteže; ispod nje djeluje sila C.

Najveći moment savijanja; M_{Ed}	na dubini z = 5,452 m	**M_{Ed} = 350,46 kNm/m**
Najveća poprečna sila; V_{Ed}	na dubini z = 1,500 m	**V_{Ed} = 149,18 kN/m**



MOMENTI SAVIJANJA – GSN (kNm/m)

Slika: Dijagram momenata savijanja – GSN



POPREČNE SILE – GSN (kN/m)

Slika: Dijagram poprečnih sila – GSN

22.9 Sidro

(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5 Proračun graničnih stanja sidara)

Karakteristična sila u sidru (stalno + promjenjivo, γ = 1,0, M1, bez Δ a); $F_{Serv;k,h}$	[HRN EN 1990, izraz (6.14b)]	**$F_{Serv;k,h}$ = 112,12 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.8; NA:2016, 2.1.14)		
Karakteristična sila u sidru – samo stalno; $F_{G;k,h}$		**$F_{G;k,h}$ = 96,85 kN/m**
Udio promjenjivog djelovanja	$F_{Q;k,h} = F_{Serv;k,h} - F_{G;k,h}$ $F_{Q;k,h} = 112,12 - 96,85$	**$F_{Q;k,h}$ = 15,27 kN/m**
Proračunska sila u sidru – PP3 (iz analize stijene); $F_{ULS;d,PP3}$	[HRN EN 1997-1, izraz (2.6a)]	**$F_{ULS;d,PP3}$ = 164,93 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.3.4.4)		
Proračunska sila u sidru – PP2 (koeficijenti na učinke)	$F_{ULS;d,PP2} = \gamma_G \cdot F_{G;k} + \gamma_Q \cdot F_{Q;k}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.6b)] $F_{ULS;d,PP2} = 1,35 \cdot 96,85 + 1,50 \cdot 15,27$	**$F_{ULS;d,PP2}$ = 153,65 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.3.4.3); (HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.3(HR))		

Mjerodavna proračunska sila (stroža)	$F_{ULS;d,h} = \max(F_{ULS;d,PP3}; F_{ULS;d,PP2})$	**$F_{ULS;d,h}$ = 164,93 kN/m**
Proračunska uporabna sila	$F_{Serv;d,h} = \gamma_{Serv} \cdot F_{Serv;k}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.3)] $F_{Serv;d,h} = 1,35 \cdot 112,12$	**$F_{Serv;d,h}$ = 151,36 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.18(HR))		
Proračunska vrijednost učinka djelovanja (po m)	$E_{ULS;d,h} = \max(F_{ULS;d}; F_{Serv;d})$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.2)]	**$E_{ULS;d,h}$ = 164,93 kN/m**
(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.1)		
Sila po sidru (u osi sidra)	$E_{ULS;d} = E_{ULS;d,h} \cdot s / \cos \alpha$ $E_{ULS;d} = 164,93 \cdot 2,50 / \cos 15,0°$	**$E_{ULS;d}$ = 426,87 kN**
Karakteristična sila po sidru	$F_{Serv;k} = F_{Serv;k,h} \cdot s / \cos \alpha$ $F_{Serv;k} = 112,12 \cdot 2,50 / \cos 15,0°$	**$F_{Serv;k}$ = 290,19 kN**
Vertikalna komponenta sile sidra (uzdužna sila u žmurju)	$N_{Ed} = E_{ULS;d,h} \cdot \tan \alpha$ $N_{Ed} = 164,93 \cdot \tan 15,0°$	**N_{Ed} = 44,19 kN/m**
(HRN EN 1993-5:2014, 7.2.3(7))		

22.9.1 Geotehnička otpornost sidra (GSN)

(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.2)

Mjerena (očekivana) otpornost sidra – najmanja; $(R_{ULS;m})_{min}$	[HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.5)]	**$(R_{ULS;m})_{min}$ = 750,00 kN**
vrijednost unio korisnik – izvor: test – očekivana otpornost prema geotehničkom elaboratu (HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.2(2); HRN EN ISO 22477-5)		
Karakteristična otpornost	$R_{ULS;k} = (R_{ULS;m})_{min} / \xi_{ULS}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.6)] $R_{ULS;k} = 750,00 / 1,00$	**$R_{ULS;k}$ = 750,00 kN**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.20(HR)), metoda ispitivanja 1		
Proračunska otpornost	$R_{ULS;d} = R_{ULS;k} / \gamma_{a;ULS}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.7)] $R_{ULS;d} = 750,00 / 1,10$	**$R_{ULS;d}$ = 681,82 kN**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.19(HR)), PP2 (R2)		

Geotehnička otpornost sidra – $E_{ULS;d} \leq R_{ULS;d}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.1)] **ZADOVOLJAVA**

426,87 kN ≤ 681,82 kN iskoristivost 62,6 %

(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.1)

Minimalni broj istražnih ispitivanja i ispitivanja prikladnosti: n = 3 (metoda 1) (HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.20(HR)).

22.9.2 Konstrukcijska otpornost natege

(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.4; HRN EN 1993-5:2014, 7.2.3)

Proračunska otpornost natege (kabel); $R_{t;d}$		**$R_{t;d}$ = 900,00 kN**
vrijednost unio korisnik – izvor: test – 4 užeta, podaci proizvođača (HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.4(1),(3))		

Konstrukcijska otpornost natege – $E_{ULS;d} \leq R_{t;d}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.11)] **ZADOVOLJAVA**

426,87 kN ≤ 900,00 kN iskoristivost 47,4 %

(HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.5.4)

Pokusno opterećenje u ispitivanju prihvatljivosti	$P_p \geq \gamma_{a;acc;ULS} \cdot E_{ULS;d}$ [HRN EN 1997-1/A1, izraz (8.13)] $1,10 \cdot 426,87$	**P_p = 469,56 kN**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.20(HR))		

Ispitivanja sidara provode se prema HRN EN ISO 22477-5; sva injektirana sidra podvrgavaju se ispitivanju prihvatljivosti (HRN EN 1997-1:2012/A1:2014, 8.6.2(1)P). Granični kriteriji: tablica A.21(HR).

22.9.3 Razdjelna (naglavna) greda

(HRN EN 1993-5:2014, 7.3)

Čelik grede S355, najveća debljina t = 16,0 mm; $f_{y,g}$		**$f_{y,g}$ = 355 MPa**

(HRN EN 10025-2:2019, Table 6)

Moment savijanja grede	$M_{Ed,g} = E_{ULS;d,h} \cdot s^2 / k_M$ $M_{Ed,g} = 164{,}93 \cdot 2{,}50^2 / 10{,}0$	**$M_{Ed,g}$ = 103,08 kNm**

koeficijent k_M – vrijednost unio korisnik – izvor: test – kontinuirana greda, projektantska pretpostavka

Otpornost grede na savijanje (1. ili 2. razred)	$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ [HRN EN 1993-1-1, izraz (6.13)] 1000·355 / 1,00 / 1000	**$M_{c,Rd,g}$ = 355,00 kNm**

(HRN EN 1993-5:2014, 7.3(3); HRN EN 1993-1-1:2014, 6.2.5(2)); f_y (HRN EN 10025-2:2019, Table 6); razred presjeka grede pretpostavljen 1. ili 2. (provjeriti za odabrani profil)

Razdjelna greda – savijanje – $M_{Ed,g} \leq M_{c,Rd,g}$	**ZADOVOLJAVA**
103,08 kNm ≤ 355,00 kNm	iskoristivost 29,0 %

(HRN EN 1993-5:2014, 7.3)

22.10 Provjera presjeka žmurja

(HRN EN 1993-5:2014, 5 Granična stanja nosivosti)

Čelik žmurja S355GP; f_y		**f_y = 355 MPa**

(HRN EN 1993-5:2014, 3.3 Toplo valjano čelično žmurje, tablica 3.1(N))

Parcijalni koeficijenti	γ_{M0} = 1,00 ; γ_{M1} = 1,10 ; γ_{M2} = 1,25

(HRN EN 1993-1-1:2014/NA:2015, 2.14, točka 6.1(1) NAPOMENA 2 – na koju upućuje HRN EN 1993-5:2014/NA:2014, 2.4)

Profil	AU 25 (testni podaci) (oblik Z); b = 750 mm, h = 450 mm, t_f = 14,5 mm, t_w = 10,2 mm, α = 54,8°

svojstva profila – vrijednost unio korisnik – izvor: h, tf, tw, b, α , Wpl: priloženi Tedds ispis (Analysis and Design of sheet piles); A, I, Wel, bf: ilustrativni testni podaci

22.10.1 Smanjenje debljine zbog korozije

(HRN EN 1993-5:2014, 4.4 Brzine korozije za proračun, tablice 4.1(N) i 4.2(N); HRN EN 1993-5:2014/NA:2014, 2.3)

Proračunski vijek		**2 god.**

(HRN EN 1990:2011/NA:2011, tablica A1.1(HR)); vijek < 5 god. → stupac 5 god. (odluka korisnika)

Strana tla iza stijene: neporemećena prirodna tla (pijesak, prah, glina, škriljac …), stupac 5 god.; Δt_1		**Δt_1 = 0,00 mm**
Strana iskopa: neporemećena prirodna tla (pijesak, prah, glina, škriljac …), stupac 5 god.; Δt_2		**Δt_2 = 0,00 mm**
Ukupno smanjenje debljine	$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ $\Delta t = 0{,}00 + 0{,}00$	**Δt = 0,00 mm**

(HRN EN 1993-5:2014, 4.3(1) – brzine se primjenjuju na svaku stranu)

Svojstva nakon korozije	t_f = 14,50 mm; t_w = 10,20 mm; A = 187,0 cm^2/m; I = 56 240 cm^4/m; W_{el} = 2500 cm^3/m; W_{pl} = 2866 cm^3/m

Korozijski gubitak primijenjen je na cijelu duljinu (na mjestu najvećeg momenta) – na strani sigurnosti (HRN EN 1993-5:2014, 4.3).

22.10.2 Razredba poprečnog presjeka

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.1, tablica 5.1 Razredba poprečnih presjeka)

Koeficijent	$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)}$ $\varepsilon = \sqrt{(235 / 355)}$	**ε = 0,814**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.1, tablica 5.1 Razredba poprečnih presjeka)

Vitkost pojasnice	$b/t_f = b_f / t_{f,red}$ $b/t_f = 300,0 / 14,50$	**b/t_f = 20,69**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.1, tablica 5.1 Razredba poprečnih presjeka)

Granice	2. razred: 45·ε = 36,61 ; 3. razred: 66·ε = 53,70	
Razred poprečnog presjeka	2 (1. razred se ne koristi – kontrola rotacije prema Dodatku C nije provedena)	

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.1, tablica 5.1 Razredba poprečnih presjeka)

Faktori smanjenja zbog prijenosa posmika u kopčama	$\beta_B = 1,00$; $\beta_D = 1,00$	

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(2) – β_B = 1,0 za profile oblika Z i trostruke U)

22.10.3 Otpornost na savijanje

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2 Žmurje opterećeno savijanjem i poprečnom silom)

Proračunski moment otpornosti	$M_{c,Rd} = \beta_B \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.2)] $M_{c,Rd} = 1,00 \cdot 2866 \cdot 355 / 1,00 / 1000$	**$M_{c,Rd}$ = 1017,43 kNm/m**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(2))

Savijanje – $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.1)] **ZADOVOLJAVA**

350,46 kNm/m ≤ 1017,43 kNm/m iskoristivost 34,4 %

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(1))

22.10.4 Otpornost na poprečnu silu

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(3)–(9))

Projicirana posmična ploština hrpta	$A_v = t_w \cdot (h - t_f)$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.6)] $A_v = 10,20 \cdot (450 - 14,50)$	**A_v = 4442 mm²**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(5), slika 5.1)

Plastična posmična otpornost (po m, jedan hrbat na širini b)	$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) / b$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.5)] $V_{pl,Rd} = 4442 \cdot 355 / (\sqrt{3} \cdot 1,00) / 750$	**$V_{pl,Rd}$ = 1213,93 kN/m**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(4))

Kosa visina hrpta	$c = (h - t_f) / \sin \alpha$ $c = (450 - 14,50) / \sin 54,8°$	**c = 533,0 mm**

(HRN EN 1993-5:2014, slika 5.1)

Kriterij posmičnog izbočavanja hrpta	$c / t_w \leq 72 \cdot \varepsilon$ 52,25 ≤ 58,58	nije potrebna provjera izbočavanja

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(6))

Poprečna sila – $V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.4)] **ZADOVOLJAVA**

149,18 kN/m ≤ 1213,93 kN/m iskoristivost 12,3 %

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(4))

Interakcija M–V	$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ 149,18 ≤ 606,97	smanjenje $M_{c,Rd}$ nije potrebno

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.2(8))

22.10.5 Uzdužna sila i izvijanje

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3 Žmurje opterećeno savijanjem, poprečnom i osnom silom)

Plastična otpornost na uzdužnu silu	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.16)] $N_{pl,Rd} = 187,0 \cdot 100 \cdot 355 / 1,00 / 1000$	**$N_{pl,Rd}$ = 6638,50 kN/m**

(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(9))

Uzdužna sila – $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.15)] 44,19 kN/m ≤ 6638,50 kN/m *(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(9))*		**ZADOVOLJAVA** iskoristivost 0,7 %
Utjecaj uzdužne sile na moment otpornosti	$N_{Ed} / N_{pl,Rd} \leq 0,10$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.17)] 0,0067 ≤ 0,10	smije se zanemariti
(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(10))		
Duljina izvijanja	$\ell = d - z_a$ $\ell = 11,106 - 1,50$	**ℓ = 9,606 m**
(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(5), slike 5.2 i 5.3)		
Elastično kritično opterećenje	$N_{cr} = E \cdot I \cdot \beta_D \cdot \pi^2 / \ell^2$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.12)] $N_{cr} = 210\,000 \cdot 10^3 \cdot 56\,240 \cdot 10^{-8} \cdot 1,00 \cdot \pi^2 / 9,606^2$	**N_{cr} = 12 632,00 kN/m**
(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(2)); E (HRN EN 1993-1-1:2014, 3.2.6(1))		
Izvijanje	$N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,04$ [HRN EN 1993-5, izraz (5.11)] 0,0035 ≤ 0,04	izvijanje se ne uzima u obzir
(HRN EN 1993-5:2014, 5.2.3(1))		

22.11 Hidraulički slom tla dna jame (HYD) i vertikalna ravnoteža

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.5; 10.3 Slom prouzročen hidrauličkim izdizanjem tla)

Razlika razina vode	$\Delta h = d_{w,p} - d_{w,a}$ $\Delta h = 6,00 - 2,00$	**Δh = 4,00 m**
Prosječni hidraulički gradijent uz stijenu	$i = \Delta h / [(L - d_{w,a}) + (L - H)]$ $i = 4,00 / [(12,500 - 2,00) + (12,500 - 6,00)]$	**i = 0,2353**
pretpostavka linearnog pada potencijala duž najkraće strujnice uz stijenu – projektantska pretpostavka; za točnije rješenje potrebna strujna mreža (HRN EN 1997-1:2012, 10.3(2)P)		
Tlak porne vode na peti (strana iskopa)	$u_{dst;d} = \gamma_{G;dst} \cdot [\gamma_w \cdot (L - d_{w,p}) + \gamma_w \cdot \Delta h \cdot (L - H) / (put_A + put_P)]$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9a)] $u_{dst;d} = 1,35 \cdot [65,00 + 15,29]$	**$u_{dst;d}$ = 108,40 kPa**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.17(HR))		
Ukupno vertikalno naprezanje na peti	$\sigma_{stb;d} = \gamma_{G;stb} \cdot \sigma_v$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9a)] $\sigma_{stb;d} = 0,90 \cdot 130,00$	**$\sigma_{stb;d}$ = 117,00 kPa**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.17(HR))		
HYD – tlakovi i ukupna naprezanja – $u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9a)] 108,40 kPa ≤ 117,00 kPa *(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.5; 10.3)*		**ZADOVOLJAVA** iskoristivost 92,6 %
Sila procjeđivanja u stupcu (po m^2)	$S_{dst;d} = \gamma_{G;dst} \cdot \gamma_w \cdot i \cdot (L - H)$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9b)] $S_{dst;d} = 1,35 \cdot 10,00 \cdot 0,2353 \cdot 6,500$	**$S_{dst;d}$ = 20,65 kN/m²**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.17(HR))		
Uronjena težina stupca (po m^2)	$G'_{stb;d} = \gamma_{G;stb} \cdot \Sigma\gamma' \cdot \Delta z$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9b)] $G'_{stb;d} = 0,90 \cdot 65,00$	**$G'_{stb;d}$ = 58,50 kN/m²**
(HRN EN 1997-1:2012/NA:2016, Dodatak A, tablica A.17(HR))		
HYD – sile procjeđivanja i uronjene težine – $S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$ [HRN EN 1997-1, izraz (2.9b)] 20,65 kN/m² ≤ 58,50 kN/m² *(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.5; 10.3)*		**ZADOVOLJAVA** iskoristivost 35,3 %

Raspodjela tlaka vode u analizi stijene je hidrostatska s obje strane (bez strujanja); utjecaj strujanja na tlakove nije ugrađen (HRN EN 1997-1:2012, 9.6).

Provjera izdizanja (UPL, HRN EN 1997-1:2012, 2.4.7.4 i 10.2) potrebna je ako ispod dna jame postoji slabo propusni sloj s vodom pod tlakom – nije ugrađena.

Vertikalna komponenta sile sidra N_{Ed} = 44,19 kN/m prenosi se u tlo ispod pete; provjera vertikalnog sloma (HRN EN 1997-1:2012, 9.7.5) zahtijeva otpornost na peti i platu – unosi se kao poseban proračun.

22.12 Granično stanje uporabljivosti

(HRN EN 1997-1:2012, 2.4.8; 9.8 Proračun graničnog stanja uporabljivosti)

Metoda granične ravnoteže ne daje pomake. Progib stijene i pomak glave računaju se metodom elastične podloge (dopuna). Dopušteni pomak zadaje projektant (HRN EN 1997-1:2012, 9.8.2).

22.13 Potresna proračunska situacija

(HRN EN 1998-5:2011, 7 Potporne konstrukcije; Dodatak E (normativni) Pojednostavnjeni proračun potpornih konstrukcija)

Potresna proračunska situacija nije uključena – privremena konstrukcija, vijek < 2 god.

(HRN EN 1990:2011/NA:2011, tablica A1.1(HR), napomena (1): proračun na potres smije se izostaviti ako je proračunski vijek kraći od 2 godine)

22.14 Sažetak provjera

Provjera	Uvjet	E_d	R_d	Jed.	Iskor.	Status
Duljina žmurja	$L_{pot} \le L$	11,11	12,50	m	88,8 %	ZADOVOLJAVA
Geotehnička otpornost sidra	$E_{ULS;d} \le R_{ULS;d}$	426,87	681,82	kN	62,6 %	ZADOVOLJAVA
Konstrukcijska otpornost natege	$E_{ULS;d} \le R_{t;d}$	426,87	900,00	kN	47,4 %	ZADOVOLJAVA
Razdjelna greda – savijanje	$M_{Ed,g} \le M_{c,Rd,g}$	103,08	355,00	kNm	29,0 %	ZADOVOLJAVA
Savijanje	$M_{Ed} \le M_{c,Rd}$	350,46	1017,43	kNm/m	34,4 %	ZADOVOLJAVA
Poprečna sila	$V_{Ed} \le V_{pl,Rd}$	149,18	1213,93	kN/m	12,3 %	ZADOVOLJAVA
Uzdužna sila	$N_{Ed} \le N_{pl,Rd}$	44,19	6638,50	kN/m	0,7 %	ZADOVOLJAVA
HYD – tlakovi i ukupna naprezanja	$u_{dst;d} \le \sigma_{stb;d}$	108,40	117,00	kPa	92,6 %	ZADOVOLJAVA
HYD – sile procjeđivanja i uronjene težine	$S_{dst;d} \le G'_{stb;d}$	20,65	58,50	kN/m²	35,3 %	ZADOVOLJAVA

KONAČNI STATUS: SVE PROVJERE ZADOVOLJAVAJU (najveća iskoristivost 92,6 %)

22.15 Napomene, pretpostavke i ograničenja proračuna

22.15.1 Vrijednosti koje je unio korisnik

Veličina	Vrijednost	Jed.	Izvor
Nepredviđeni iskop Δ a	0	m	vrijednost unio korisnik – izvor: test – razina dna pouzdano kontrolirana, 9.3.2.2(3)
Mjerena otpornost sidra $(R_{ULS;m})_{min}$	750	kN	vrijednost unio korisnik – izvor: test – očekivana otpornost prema geotehničkom elaboratu
Proračunska otpornost natege $R_{t;d}$	900	kN	vrijednost unio korisnik – izvor: test – 4 užeta, podaci proizvođača
Koeficijent momenta razdjelne grede k_M	10		vrijednost unio korisnik – izvor: test – kontinuirana greda, projektantska pretpostavka
Svojstva profila AU 25 (testni podaci)	A = 187,0 cm²/m; I = 56 240 cm⁴/m; W_{el} = 2500 cm³/m; W_{pl} = 2866 cm³/m		vrijednost unio korisnik – izvor: h, tf, tw, b, α , Wpl: priloženi Tedds ispis (Analysis and Design of sheet piles); A, I, Wel, bf: ilustrativni testni podaci

22.15.2 Ograničenja programa (SheetPile Designer 1.0)

Metoda granične ravnoteže ne daje pomake; granično stanje uporabljivosti (progib) računa se metodom elastične podloge u dopuni (HRN EN 1997-1:2012, 9.8).

Opća stabilnost i stabilnost sidrenog bloka nisu obuhvaćene – potreban je poseban proračun (HRN EN 1997-1:2012, 9.7.2; 11).

Provjera izdizanja (UPL) i vertikalnog sloma stijene (9.7.5) nisu ugrađene; tlak vode je hidrostatski (bez strujanja oko pete).

Potresna situacija: pseudostatički postupak HRN EN 1998-5:2011, 7.3.2 i Dodatak E (Mononobe–Okabe) samo za drenirane slojeve, c' = 0; opća stabilnost, likvefakcija i stabilnost tla temelja u potresu (7.4.1, 4.1.4) nisu obuhvaćeni.

Spoj grede i žmurja: provjera pojedinačnih vijaka (HRN EN 1993-1-8, tablica 3.4); sile odvajanja (3.11), odsjek oblika T (6.2.4) i proračun podložnih ploča (HRN EN 1993-5, 7.2.3(6)) nisu obuhvaćeni.

Više razina sidara nije obuhvaćeno ovom verzijom programa.

23 Program GabionWall

U fazi testiranja

24 Program RCPile

STATIČKI PRORAČUN ARMIRANOBETONSKOG PILOTA P1

RCPile
REINFORCED CONCRETE PILE DESIGN

Projekt: Primjer - temeljenje na pilotima
Datum: 16.11.2026.
Propisi: HRN EN 1992-1-1:2013 s nacionalnim dodatkom, HRN EN 1536:2015 (bušeni piloti), HRN EN 1997-1 (bočna krutost tla - Winklerov model).

24.1 Ulazni podaci

24.1.1 1.1 Geometrija

Tablica 1: Geometrija pilota

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Promjer pilota	D	100,0 cm
Duljina pilota ispod ploče	L	22,00 m
Ulaz pilota u ploču	e	10,0 cm
Debljina temeljne ploče	h_p	120,0 cm
Zaštitni sloj	c_{nom}	75 mm
Razmak koša od dna	c_{dno}	100 mm
Spoj s pločom		potpuno upet (ϕ = 0)

Prema HRN EN 1992-1-1, 2.3.4.2 za bušene pilote bez trajne obloge proračunski promjer je:

$$D_{calc} = 0{,}95 \cdot D = 95{,}0 \text{ cm}$$

24.1.2 1.2 Materijali

Tablica 2: Svojstva materijala

Veličina	Izraz	Vrijednost
Beton		C30/37
f_{ck}		30,0 MPa
f_{ctm}	$0{,}30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$	2,90 MPa

Veličina	Izraz	Vrijednost
E_{cm}	$22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3}$	32,8 GPa
k_f	EN 1992-1-1, 2.4.2.5	1,10
f_{cd}	$\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / (\gamma_c \cdot k_f)$	18,18 MPa
f_{ctd}	$f_{ctk,0,05} / (\gamma_c \cdot k_f)$	1,23 MPa
Armatura		B500B
f_{yd}	f_{yk} / γ_s	434,8 MPa
E_s		200 GPa
Koef. puzanja	$\phi(\infty,t_0)$	2,00
Dopuštena širina pukotina	w_{max}	0,30 mm

24.1.3 1.3 Tlo

Bočna krutost tla zadana je koeficijentom reakcije podloge k_h, linearno promjenjivim unutar sloja. Dubine su mjerene od donjeg ruba temeljne ploče.

Tablica 3: Slojevi tla

Sloj	Naziv	Dubina [m]	$k_{h,gore}$ [MN/m³]	$k_{h,dolje}$ [MN/m³]
1	Glina meka (CL)	0,00 - 3,00	5,0	10,0
2	Glina srednje krutosti (CI)	3,00 - 8,00	15,0	25,0
3	Šljunak zbijeni (GW)	8,00 - 24,00	40,0	60,0

24.1.4 1.4 Opterećenja na glavi pilota

Sile djeluju na glavi pilota (donji rub ploče). N je pozitivan za tlak. H_x i M_x djeluju u ravnini xz, H_y i M_y u ravnini yz.

Tablica 4: Kombinacije opterećenja

Kombinacija	Vrsta	N [kN]	H_x [kN]	M_x [kNm]	H_y [kN]	M_y [kNm]
GSN 1 - max N	GSN	3500,0	650,0	0,0	0,0	0,0
GSN 2 - min N	GSN	1200,0	500,0	0,0	300,0	0,0
GSU karakteristična	GSU-K	2500,0	420,0	0,0	0,0	0,0
GSU nazovistalna	GSU-NK	2200,0	330,0	0,0	0,0	0,0

24.2 Proračunski model i unutarnje sile

Pilot je modeliran kao greda na elastičnoj podlozi (Winklerov model) s 62 grednih konačnih elemenata (Euler-Bernoulli, Hermiteove funkcije oblika) i konzistentnom matricom krutosti podloge. Krutost opruga po jedinici duljine:

$$k(z) = k_h(z) \cdot D$$

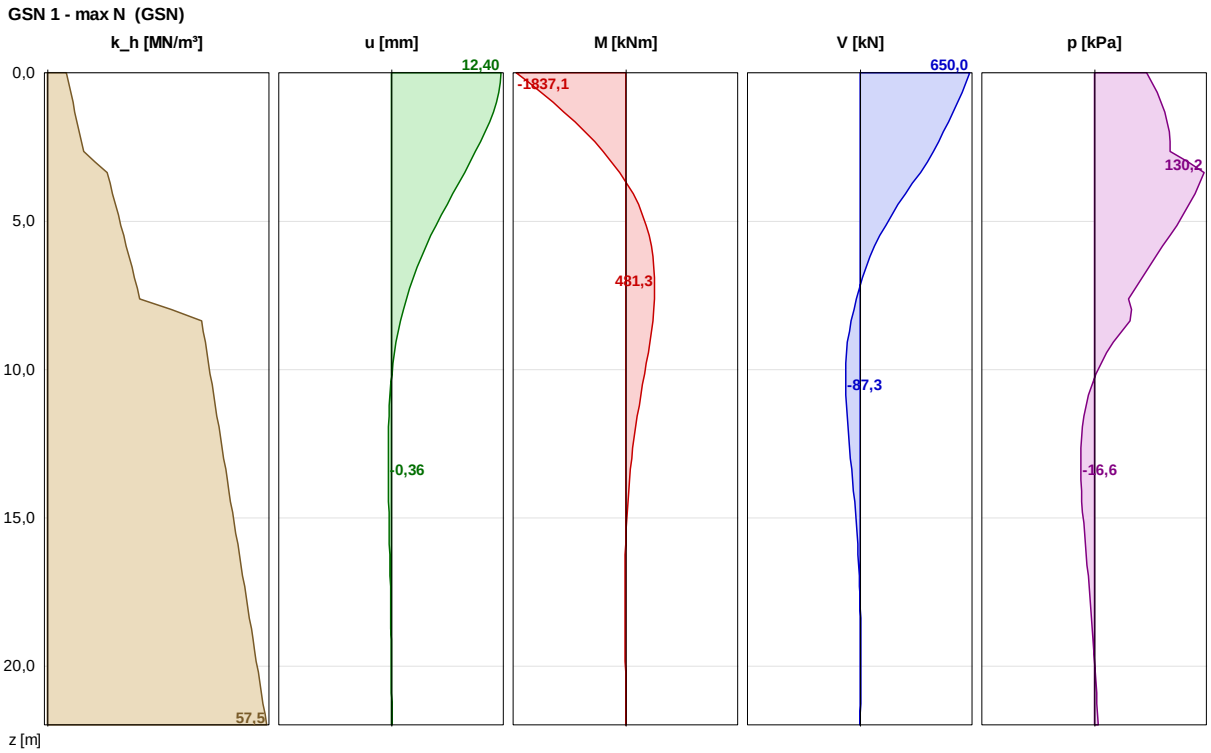
$$EI = 1{,}00 \cdot E_{cm} \cdot \pi \cdot D^4 / 64 = 1611{,}9\ \mathrm{MNm}^2$$

Rubni uvjeti: glava pilota upeta u temeljnu ploču (spriječen zaokret, slobodan pomak), vrh pilota slobodan. Rezultati u ravninama xz i yz zbrajaju se vektorski. Uzdužna sila uzeta je konstantnom po duljini pilota (trenje po plaštu zanemareno).

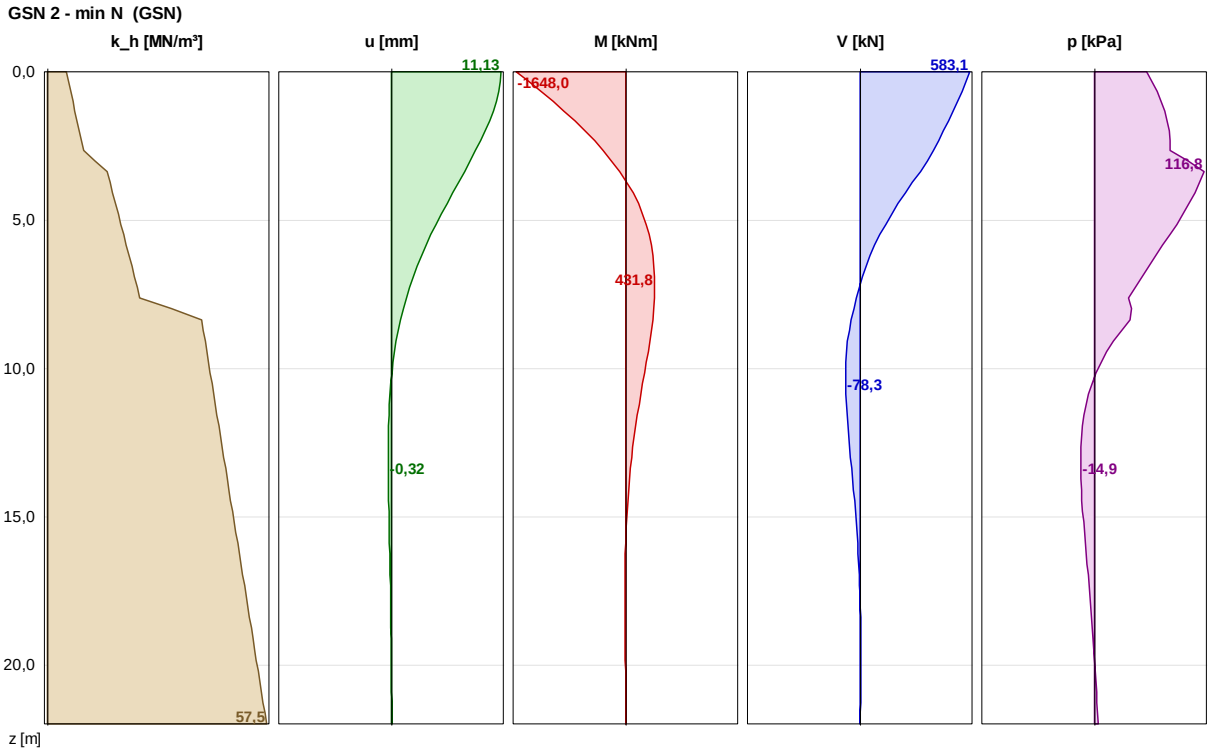
Tablica 5: Pregled rezultata po kombinacijama

Kombinacija	u_0 [mm]	M_0 [kNm]	max|M| [kNm]	z [m]	max|V| [kN]	max p [kPa]
GSN 1 - max N	12,40	1837,1	1837,1	0,00	650,0	130,2
GSN 2 - min N	11,13	1648,0	1648,0	0,00	583,1	116,8
GSU karakteristična	8,01	1187,1	1187,1	0,00	420,0	84,1

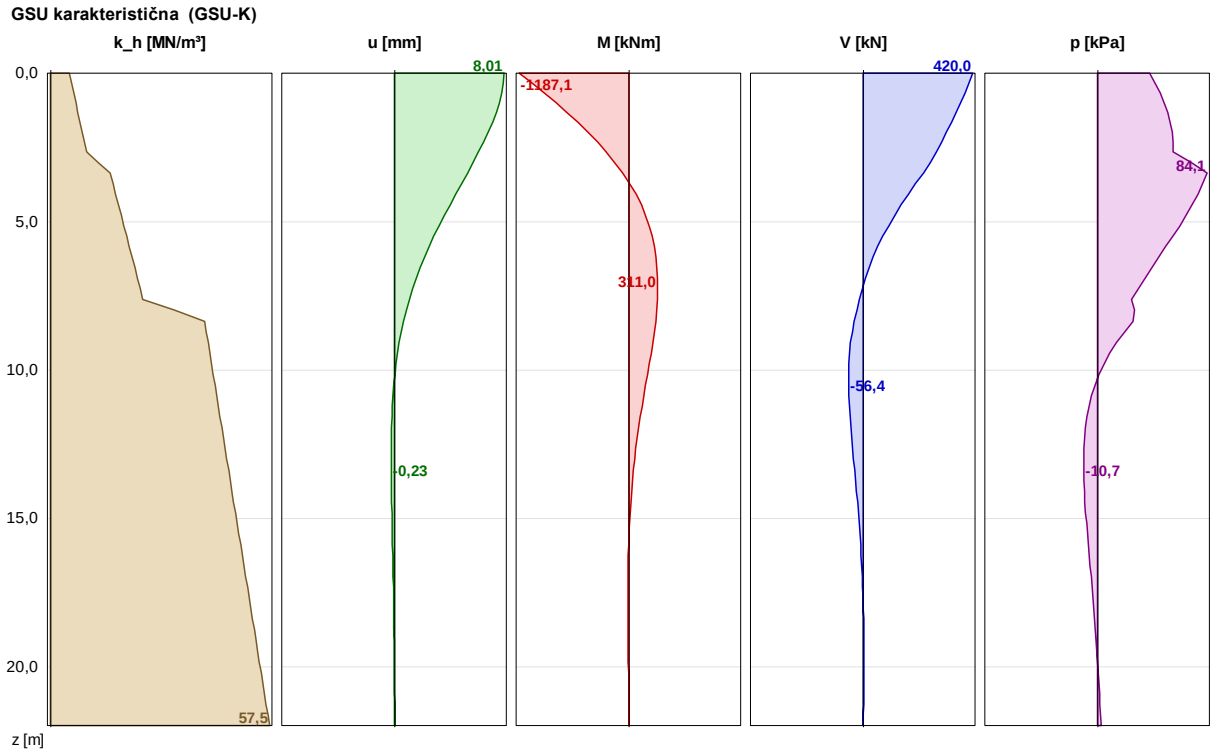
Kombinacija	u_0 [mm]	M_0 [kNm]	max|M| [kNm]	z [m]	max|V| [kN]	max p [kPa]
GSU nazovistalna	6,30	932,7	932,7	0,00	330,0	66,1



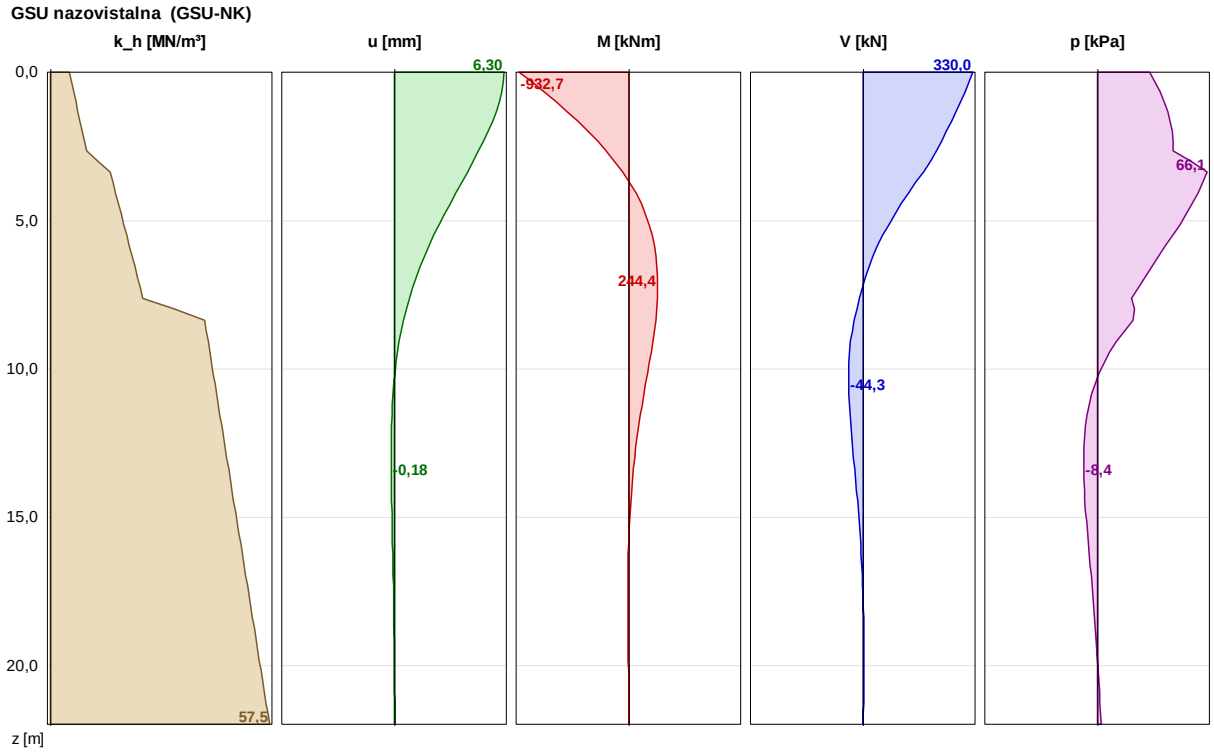
Slika 2.1: k_h, pomak, moment, poprečna sila i reakcija tla - GSN 1 - max N



Slika 2.2: k_h, pomak, moment, poprečna sila i reakcija tla - GSN 2 - min N



Slika 2.3: k_h, pomak, moment, poprečna sila i reakcija tla - GSU karakteristična



Slika 2.4: k_h, pomak, moment, poprečna sila i reakcija tla - GSU nazovistalna

Tablica 6: Unutarnje sile po dubini - GSN 1 - max N

z [m]	u [mm]	M [kNm]	V [kN]	p [kPa]
0,00	12,40	-1837,1	650,0	62,0
1,00	11,90	-1221,5	578,7	79,3
2,00	10,63	-684,6	494,0	88,6
3,00	8,94	-236,1	400,5	111,7

z [m]	u [mm]	M [kNm]	V [kN]	p [kPa]
4,07	6,96	121,6	267,8	119,3
5,14	5,06	343,8	151,1	97,5
5,86	3,92	428,2	87,3	81,1
6,93	2,46	479,8	13,8	56,2
8,00	1,34	466,4	-36,1	43,6
9,08	0,55	404,3	-74,7	22,8
10,15	0,05	315,1	-87,3	2,1
10,87	-0,16	252,7	-85,4	-6,8
11,95	-0,32	166,5	-73,5	-14,3
13,03	-0,36	96,3	-56,5	-16,6
14,10	-0,33	45,0	-38,9	-15,6
14,82	-0,29	21,0	-28,3	-14,0
15,90	-0,22	-2,0	-14,9	-10,8
16,97	-0,15	-12,4	-5,1	-7,5
18,05	-0,08	-14,1	1,3	-4,4
19,13	-0,03	-10,8	4,5	-1,7
19,85	0,00	-7,3	5,1	0,0
20,92	0,04	-2,3	3,8	2,4
22,00	0,08	0,0	0,0	4,7

24.3 Granično stanje nosivosti

24.3.1 3.1 Savijanje s uzdužnom silom

Nosivost okruglog presjeka određena je numeričkom integracijom naprezanja po presjeku (120 traka): beton prema dijagramu parabola-pravokutnik (ε_{c2} = 2,00 ‰, ε_{cu2} = 3,50 ‰), čelik bilinearno s horizontalnom granom. Za svaku kombinaciju traži se ravnina deformacije koja daje $N_{Rd} = N_{Ed}$, a zatim M_{Rd}. Proračun se provodi za dva položaja šipki u odnosu na ravninu savijanja i mjerodavna je manja nosivost.

$$e_0 = \max(D/30;\ 20\ \text{mm}) = 33{,}3\ \text{mm};\quad M_{Ed} \geq N_{Ed} \cdot e_0$$

Minimalna uzdužna armatura prema HRN EN 1536, tablica 5 (A_c = 0,785 m²):

$$A_{s,\min} = 25{,}00\ \text{cm}^2$$

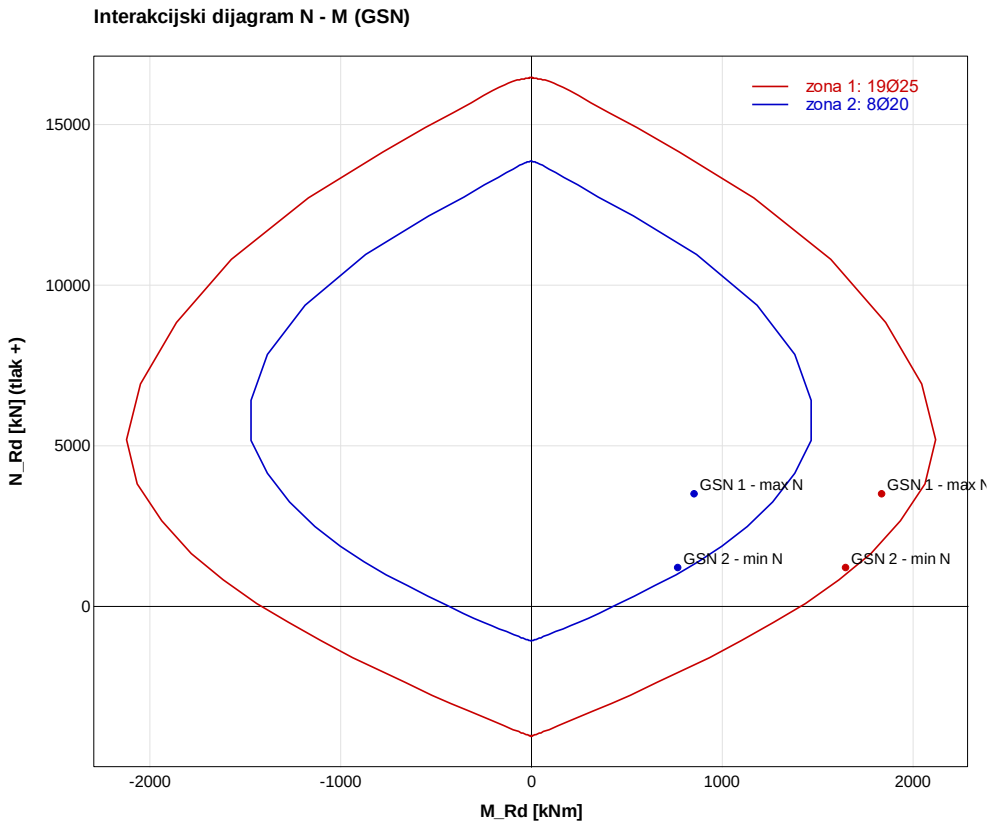
Konstrukcijski uvjeti (HRN EN 1536): najmanje 6 šipki, svijetli razmak ≥ 100 mm, osni razmak ≤ 400 mm.
Odabrana armatura gornje zone (z = 0 - 3,75 m): 19Ø25 (A_s = 93,27 cm²).
Odabrana armatura donje zone: 8Ø20 (A_s = 25,13 cm²). Donja armatura dostatna je ispod dubine z = 1,33 m; gornje šipke produljene su za $a_l + l_{bd}$ i zaokružene.

Tablica 7: Provjera savijanja s uzdužnom silom

Kombinacija	Zona	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	z [m]	M_{Rd} [kNm]	Iskor.	Ocjena
GSN 1 - max N	1	3500,0	1837,1	0,00	2033,9	0,90	zadovoljava
GSN 2 - min N	1	1200,0	1648,0	0,00	1692,6	0,97	zadovoljava
GSN 1 - max N	2	3500,0	854,1	1,67	1302,2	0,66	zadovoljava
GSN 2 - min N	2	1200,0	766,1	1,67	822,6	0,93	zadovoljava

Mjerodavno: GSN 2 - min N, zona 1. Visina tlačnog područja x = 29,3 cm.

$$M_{Ed} = 1648{,}0\ \text{kNm} \leq M_{Rd} = 1692{,}6\ \text{kNm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$



Slika 3.1: Interakcijski dijagram N-M s proračunskim točkama

24.3.2 3.2 Poprečna sila

Poprečna nosivost okruglog presjeka određena je prema HRN EN 1992-1-1, 6.2 s ekvivalentnim pravokutnim presjekom (Feltham, 2004): $b_w = 0{,}9 \cdot D_{calc,}$ $d = D_{calc}/2 + 2 \cdot r_s / \pi$, $z = 0{,}9 \cdot d$. Spirala se računa kao dvorezna spona.

Mjerodavno: GSN 1 - max N, zona 1, $V_{Ed} = 650{,}0$ kN na z = 0,00 m.

$b_w = 85{,}5$ cm; $d = 73{,}3$ cm; $z = 65{,}9$ cm

$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1{,}523$; $\rho_l = (A_s/2)/(b_w \cdot d) = 0{,}0074$; $\sigma_{cp} = 3{,}64$ MPa

$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{(1/3)} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 634{,}6$ kN

$\cot\theta = 2{,}50$; $V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) = 1865{,}9$ kN

$V_{Rd,s} = 2 \cdot A_{sp} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = 2 \cdot 0{,}503 / 10{,}0 \cdot 65{,}9 \cdot 43{,}48 \cdot 2{,}50 = 720{,}4$ kN

$\rho_w = 1{,}176$ ‰; $\rho_{w,min} = 0{,}08 \cdot \sqrt{(f_{ck})} / f_{yk} = 0{,}876$ ‰

Tablica 8: Provjera poprečne sile

Kombinacija	Zona	V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	Spirala	Ocjena
GSN 1 - max N	1	650,0	634,6	720,4	1865,9	Ø8/100	zadovoljava
GSN 2 - min N	1	583,1	452,0	720,4	1865,9	Ø8/100	zadovoljava
GSN 1 - max N	2	523,2	568,3	577,6	1870,0	Ø8/125	zadovoljava
GSN 2 - min N	2	469,4	385,3	577,6	1870,0	Ø8/125	zadovoljava

Najveći korak spirale: $s_{max} = \min(20 \cdot Ø_l; D; 400\text{ mm}; 250\text{ mm}) = 250$ mm (gornja zona), uz smanjenje na $0{,}6 \cdot s_{max}$ u području glave i preklopa (HRN EN 1992-1-1, 9.5.3).

24.3.3 3.3 Sidrenje i preklopi

$f_{bd} = 2{,}25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2{,}25 \cdot 0{,}70 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}23 = 1{,}94$ MPa

$l_{b,rqd} = (Ø/4) \cdot (f_{yd} / f_{bd}) = (25/4) \cdot (434{,}8 / 1{,}94) = 1404$ mm

$l_{bd} = \max(l_{b,rqd}; l_{b,min} = 421\text{ mm}) = 1404$ mm

$l_0 = \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1{,}5 \cdot l_{b,rqd} \rightarrow l_0 = 2150$ mm (Ø25)

Koeficijent $\eta_1 = 0{,}70$ uzima u obzir uvjete betoniranja pilota (kontraktor, betoniranje pod vodom ili suspenzijom).

Raspoloživa visina u ploči 1,10 m manja je od l_{bd}; šipke se sidre s kukom: vertikalni dio 1,10 m i vodoravni krak 0,30 m ($\alpha_1 = 0{,}7$).

24.4 Granično stanje uporabljivosti

Naprezanja su određena za raspucali presjek (beton ne preuzima vlak) s efektivnim modulom $E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \phi) = 10{,}95$ GPa za čelik; u karakterističnoj kombinaciji naprezanje betona računa se s E_{cm}.

Ograničenje $\sigma_c \le 0{,}6 \cdot f_{ck}$ u karakterističnoj kombinaciji ne primjenjuje se (razred izloženosti nije XD, XF ni XS; HRN EN 1992-1-1, 7.2(2)).

Tablica 9: Provjera naprezanja

Kombinacija	Zona	N [kN]	M [kNm]	σ_c [MPa]	gran. [MPa]	σ_s [MPa]	gran. [MPa]	Ocjena
GSU karakteristična	1	2500,0	1187,1	24,90	-	258,5	400,0	zadovoljava
GSU nazovistalna	1	2200,0	932,7	13,06	13,5	182,5	400,0	zadovoljava
GSU karakteristična	2	2500,0	551,9	10,90	-	60,2	400,0	zadovoljava
GSU nazovistalna	2	2200,0	433,6	8,00	13,5	32,4	400,0	zadovoljava

24.4.1 4.1 Širina pukotina

Prema HRN EN 1992-1-1, 7.3.4 u nazovistalnoj kombinaciji. Djelotvorna vlačna površina je kružni odsječak visine $h_{c,ef} = \min(2{,}5(h-d); (h-x)/3; h/2)$.

Mjerodavno: GSU nazovistalna, zona 1, M = 932,7 kNm.

$x = 49{,}8$ cm; $h_{c,ef} = 15{,}1$ cm; $A_{c,eff} = 721{,}9$ cm^2; $A_s = 14{,}73$ cm^2

$\rho_{p,eff} = 0{,}0204$; $\sigma_s = 182{,}5$ MPa; $k_2 = 0{,}500$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})] / E_s \ge 0{,}6 \cdot \sigma_s / E_s = 0{,}5931$ ‰

$s_{r,max} = 3{,}4 \cdot c + 0{,}425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Ø / \rho_{p,eff} = 490{,}6$ mm

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0{,}291\text{ mm} \le w_{max} = 0{,}30\text{ mm} \rightarrow$ zadovoljava

Tablica 10: Širina pukotina

Kombinacija	Zona	σ_{ct} [MPa]	Stanje	w_k [mm]	w_{max} [mm]	Ocjena
GSU nazovistalna	1	7,98	raspucan	0,291	0,30	zadovoljava
GSU nazovistalna	2	2,05	neraspucan	0,000	0,30	zadovoljava

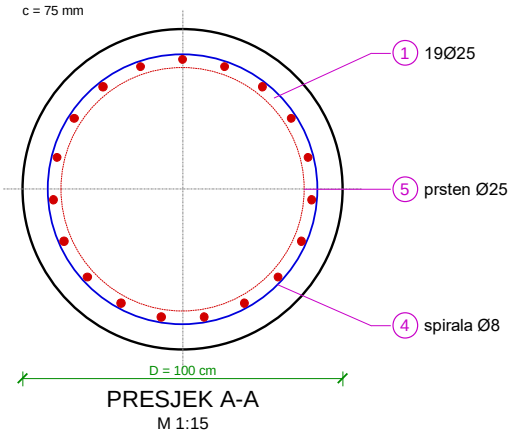
24.4.2 4.2 Pomak glave pilota

Tablica 11: Pomak glave u karakterističnoj kombinaciji

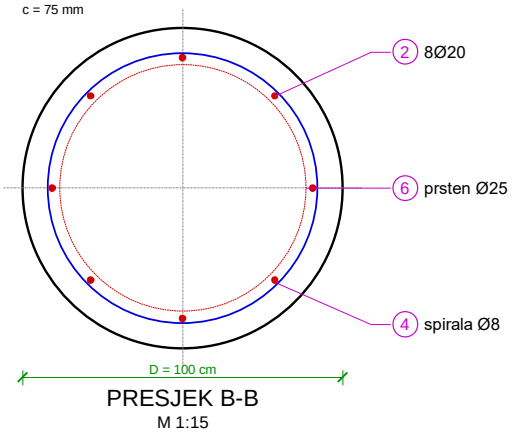
Kombinacija	u_0 [mm]	u_{dop} [mm]	Ocjena
GSU karakteristična	8,01	20,0	zadovoljava

24.5 Armatura i iskaz materijala

Armaturni koš: uzdužne šipke 19Ø25 (r_s = 40,5 cm).
Donja zona: 8Ø20, preklop na prijelazu 2,15 m.
Spirala Ø8 (promjer osi 84,2 cm): 0,00 - 3,75 m: s = 100 mm; 3,75 - 21,90 m: s = 125 mm.
Prsteni za ukrućenje Ø25, 10 kom.



Slika 5.1: Poprečni presjek A-A



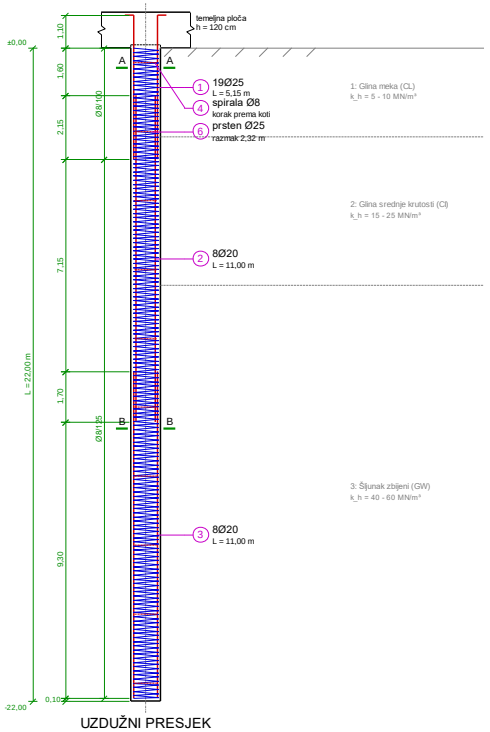
Slika 5.2: Poprečni presjek B-B

Tablica 12: Iskaz armature B500B

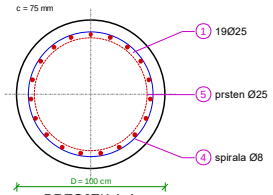
Poz.	Opis	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom.	Ukupno [m]	kg/m	Masa [kg]
1	uzdužna, kuka na vrhu	25	5,15	19	97,85	3,853	377,1
2	uzdužna, donja zona	20	11,00	8	88,00	2,466	217,0
3	uzdužna, donja zona	20	11,00	8	88,00	2,466	217,0
4	spirala	8	489,07	1	489,07	0,395	193,0
5	prsten za ukrućenje	25	2,63	1	2,63	3,853	10,2
6	prsten za ukrućenje	25	2,67	9	23,99	3,853	92,5
	UKUPNO						1106,7

Tablica 13: Rekapitulacija materijala

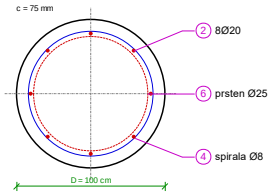
Materijal	Količina	Jedinica
Beton C30/37	17,36	m^3
Armatura B500B	1106,7	kg
Utrošak armature	63,8	kg/m^3



UZDUŽNI PRESJEK
M 1:100



PRESJEK A-A
M 1:20



PRESJEK B-B
M 1:20

ISKAZ ARMATURE B500B

Poz.	Oblik i mjere [cm]	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom.	Ukupna dulj. [m]	Masa [kg/m]	Masa [kg]
1	30 485	25	5,15	19	97,85	3,853	377,1
2	1100	20	11,00	8	88,00	2,466	217,0
3	1100	20	11,00	8	88,00	2,466	217,0
4	D=84,2	8	489,07	1	489,07	0,395	193,0
5	D=75,9	25	2,63	1	2,63	3,853	10,2
6	D=76,9	25	2,67	9	23,99	3,853	92,5

REKAPITULACIJA

Ø [mm]	Duljina [m]	Masa [kg]
8	489,07	193,0
20	176,00	434,0
25	124,48	479,7
UKUPNO B500B		1106,7

Beton C30/37: V = 17,36 m³
Utrošak armature: 63,8 kg/m³

NAPOMENE:
1. Beton C30/37, armatura B500B, zaštitni sloj c_nom = 75 mm.
2. Kote su u m od donjeg ruba temeljne ploče.
3. Spiralu zavariti/vezati za svaku uzdužnu šipku; prstene zavariti.
4. Preklopi uzdužnih šipki l_0 = 2,15 m, na prijelazu zona 2,15 m..
5. Odstojnici (koturići) min. 3 kom po obodu na svaka 3 m.

RCPile

Projekt: Primjer - temeljenje na pilotima	
Sadržaj: PLAN ARMATURE PILOTA P1	Mjerilo: 1:100, 1:20
Izradio:	Datum: 16.11.2026.

24.6 Napomene i ograničenja

- Proračun obuhvaća konstruktivnu nosivost pilota. Geotehnička nosivost (vertikalna i bočna) te slijeganje provjeravaju se posebno prema HRN EN 1997-1.
- Model tla je linearno elastičan (Winkler); reakcija tla p = k_h · u mora biti manja od pasivnog otpora tla - provjeriti za max p iz tablice u poglavlju 2.
- Učinci drugog reda zanemareni su (pilot bočno pridržan tlom).
- Duljina sidrenja l_{bd} = 1,40 m veća je od raspoložive visine ploče (1,10 m) - predviđene su šipke s kukom (krak 0,30 m).
- Broj komada uzdužnih šipki po visini: 3 (s preklopima, najveća duljina šipke 12,0 m).

ZAKLJUČAK: Sve provedene provjere su zadovoljene.

24.7 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

25 Program SteelColumnBase

Proračun sidrenja čeličnog stupa u betonski temelj
Građevina: Hala
Oznaka spoja: S1
Datum proračuna: 16-Nov-26
Izrađeno programom BaseAnchor.

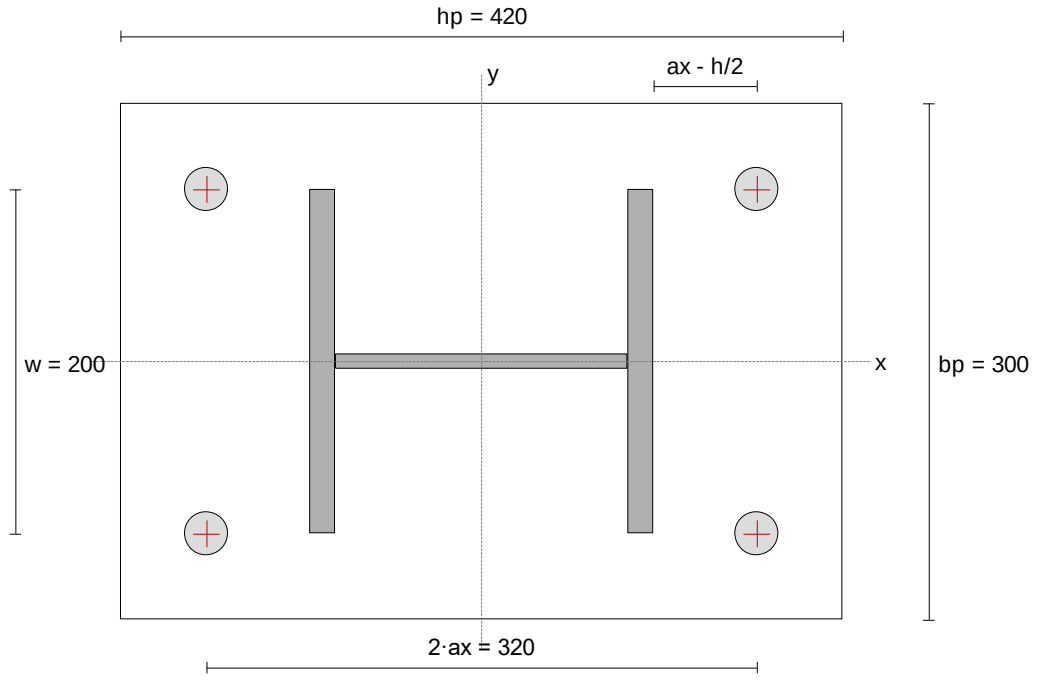
25.1 Opseg i model proračuna

Proračun obuhvaća spoj čeličnog I-stupa s pravokutnom pločom i četiri sidra s glavom (2 + 2) izvan pojasnica, ugrađena u betonski temelj. Djeluju uzdužna sila NEd, moment MEd oko jače osi stupa i poprečna sila VEd u ravnini momenta.
Primijenjene norme: HRN EN 1993-1-8 (metoda komponenata, poglavlja 6.2.5, 6.2.6, 6.2.8), HRN EN 1992-4 (sidra s glavom) i HRN EN 1992-1-1. Temelj je koncentričan s pločom. Jedinice: N, mm, MPa; sile su u izvještaju prikazane u kN i kNm.
Predznak: uzdužna sila NEd je pozitivna u tlaku. Sile unutar proračuna: vlak pozitivan.

25.2 Ulazni podaci

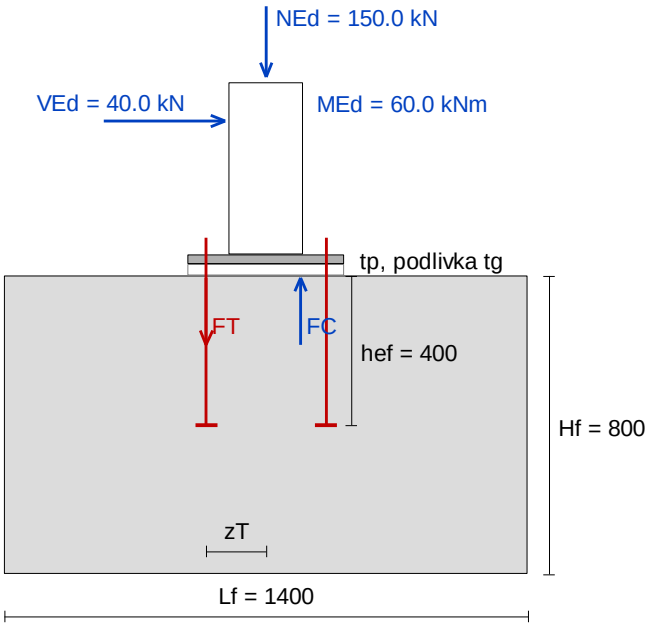
Veličina	Vrijednost	Jedinica
Profil stupa	HEB 200	-
Čelik stupa / ploče	S235 / S235	-
h / b / tw / tf / r	200,0 / 200,0 / 9,0 / 15,0 / 18,0	mm
Ploča hp / bp / tp	420 / 300 / 25	mm
fy,P / fu,P (ploča)	235 / 360	MPa
Sidra	M24, razred 8.8	-
fub / fyb, As	800 / 640, 353,0	MPa, mm2
Položaj ax / ay	160 / 100	mm
hef / dh / th / d0	400 / 60 / 15 / 26	mm
Temelj Lf / Bf / Hf	1400 / 1400 / 800	mm
Beton	C25/30, fck = 25	MPa

Raspucali beton	da	-
Podlivka tg / fck,g	30 / 40	mm, MPa
Varovi af / aw	7 / 5	mm
NEd (tlak +)	150,00	kN
MEd	60,00	kNm
VEd	40,00	kN
gamaM0 / gamaM2	1,00 / 1,25	-
gamaC / gamaInst / alfaCC	1,50 / 1,00 / 1,00	-



HEB 200, ploča t = 25 mm

Slika 1. Tlocrt ploče



Slika 2. Presjek spoja, opterećenja i unutarnje sile

25.3 Nosivost betona i tlačne zone (HRN EN 1993-1-8, 6.2.5 i 6.2.6.9)

Računska čvrstoća betona i koeficijent koncentracije naprezanja, uz površinu Ac0 = hp·bp i rasprostiranje prema HRN EN 1992-1-1, 6.7:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1{,}00 \cdot 25{,}0}{1{,}50} = 16{,}67 \text{ MPa}$$

$$k = \min\left(1 + \frac{2 \cdot a_r}{h_p};\ 1 + \frac{2 \cdot b_r}{b_p};\ 1 + \frac{H_f}{\max(h_p; b_p)};\ 3\right) = 2{,}905$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k \cdot f_{cd} = 0{,}667 \cdot 2{,}905 \cdot 16{,}67 = 32{,}28 \text{ MPa}$$

Dodatna širina ekvivalentnog T-elementa u tlaku:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{y,P}}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 25{,}0 \cdot \sqrt{\frac{235{,}0}{3 \cdot 32{,}28 \cdot 1{,}00}} = 38{,}9 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_f + c_v + c_u = 15{,}0 + 38{,}9 + 38{,}9 = 92{,}9 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = b + 2 \cdot \min\left(c; \frac{b_p - b}{2}\right) = 277{,}9 \text{ mm}$$

$$F_{C,pl,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff} = 32{,}28 \cdot 92{,}9 \cdot 277{,}9 = 833{,}18 \text{ kN}$$

Pojasnica i hrbat stupa u tlaku (HRN EN 1993-1-8, 6.2.6.7), plastični moment otpora izračunat je iz geometrije profila:

$$W_{pl} = 642547 \text{ mm}^3, \quad M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 151{,}00 \text{ kNm}$$

$$F_{C,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f} = 816{,}21 \text{ kN}$$

$$F_{C,Rd} = \min(F_{C,pl,Rd};\ F_{C,fc,Rd}) = 816{,}21 \text{ kN}$$

25.4 Raspodjela sila u spoju (HRN EN 1993-1-8, 6.2.8.3)

Krakovi: z_T je udaljenost reda sidara od osi stupa, a z_C udaljenost težišta tlačne zone od osi stupa:

$$z_T = a_x = 160{,}0 \text{ mm}, \quad z_C = \frac{h}{2} + \frac{c_v\text{-}t_f\text{-}c_u}{2} = 92{,}5 \text{ mm}$$

Mjerodavan je slučaj: jedna strana u vlaku, druga u tlaku.

$$z = z_T + z_C = 252{,}5 \text{ mm}$$

$$F_{T,Ed} = \frac{M_{Ed} + N \cdot z_C}{z} = 182{,}67 \text{ kN}$$

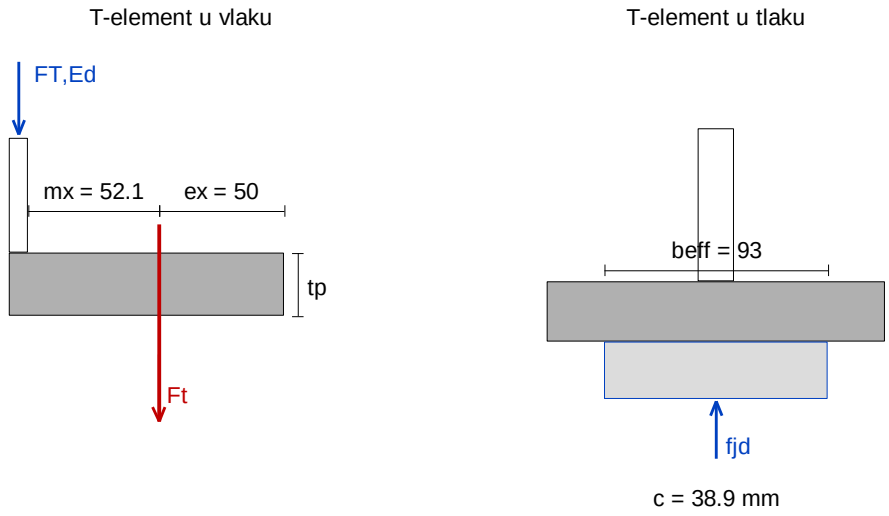
$$F_{C,Ed} = \frac{M_{Ed}\text{-}N \cdot z_T}{z} = 332{,}67 \text{ kN}$$

$$N = \text{-}150{,}00 \text{ kN (vlak +)}, \quad M_{Ed} = 60{,}00 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{F_{C,Ed}}{F_{C,Rd}} = \frac{332{,}67}{816{,}21} = 0{,}408 \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.5 T-element u vlaku: ploča i sidra (HRN EN 1993-1-8, 6.2.4 i 6.2.6.11)



Slika 3. T-element u vlaku i T-element u tlaku

Red sidara izvan pojasnice, efektivne duljine prema tablici 6.6:

$$m_x = a_x\text{-}\frac{h}{2}\text{-}0{,}8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 52{,}1 \text{ mm}, \quad e_x = 50{,}0 \text{ mm}, \quad e = 50{,}0 \text{ mm}, \quad w = 200{,}0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi\, m_x;\ \pi\, m_x + w;\ \pi\, m_x + 2e) = 263{,}6 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min\left(4m_x + 1{,}25e_x;\ e + 2m_x + 0{,}625e_x;\ 0{,}5b_p;\ 0{,}5w + 2m_x + 0{,}625e_x\right) = 150{,}0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min\left(l_{eff,nc};\ l_{eff,cp}\right) = 150{,}0 \text{ mm}, \quad l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 150{,}0 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0{,}25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{y,P}}{\gamma_{M0}} = 5{,}51 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0{,}25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{y,P}}{\gamma_{M0}} = 5{,}51 \text{ kNm}$$

Nosivost jednog sidra u vlaku i kriterij pojave sila odvajanja (duljina istezanja sidra prema 6.2.6.12):

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 800 \cdot 353{,}0}{1{,}25} = 203{,}33 \text{ kN}$$

$$L_b = 8d + t_g + t_p + t_w + 0{,}5m_n = 261{,}8 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8{,}8 \cdot m_x^3 \cdot A_s \cdot n_b}{l_{eff,1} \cdot t_p^3} = 374{,}5 \text{ mm}$$

Budući da je L_b ≤ L_b*, sile odvajanja mogu se pojaviti. Mjerodavna je najmanja nosivost oblika 1, 2 i 3:

$$n = \min(e_x;\ 1{,}25m_x) = 50{,}0 \text{ mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_x} = 423{,}02 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m_x + n} = 307{,}10 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 406{,}66 \text{ kN}$$

Sila odvajanja reda sidara procijenjena je elastičnim modelom T-elementa (InFaSo Design Manual II), uz I = (l_eff,1/2)·t_p^3/12:

$$Q = F_{T,Ed} \cdot \frac{3(m_x^2 \cdot n \cdot A_s\text{-}2L_b \cdot I)}{2n^2 \cdot A_{s(3m_x+n)} + 3L_b \cdot I} = 182{,}67 \cdot 0{,}000 = 0{,}00 \text{ kN} \ (\geq 0)$$

$$F_{T,pl,Rd} = 307{,}10 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{F_{T,Ed}}{F_{T,pl,Rd}} = \frac{182{,}67}{307{,}10} = 0{,}595 \ \leq 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.6 Sidra u vlaku (HRN EN 1992-4, 7.2.1)

$$N_{Ed,s} = \frac{F_{T,Ed} + Q}{2} = 91{,}34 \text{ kN}, \quad N_{Ed,g} = 182{,}67 \text{ kN}, \quad n_v = 2$$

25.6.1 6.1 Slom čelika

$$\gamma_{Ms,N} = \max\left(1{,}4;\ 1{,}2 \cdot \frac{f_{ub}}{f_{yb}}\right) = 1{,}50$$

$$N_{Rd,s} = \frac{A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{Ms,N}} = \frac{353{,}0 \cdot 800}{1{,}50} = 188{,}27 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed,s}}{N_{Rd,s}} = \frac{91{,}34}{188{,}27} = 0{,}485 \ \leq 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.6.2 6.2 Čupanje

$$A_h = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_h^2\text{-}d^2\right) = 2375{,}0 \text{ mm}^2, \quad \gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst} = 1{,}50$$

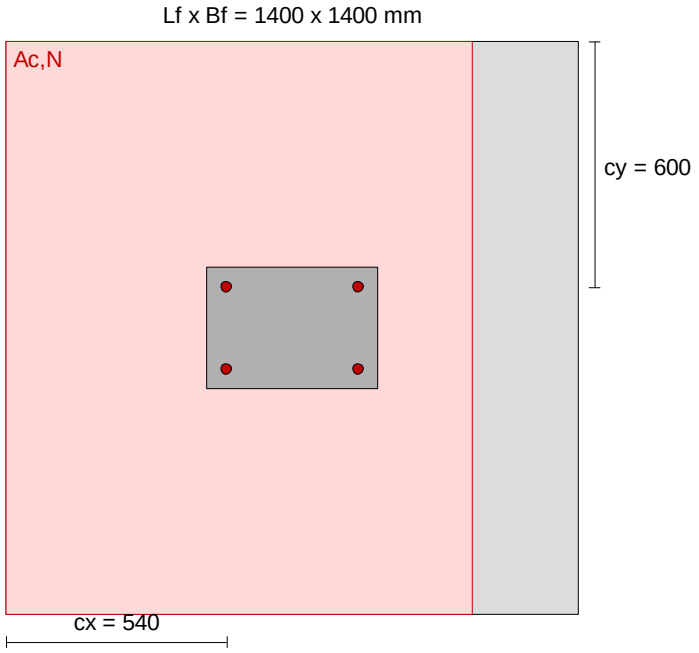
$$N_{Rk,p} = k_2 \cdot A_h \cdot f_{ck} = 7{,}5 \cdot 2375{,}0 \cdot 25{,}0 = 445{,}32 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mc}} = 296{,}88 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed,s}}{N_{Rd,p}} = \frac{91{,}34}{296{,}88} = 0{,}308 \ \leq 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.6.3 6.3 Slom betonskog stošca



Slika 4. Tlocrt temelja i projekcija betonskog stošca

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 8{,}9 \cdot \sqrt{25{,}0} \cdot 400{,}0^{1,5} = 356{,}00\ \text{kN}$$

$$s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef} = 1200{,}0\ \text{mm},\quad c_{cr,N} = 1{,}5 \cdot h_{ef} = 600{,}0\ \text{mm}$$

$$A^0_{c,N} = s^2_{cr,N} = 1200{,}0^2 = 1440000\ \text{mm}^2$$

$$A_{c,N} = l_x \cdot l_y = 1140{,}0 \cdot 1400{,}0 = 1596000\ \text{mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0{,}970 \ \leq\ 1{,}0$$

$$\psi_{re,N} = 1{,}000,\quad \psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{e_N}{s_{cr,N}}} = 1{,}000,\quad e_N = 0{,}0\ \text{mm},\quad \psi_{M,N} = 1{,}0$$

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} = 356{,}00 \cdot \frac{1596000}{1440000} \cdot 0{,}970 \cdot 1{,}000 \cdot 1{,}000 \cdot 1{,}0$$
$$= 382{,}73\ \text{kN}$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = 255{,}15\ \text{kN}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed,g}}{N_{Rd,c}} = \frac{182{,}67}{255{,}15} = 0{,}716 \ \leq\ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.6.4 6.4 Cijepanje betona

Provjera nije potrebna: predviđena je armatura za preuzimanje sila cijepanja koja ograničava širinu pukotine na 0,3 mm (unos korisnika, HRN EN 1992-4, 7.2.1.7).

25.6.5 6.5 Izboj bočne strane

Provjera nije potrebna: udaljenost sidara od ruba veća je od 0,5 h_ef.

25.7 Moment nosivosti spoja (HRN EN 1993-1-8, tablica 6.7)

Nosivost vlačne strane jednaka je najmanjoj vrijednosti nosivosti ploče i sidara, pojasnice te betona (stožac, čupanje, cijepanje, izboj; umanjeno za silu odvajanja kada se pojavljuje):

$$F_{T,Rd} = 255{,}15\ \text{kN},\quad F_{C,Rd} = 816{,}21\ \text{kN}$$

$$M_{j,Rd} = \min\left(\frac{F_{T,Rd}\cdot z}{1 + z_C\cdot\frac{N}{M_{Ed}}};\frac{F_{C,Rd}\cdot z}{1\text{-}z_T\cdot\frac{N}{M_{Ed}}}\right) = 83{,}81\ \text{kNm}$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} = \frac{60{,}00}{83{,}81} = 0{,}716\ \le\ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.8 Posmik

25.8.1 8.1 Trenje i sidra (HRN EN 1993-1-8, 6.2.2)

$$F_{f,Rd} = C_{f,d}\cdot N_{c,Ed} = 0{,}20\cdot 150{,}00 = 30{,}00\ \text{kN}$$

$$\alpha_{bc} = 0{,}44\text{-}0{,}0003\cdot f_{yb} = 0{,}248$$

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v\cdot f_{ub}\cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 135{,}55\ \text{kN},\quad F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc}\cdot f_{ub}\cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 56{,}03\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n\cdot\min\left(F_{1,vb,Rd};F_{2,vb,Rd}\right) = 30{,}00 + 4\cdot 56{,}03 = 254{,}11\ \text{kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{40{,}00}{254{,}11} = 0{,}157\ \le\ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

Interakcija vlaka i posmika u sidru (tablica 3.4):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{vb,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1{,}4\cdot F_{t,Rd}} = \frac{10{,}00}{56{,}03} + \frac{91{,}34}{1{,}4\cdot 203{,}33} = 0{,}499\ \le\ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.8.2 8.2 Sidra prema HRN EN 1992-4 (7.2.2)

Trenje se pri provjeri sidara prema betonu zanemaruje (na strani sigurnosti):

$$V_{Ed,sid} = 40{,}00\ \text{kN},\quad n = 4,\quad V_{Ed,s} = \frac{V_{Ed,sid}}{n} = 10{,}00\ \text{kN}$$

Dopušteni promjer rupe za sudjelovanje svih sidara prema tablici 6.1 iznosi 26 mm; promjer rupe u ploči je 26 mm.

25.8.3 8.3 Slom čelika

$$\gamma_{Ms,V} = 1{,}25$$

Podlivka je deblja od d/2 (ili slabija od 30 MPa), pa se računa posmik s krakom sile:

$$l_a = 0{,}5d + t_g + 0{,}5t_p = 54{,}5\ \text{mm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi\, d_s^3}{32} = 935{,}5\ \text{mm}^3,\quad M^0_{Rk,s} = 1{,}2\cdot W_{el}\cdot f_{ub} = 0{,}90\ \text{kNm}$$

$$M_{Rk,s} = M^0_{Rk,s}\cdot\left(1\text{-}\frac{N_{Ed,s}}{N_{Rd,s}}\right) = 0{,}46\ \text{kNm}$$

$$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M\cdot M_{Rk,s}}{l_a} = 2{,}0\cdot 0{,}46\cdot\frac{10^6}{54{,}5} = 16{,}97\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms,V}} = 13{,}57\ \text{kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed,s}}{V_{Rd,s}} = \frac{10{,}00}{13{,}57} = 0{,}737 \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.8.4 8.4 Odlom betona iza sidra

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \ h_{ef}^{1,5} = 8{,}9 \cdot \sqrt{25{,}0} \cdot 400{,}0^{1{,}5} = 356{,}00 \text{ kN}$$

$$s_{cr,N} = 3 \cdot \ h_{ef} = 1200{,}0 \text{ mm}, \ \ c_{cr,N} = 1{,}5 \cdot \ h_{ef} = 600{,}0 \text{ mm}$$

$$A^0_{c,N} = s^2_{cr,N} = 1200{,}0^2 = 1440000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = l_x \cdot \ l_y = 1400{,}0 \cdot 1400{,}0 = 1960000 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0{,}970 \ \leq \ 1{,}0$$

$$\psi_{re,N} = 1{,}000, \ \ \psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{e_N}{s_{cr,N}}} = 1{,}000, \ \ e_N = 0{,}0 \text{ mm}, \ \ \psi_{M,N} = 1{,}0$$

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} = 356{,}00 \cdot \frac{1960000}{1440000} \cdot 0{,}970 \cdot 1{,}000 \cdot 1{,}000 \cdot 1{,}0$$
$$= 470{,}02 \text{ kN}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \ N_{Rk,c} = 2{,}0 \cdot 470{,}02 = 940{,}04 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}} = 626{,}69 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed,sid}}{V_{Rd,cp}} = \frac{40{,}00}{626{,}69} = 0{,}064 \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.8.5 8.5 Slom ruba betona u smjeru posmika (x)

Pogled na rub temelja u smjeru x



Visina plohe sloma u presjeku: 800 mm

Slika 5. Slom ruba betona pri posmiku

Na strani sigurnosti, red sidara najbliži rubu preuzima cijelu posmičnu silu.
Uski i tanki element: umjesto c_1 koristi se c'_1 = 533,3 mm.

$$l_f = \min(h_{ef};\ 12 \cdot d) = 288{,}0 \text{ mm} \ \ (\text{za } d > 24 \text{ mm: } l_f = \min(h_{ef}; \max(8d;\ 300)))$$

$$\alpha = 0{,}1 \cdot \sqrt{\frac{l_f}{c_1}} = 0{,}073, \ \ \beta = 0{,}1 \cdot \left(\frac{d}{c_1}\right)^{0{,}2} = 0{,}054$$

$$V^0_{Rk,c} = k_9 \cdot d^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1{,}5} = 1{,}7 \cdot 24{,}0^{0{,}073} \cdot 288{,}0^{0{,}054} \cdot \sqrt{25{,}0} \cdot 533{,}3^{1{,}5} = 179{,}31 \text{ kN}$$

$$A^0_{c,V} = 4{,}5 \cdot c_1^2 = 1280000 \text{ mm}^2, \ \ A_{c,V} = 1120000 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 0{,}925, \ \ \psi_{h,V} = 1{,}000, \ \ \psi_{\alpha,V} = 1{,}000, \ \ \psi_{ec,V} = 1{,}0, \ \ \psi_{re,V} = 1{,}0$$

$$V_{Rk,c} = V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} = 145{,}13 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{145{,}13}{1{,}50} = 96{,}75 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{40{,}00}{96{,}75} = 0{,}413 \ \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.8.6 8.6 Slom bočnog ruba (posmik paralelan s rubom, α_V = 90°)

Uski i tanki element: umjesto c_1 koristi se c'_1 = 533,3 mm.

$$l_f = \min(h_{ef};\ 12 \cdot d) = 288{,}0 \text{ mm} \ \ (\text{za } d > 24 \text{ mm: } l_f = \min(h_{ef}; \max(8d;\ 300)))$$

$$\alpha = 0{,}1 \cdot \sqrt{\frac{l_f}{c_1}} = 0{,}073, \ \ \beta = 0{,}1 \cdot \left(\frac{d}{c_1}\right)^{0{,}2} = 0{,}054$$

$$V^0_{Rk,c} = k_9 \cdot d^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1{,}5} = 1{,}7 \cdot 24{,}0^{0{,}073} \cdot 288{,}0^{0{,}054} \cdot \sqrt{25{,}0} \cdot 533{,}3^{1{,}5} = 179{,}31 \text{ kN}$$

$$A^0_{c,V} = 4{,}5 \cdot c_1^2 = 1280000 \text{ mm}^2, \ \ A_{c,V} = 1120000 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 0{,}902, \ \ \psi_{h,V} = 1{,}000, \ \ \psi_{\alpha,V} = 2{,}000, \ \ \psi_{ec,V} = 1{,}0, \ \ \psi_{re,V} = 1{,}0$$

$$V_{Rk,c} = V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} = 283{,}20 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{283{,}20}{1{,}50} = 188{,}80 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{20{,}00}{188{,}80} = 0{,}106 \ \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.9 Interakcija vlaka i posmika (HRN EN 1992-4, tablica 7.3)

$$\left(\frac{N_{Ed,s}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed,s}}{V_{Rd,s}}\right)^2 = 0{,}485^2 + 0{,}737^2 = 0{,}778 \ \ \leq \ 1{,}0$$

Slom čelika: zadovoljava.

$$(\beta_N)^{1{,}5} + (\beta_V)^{1{,}5} = 0{,}716^{1{,}5} + 0{,}413^{1{,}5} = 0{,}872 \ \ \leq \ 1{,}0$$

Slom betona: zadovoljava. Pri tome su β_N i β_V najveći omjeri djelovanja i nosivosti među oblicima sloma betona.

25.10 Varovi stupa na ploču (HRN EN 1993-1-8, 4.5.3.3)

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360{,}0}{\sqrt{3} \cdot 0{,}80 \cdot 1{,}25} = 207{,}85 \text{ MPa}$$

$$L_{w,f} = 2b\text{-}t_w\text{-}2r = 355{,}0 \text{ mm}, \ \ L_{w,w} = 2(h\text{-}2t_f\text{-}2r) = 268{,}0 \text{ mm}$$

$$f_{w,f} = \frac{F_{T,Ed}}{a_f \cdot L_{w,f}} = 73{,}51 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{f_{w,f}}{f_{vw,d}} = \frac{73{,}51}{207{,}85} = 0{,}354 \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

$$f_{w,w} = \frac{V_{Ed}}{a_w \cdot L_{w,w}} = 29{,}85 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{f_{w,w}}{f_{vw,d}} = \frac{29{,}85}{207{,}85} = 0{,}144 \ \leq \ 1{,}0$$

Provjera: zadovoljava.

25.11 Pretpostavka krute ploče

HRN EN 1992-4 pretpostavlja dovoljno krutu ploču. Inženjerska kontrola (nije izraz iz norme): moment u ploči na pregibnoj liniji uz pojasnicu ostaje u elastičnom području.

$$M_{Ed,p} = F_{T,Ed} \cdot m_x = 9{,}51 \text{ kNm} \ \leq \ M_{el,p} = \frac{l_{eff,1} \cdot t_p^2}{6} \cdot \frac{f_{y,P}}{\gamma_{M0}} = 3{,}67 \text{ kNm}$$

25.12 Sažetak provjera

Provjera	Ed	Rd	Iskorištenost	Status
Ploca i sidra - T-element u vlaku	182,67 kN	307,10 kN	0,595	zadovoljava
Beton i ploca u tlaku	332,67 kN	816,21 kN	0,408	zadovoljava
Pojasnica stupa u vlaku	182,67 kN	816,21 kN	0,224	zadovoljava
Moment nosivosti spoja	60,00 kNm	83,81 kNm	0,716	zadovoljava
Posmik - trenje i sidra	40,00 kN	254,11 kN	0,157	zadovoljava
Sidro: posmik + vlak	0,50 -	1,00 -	0,499	zadovoljava
Sidro: slom celika, vlak	91,34 kN	188,27 kN	0,485	zadovoljava
Cupanje sidra	91,34 kN	296,88 kN	0,308	zadovoljava
Slom betonskog stosca	182,67 kN	255,15 kN	0,716	zadovoljava
Sidro: slom celika, posmik	10,00 kN	13,57 kN	0,737	zadovoljava
Odlom betona iza sidra	40,00 kN	626,69 kN	0,064	zadovoljava
Slom ruba betona, smjer x	40,00 kN	96,75 kN	0,413	zadovoljava
Slom ruba betona, smjer y	20,00 kN	188,80 kN	0,106	zadovoljava
Interakcija N-V, celik	0,78 -	1,00 -	0,778	zadovoljava

Interakcija N-V, beton	0,87 -	1,00 -	0,872	zadovoljava
Var pojasnice	73,51 MPa	207,85 MPa	0,354	zadovoljava
Var hrpta	29,85 MPa	207,85 MPa	0,144	zadovoljava

Najveća iskorištenost: 0,872 - spoj zadovoljava.

25.13 Upozorenja

- Ploca se u podrucju vlaka ne ponasa elasticno: pretpostavka krute ploce iz HRN EN 1992-4 nije zadovoljena - povecati debljinu ploce.
- Moguce su sile odvajanja (Lb <= Lb*): sidra su provjerena na silu uvecanu za elasticno procijenjenu silu odvajanja Q.

25.14 Napomene i ograničenja

Armatura za sidrenje (HRN EN 1992-4, 7.2.1.9 i 7.2.2.6), krutost spoja i potresna djelovanja nisu obuhvaćeni. Koeficijenti k8, c_cr,sp i h_min za konkretan proizvod treba uskladiti s proizvođačevom dokumentacijom. Rezultate provjerava odgovorni projektant.

SteelSection
EN 1993-1-1 · STEEL SECTION DESIGN

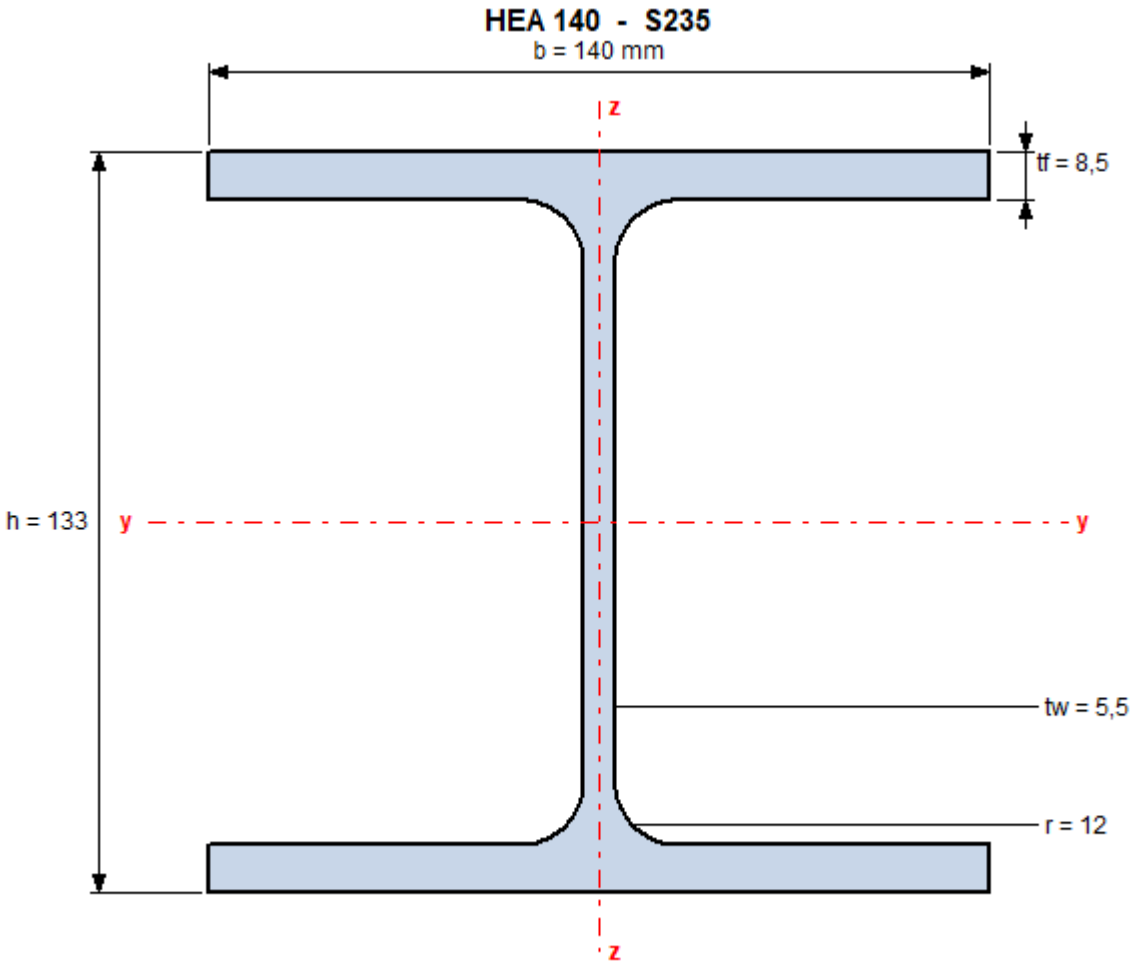
26 Program SteelSection

PRORAČUN ČELIČNOG PRESJEKA
Prema normi HRN EN 1993-1-1 (Eurokod 3 – Projektiranje čeličnih konstrukcija, dio 1-1). Korištene su preporučene vrijednosti parametara; prije uporabe provjeriti Nacionalni dodatak.
Program: SteelSection 1.1
Projekt: Novi projekt
Element: Greda G1
Datum proračuna: 16.11.2026.

26.1.1 1. Ulazni podaci

26.1.1.1 1.1 Poprečni presjek

Presjek: HEA 140 (toplo valjani profil)



NEd = 40,0 kN My,Ed = 25,0 kNm Mz,Ed = 0,0 kNm Vy,Ed = 5,0 kN Vz,Ed = 60,0 kN

Veličina	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Visina presjeka	h	133,0	mm
Širina pojasnice	b	140,0	mm
Debljina hrpta	t_w	5,5	mm
Debljina pojasnice	t_f	8,5	mm
Radijus zaobljenja	r	12,0	mm

26.1.1.2 1.2 Materijal

Čelik S235, najveća debljina elementa t_{max} = 8,5 mm → prema tablici 3.1: f_y = 235 N/mm²

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2; \quad G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/235)} = 1{,}000$$

$$\gamma_{M0} = 1{,}00; \quad \gamma_{M1} = 1{,}00; \quad \eta = 1{,}20$$

26.1.1.3 1.3 Rezne sile (računske vrijednosti)

Rezna sila	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Uzdužna sila (+ tlak / – vlak)	N_{Ed}	40,00	kN
Moment savijanja oko osi y	$M_{y,Ed}$	25,00	kNm

Moment savijanja oko osi z	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm
Poprečna sila u smjeru y	$V_{y,Ed}$	5,00	kN
Poprečna sila u smjeru z	$V_{z,Ed}$	60,00	kN

U proračunu se koriste apsolutne vrijednosti momenata i poprečnih sila. Os y je jaka os (paralelna s pojasnicama), os z je slaba os (paralelna s hrptom).

26.1.2 2. Geometrijske karakteristike presjeka

$h_w = h - 2 \cdot t_f = 133{,}0 - 2 \cdot 8{,}5 = 116{,}0 \text{ mm}$

$A = 2 \cdot b \cdot t_f + h_w \cdot t_w + (4 - \pi) \cdot r^2 = 2 \cdot 140{,}0 \cdot 8{,}5 + 116{,}0 \cdot 5{,}5 + (4 - \pi) \cdot 12{,}0^2 = 31{,}42 \text{ cm}^2$

$I_y = [b \cdot h^3 - (b - t_w) \cdot h_w^3]/12 + 0{,}03 \cdot r^4 + 0{,}2146 \cdot r^2 \cdot (h_w - 0{,}4468 \cdot r)^2 = 1033{,}1 \text{ cm}^4$

$I_z = [2 \cdot t_f \cdot b^3 + h_w \cdot t_w^3]/12 + 0{,}03 \cdot r^4 + 0{,}2146 \cdot r^2 \cdot (t_w + 0{,}4468 \cdot r)^2 = 389{,}3 \text{ cm}^4$

$W_{el,y} = 2 \cdot I_y / h = 2 \cdot 1033{,}1/13{,}30 = 155{,}4 \text{ cm}^3$

$W_{el,z} = 2 \cdot I_z / b = 2 \cdot 389{,}3/14{,}00 = 55{,}6 \text{ cm}^3$

$W_{pl,y} = t_w \cdot h^2/4 + (b - t_w) \cdot (h - t_f) \cdot t_f + (4 - \pi)/2 \cdot r^2 \cdot h_w + (3\pi - 10)/3 \cdot r^3 = 173{,}5 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = b^2 \cdot t_f/2 + h_w \cdot t_w^2/4 + r^3 \cdot (10/3 - \pi) + (2 - \pi/2) \cdot t_w \cdot r^2 = 84{,}8 \text{ cm}^3$

$i_y = \sqrt{(I_y/A)} = 5{,}73 \text{ cm}; \quad i_z = \sqrt{(I_z/A)} = 3{,}52 \text{ cm}$

$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \rightarrow A_{v,z} = 10{,}12 \text{ cm}^2 \quad (6.2.6(3)a)$

$I_t = 2/3 \cdot b \cdot t_f^3 + 1/3 \cdot h_w \cdot t_w^3 + 2 \cdot \alpha_1 \cdot D_1^4 - 0{,}420 \cdot t_f^4 = 8{,}10 \text{ cm}^4$

$A_{v,y} = A - h_w \cdot t_w = 25{,}04 \text{ cm}^2 \quad (6.2.6(3)e)$

$I_w = t_f \cdot b^3 \cdot (h - t_f)^2/24 = 15063{,}7 \text{ cm}^6$

26.1.3 3. Klasifikacija poprečnog presjeka (tablica 5.2)

26.1.3.1 3.1 Pojasnica – vanjski dio u tlaku

$c = (b - t_w - 2 \cdot r)/2 = (140{,}0 - 5{,}5 - 2 \cdot 12{,}0)/2 = 55{,}25 \text{ mm}$

$c/t_f = 55{,}25/8{,}5 = 6{,}50$

Granice: klasa 1: $9\varepsilon = 9{,}00$; klasa 2: $10\varepsilon = 10{,}00$; klasa 3: $14\varepsilon = 14{,}00$

Pojasnica: klasa 1 (konzervativno pretpostavljeno da je cijela pojasnica u tlaku).

26.1.3.2 3.2 Hrbat – unutarnji dio (savijanje i uzdužna sila)

$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 92{,}00 \text{ mm}; \quad c/t_w = 92{,}00/5{,}5 = 16{,}73$

$\alpha = 0{,}5 + N_{Ed}/(2 \cdot c \cdot t_w \cdot f_y) = 0{,}5 + 40{,}00 \cdot 10^3/(2 \cdot 92{,}00 \cdot 5{,}5 \cdot 235) = 0{,}668$

$\alpha \geq 0{,}5$: klasa 1: $396\varepsilon/(13\alpha - 1) = 51{,}52$; klasa 2: $456\varepsilon/(13\alpha - 1) = 59{,}32$

$\sigma_1 = N_{Ed}/A + M_{y,Ed} \cdot (c/2)/I_y = 124{,}04 \text{ N/mm}^2; \quad \sigma_2 = N_{Ed}/A - M_{y,Ed} \cdot (c/2)/I_y = -98{,}58 \text{ N/mm}^2$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1 = -0{,}795 \geq -1$: klasa 3: $42\varepsilon/(0{,}67 + 0{,}33\psi) = 103{,}01$

Hrbat: $c/t_w = 16{,}73 \rightarrow$ klasa 1.

Mjerodavna klasa poprečnog presjeka: KLASA 1

Za klase 1 i 2 koristi se plastična otpornost ($W = W_{pl}$).

26.1.4 4. Otpornost poprečnog presjeka (HRN EN 1993-1-1, 6.2)

26.1.4.1 4.1 Uzdužna sila (6.2.3 / 6.2.4)

$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y/\gamma_{M0} = 3142 \cdot 235/1{,}00 = 738{,}3 \text{ kN}$

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 40{,}00/738{,}3 = 0{,}054 \leq 1{,}0 \rightarrow$ ZADOVOLJAVA

26.1.4.2 4.2 Poprečna sila $V_{z,Ed}$ (6.2.6)

$V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} \cdot (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0} = 1012 \cdot (235/\sqrt{3})/1{,}00 = 137{,}4 \text{ kN}$

$V_{z,Ed}/V_{pl,z,Rd} = 60{,}00/137{,}4 = 0{,}437 \leq 1{,}0 \rightarrow$ ZADOVOLJAVA

Izbočavanje hrpta od posmika (6.2.6(6)): $h_w/t_w = 21{,}09 \leq 72\varepsilon/\eta = 60{,}00$

Provjera izbočavanja hrpta od posmika nije potrebna.

26.1.4.3 4.3 Poprečna sila $V_{y,Ed}$ (6.2.6)

$V_{pl,y,Rd} = A_{v,y}\cdot(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0} = 2504\cdot(235/\sqrt{3})/1{,}00 = 339{,}7$ kN

$V_{y,Ed}/V_{pl,y,Rd} = 5{,}00/339{,}7 = 0{,}015 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

26.1.4.4 4.4 Savijanje (6.2.5)

$M_{c,y,Rd} = W_y\cdot f_y/\gamma_{M0} = 173{,}5\cdot10^3\cdot235/1{,}00 = 40{,}77$ kNm

$M_{c,z,Rd} = W_z\cdot f_y/\gamma_{M0} = 84{,}8\cdot10^3\cdot235/1{,}00 = 19{,}94$ kNm

$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 25{,}00/40{,}77 = 0{,}613 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0{,}00/19{,}94 = 0{,}000 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

26.1.4.5 4.5 Interakcija savijanja i poprečne sile (6.2.8)

$V_{z,Ed} = 60{,}00$ kN $\leq 0{,}5\cdot V_{pl,z,Rd} = 68{,}68$ kN → nema redukcije momentne otpornosti M_y

$V_{y,Ed} = 5{,}00$ kN $\leq 0{,}5\cdot V_{pl,y,Rd} = 169{,}84$ kN → nema redukcije momentne otpornosti M_z

26.1.4.6 4.6 Interakcija savijanja i uzdužne sile (6.2.9)

$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 40{,}00/738{,}3 = 0{,}0542$

$a = (A - 2\cdot b\cdot t_f)/A = 0{,}2424 \leq 0{,}5$

$N_{Ed} \leq 0{,}25\cdot N_{pl,Rd} = 184{,}6$ kN i $N_{Ed} \leq 0{,}5\cdot h_w\cdot t_w\cdot f_y/\gamma_{M0} = 75{,}0$ kN → $M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$ (6.33, 6.34)

$N_{Ed} \leq h_w\cdot t_w\cdot f_y/\gamma_{M0} = 149{,}9$ kN → $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 19{,}94$ kNm (6.35)

$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 25{,}00/40{,}77 = 0{,}613 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0{,}00/19{,}94 = 0{,}000 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

26.1.5 5. Otpornost elementa (HRN EN 1993-1-1, 6.3)

26.1.5.1 5.1 Fleksijsko izvijanje (6.3.1)

Krivulje izvijanja prema tablici 6.2 (h/b = 0,95, t_f = 8,5 mm, valjani presjek): os y-y → "b", os z-z → "c"

$\alpha_y = 0{,}34$; $\alpha_z = 0{,}49$ (tablica 6.1)

$N_{cr,y} = \pi^2\cdot E\cdot I_y/L_{cr,y}^2 = \pi^2\cdot210000\cdot1033{,}1\cdot10^4/5000^2 = 856{,}5$ kN

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A\cdot f_y/N_{cr,y})} = \sqrt{(738{,}3/856{,}5)} = 0{,}928$

$\Phi_y = 0{,}5\cdot[1 + \alpha_y\cdot(\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1{,}055$

$\chi_y = 1/(\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}) = 0{,}643 \leq 1{,}0$

$N_{cr,z} = \pi^2\cdot E\cdot I_z/L_{cr,z}^2 = \pi^2\cdot210000\cdot389{,}3\cdot10^4/5000^2 = 322{,}8$ kN

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A\cdot f_y/N_{cr,z})} = \sqrt{(738{,}3/322{,}8)} = 1{,}512$

$\Phi_z = 0{,}5\cdot[1 + \alpha_z\cdot(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^2] = 1{,}965$

$\chi_z = 1/(\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}) = 0{,}311 \leq 1{,}0$

$N_{b,y,Rd} = \chi_y\cdot A\cdot f_y/\gamma_{M1} = 474{,}6$ kN; $N_{b,z,Rd} = \chi_z\cdot A\cdot f_y/\gamma_{M1} = 229{,}3$ kN

$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} = 40{,}00/474{,}6 = 0{,}084 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

$N_{Ed}/N_{b,z,Rd} = 40{,}00/229{,}3 = 0{,}174 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

Torzijsko i torzijsko-fleksijsko izvijanje za dvoosno simetrične I presjeke u pravilu nije mjerodavno i nije provjeravano.

26.1.5.2 5.2 Bočno-torzijsko izvijanje (6.3.2)

$M_{cr} = C_1\cdot\pi^2\cdot E\cdot I_z/L^2\cdot\sqrt{(I_w/I_z + L^2\cdot G\cdot I_t/(\pi^2\cdot E\cdot I_z))}$

(k = k_w = 1,0; opterećenje u težištu presjeka z_g = 0; C_1 prema obliku momentnog dijagrama)

$M_{cr} = 1{,}000\cdot\pi^2\cdot210000\cdot389{,}3\cdot10^4/5000^2\cdot\sqrt{(15064\cdot10^6/(389{,}3\cdot10^4) +}$
$5000^2\cdot81000\cdot8{,}10\cdot10^4/(\pi^2\cdot210000\cdot389{,}3\cdot10^4)) = 50{,}21$ kNm

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{(W_y\cdot f_y/M_{cr})} = \sqrt{(40{,}77/50{,}21)} = 0{,}901$

Postupak za valjane ili ekvivalentne zavarene presjeke (6.3.2.3), $\bar{\lambda}_{LT,0}$ = 0,4; β = 0,75; krivulja "b" (tablica 6.5), α_{LT} = 0,34

$\Phi_{LT} = 0{,}5\cdot[1 + \alpha_{LT}\cdot(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}4) + 0{,}75\cdot\bar{\lambda}_{LT}^2] = 0{,}890$

$\chi_{LT} = 1/(\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT}^2 - 0{,}75\cdot\bar{\lambda}_{LT}^2)}) = 0{,}759 \leq 1{,}0$ i $\leq 1/\bar{\lambda}_{LT}^2$ (6.57)

$M_{b,Rd} = \chi_{LT}\cdot W_y\cdot f_y/\gamma_{M1} = 0{,}759\cdot173{,}5\cdot10^3\cdot235/1{,}00 = 30{,}96$ kNm

$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 25{,}00/30{,}96 = 0{,}808 \leq 1{,}0$ → ZADOVOLJAVA

26.1.5.3 5.3 Interakcija tlaka i savijanja (6.3.3, Dodatak B – metoda 2)

$C_{my} = 0{,}6 + 0{,}4 \cdot \psi_y = 0{,}6 + 0{,}4 \cdot 1{,}00 = 1{,}000 \geq 0{,}4$ (tablica B.3)

$C_{mz} = 0{,}6 + 0{,}4 \cdot \psi_z = 1{,}000$; $C_{mLT} = 0{,}6 + 0{,}4 \cdot \psi_{LT} = 1{,}000$

$k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) \cdot N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1})] \leq C_{my} \cdot [1 + 0{,}8 \cdot N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1})] = 1{,}061$

$k_{zz} = C_{mz} \cdot [1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0{,}6) \cdot N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1})] \leq C_{mz} \cdot [1 + 1{,}4 \cdot N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1})] = 1{,}244$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}747$

$k_{zy} = 1 - 0{,}1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}/[(C_{mLT} - 0{,}25) \cdot \chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}] \geq 1 - 0{,}1 \cdot N_{Ed}/[(C_{mLT} - 0{,}25) \cdot \chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}] = 0{,}977$

(tablica B.2)

$N_{Rk} = A \cdot f_y = 738{,}3$ kN; $M_{y,Rk} = W_y \cdot f_y = 40{,}77$ kNm; $M_{z,Rk} = W_z \cdot f_y = 19{,}94$ kNm

(6.61): $N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/\gamma_{M1})$

$= 40{,}00/474{,}6 + 1{,}061 \cdot 25{,}00/30{,}96 + 0{,}747 \cdot 0{,}00/19{,}94$

Iskorištenost (6.61) = 0,941 ≤ 1,0 → ZADOVOLJAVA

(6.62): $N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/\gamma_{M1})$

$= 40{,}00/229{,}3 + 0{,}977 \cdot 25{,}00/30{,}96 + 1{,}244 \cdot 0{,}00/19{,}94$

Iskorištenost (6.62) = 0,963 ≤ 1,0 → ZADOVOLJAVA

26.1.6 6. Sažetak provjera

Provjera	Iskorištenost	%	Status
Tlak $N_{Ed}/N_{c,Rd}$ (6.9)	0,054	5,4 %	ZADOVOLJAVA
Posmik $V_{z,Ed}/V_{pl,z,Rd}$ (6.17)	0,437	43,7 %	ZADOVOLJAVA
Posmik $V_{y,Ed}/V_{pl,y,Rd}$ (6.17)	0,015	1,5 %	ZADOVOLJAVA
Savijanje $M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd}$ (6.12)	0,613	61,3 %	ZADOVOLJAVA
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd}$ (6.31)	0,613	61,3 %	ZADOVOLJAVA
Izvijanje $N_{Ed}/N_{b,y,Rd}$ (6.46)	0,084	8,4 %	ZADOVOLJAVA
Izvijanje $N_{Ed}/N_{b,z,Rd}$ (6.46)	0,174	17,4 %	ZADOVOLJAVA
BTI $M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$ (6.54)	0,808	80,8 %	ZADOVOLJAVA
Interakcija (6.61)	0,941	94,1 %	ZADOVOLJAVA
Interakcija (6.62)	0,963	96,3 %	ZADOVOLJAVA

ZAKLJUČAK: Presjek HEA 140 (S235) ZADOVOLJAVA. Najveća iskorištenost: 96,3 %

26.1.7 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

SteelBeam
Continuous steel beam · EN 1993-1-1

27 Program SteelBeam

STATIČKI PRORAČUN KONTINUIRANE ČELIČNE GREDE

Dokazi graničnih stanja nosivosti (GSN) i uporabljivosti (GSU)

prema HRN EN 1990, HRN EN 1991 i HRN EN 1993-1-1

Projekt: Hala

Pozicija: POS 1 – krovni nosac

Datum: 16-Nov-26

27.1 Ulazni podaci

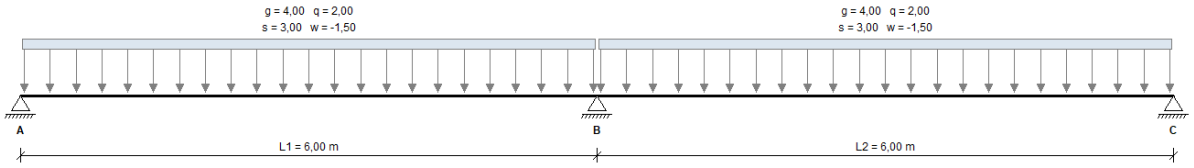
27.1.1 1.1 Materijal i poprečni presjek

Čelik S355: fy = 355 N/mm²; E = 210 000 N/mm²; G = 81 000 N/mm²
Profil: IPE 270 (vrućevaljani I/H profil)
Parcijalni faktori otpornosti: γM0 = 1,00; γM1 = 1,00

27.1.2 1.2 Statička shema i opterećenja

Kontinuirani nosač preko 2 polja, ukupne duljine 12,00 m. Lijevi kraj: zglobno oslonjen; desni kraj: zglobno oslonjen. Unutarnji ležajevi su nepomični zglobni.

Statička shema i karakteristična opterećenja [kN/m]



Vlastita težina profila g0 = 0,361 kN/m dodaje se stalnom opterećenju g. w > 0 prema dolje, w < 0 odizanje.

Polje	L [m]	g [kN/m]	q [kN/m]	s [kN/m]	w [kN/m]
1	6,00	4,00	2,00	3,00	-1,50
2	6,00	4,00	2,00	3,00	-1,50

g – dodatno stalno opterećenje; q – uporabno opterećenje; s – snijeg; w – vjetar (okomita komponenta: + prema dolje, – odizanje). Vlastita težina profila g0 = 0,361 kN/m dodana je stalnom opterećenju.

27.1.3 1.3 Kombinacije djelovanja

GSN – izraz (6.10) HRN EN 1990:

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\gamma_{G,sup} = 1,35;\ \gamma_{G,inf} = 1,00;\ \gamma_Q = 1,50)$$

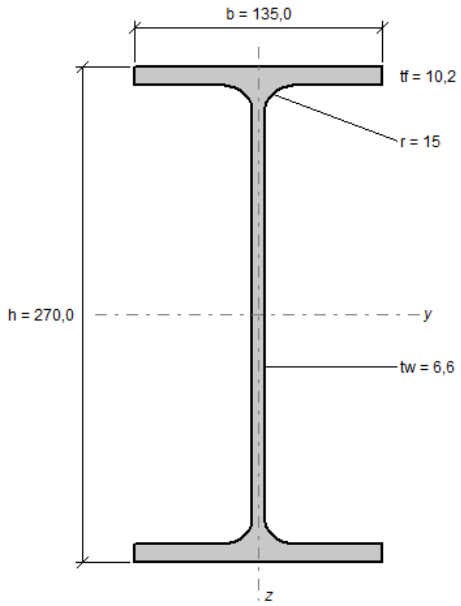
GSU – karakteristična kombinacija:

$$E_d = G_k + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Faktori kombinacije ψ0: uporabno opterećenje 0,00; snijeg 0,50; vjetar 0,60.
Svako promjenjivo djelovanje razmatra se redom kao prevladavajuće, a ostala s faktorom ψ0. Promjenjiva djelovanja nanose se samo u polja u kojima djeluju nepovoljno na promatranu veličinu (šahovski raspored), pa su prikazane anvelope mjerodavne za svaki presjek nosača. Stalno djelovanje uzima se s istim faktorom γG,sup ili γG,inf u svim poljima.

27.2 Poprečni presjek

Poprečni presjek: IPE 270 – S355



IPE 270 (S355)

A = 45,95 cm²
Iy = 5790 cm⁴
Wel,y = 428,9 cm³
Wpl,y = 484,0 cm³
iy = 11,23 cm
Iz = 419,9 cm⁴
iz = 3,02 cm
It = 15,90 cm⁴
Iw = 70849 cm⁶
Av,z = 22,14 cm²
masa = 36,1 kg/m

mjere u mm

SteelBeam

Veličina	Vrijednost	Veličina	Vrijednost
h	270,0 mm	A	45,95 cm²
b	135,0 mm	Iy	5790 cm⁴
tw	6,6 mm	Wel,y	428,9 cm³
tf	10,2 mm	Wpl,y	484,0 cm³
r	15,0 mm	Iz	419,9 cm⁴
Av,z	22,14 cm²	It	15,90 cm⁴
masa	36,1 kg/m	Iw	70849 cm⁶

Presječne veličine izračunate su iz nazivnih mjera profila (uključivo zaobljenja).

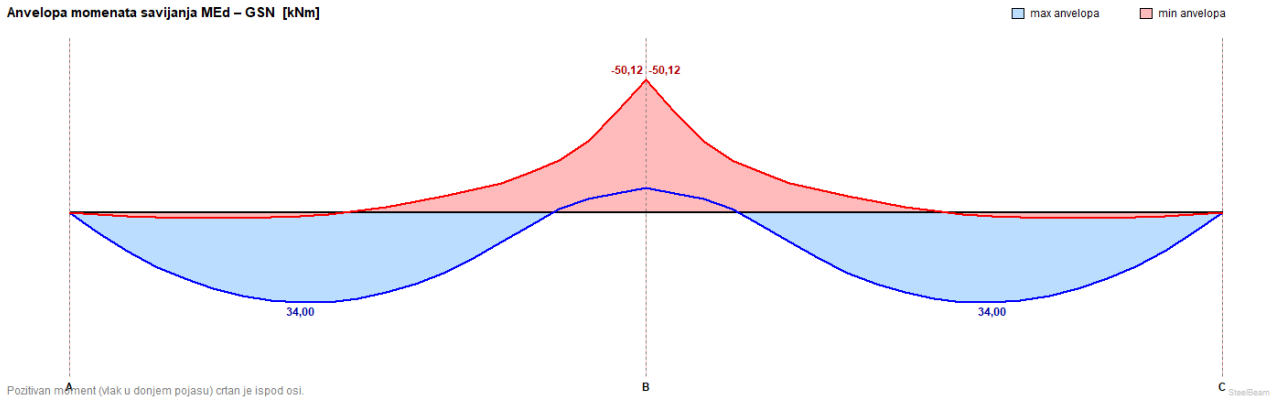
27.2.1 2.1 Klasifikacija poprečnog presjeka (savijanje oko osi y)

ε = √(235 / fy) = √(235 / 355) = 0,814
Pojasnica (tlačni prepust): c/tf = 4,82; 9ε = 7,32; 10ε = 8,14; 14ε = 11,39 → klasa 1
Hrbat (savijanje): c/tw = 33,27; 72ε = 58,58; 83ε = 67,53; 124ε = 100,89 → klasa 1
Poprečni presjek je klase 1.

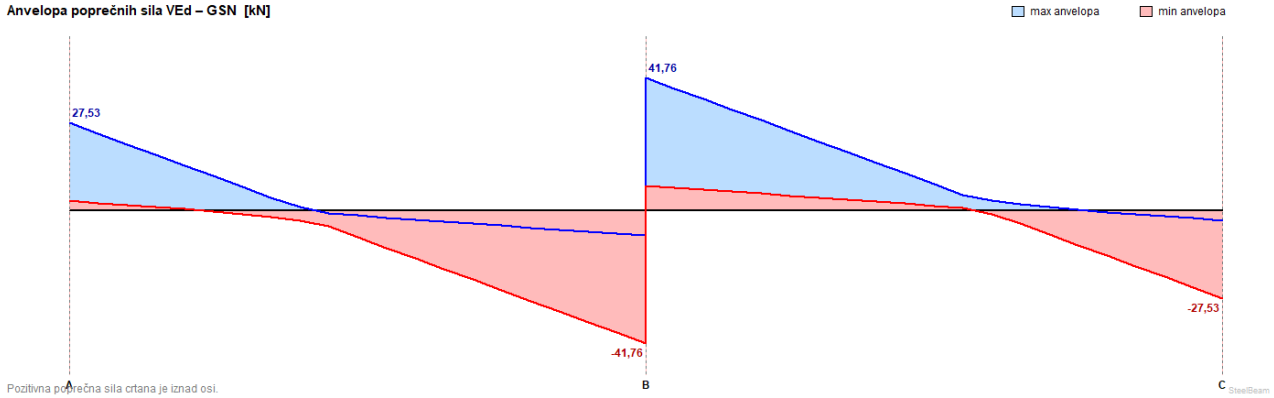
27.3 Rezultati statičkog proračuna

Unutarnje sile određene su metodom konačnih elemenata (gredni elementi, 20 elemenata po polju, EIy = 12159 kNm²).
Prikazane su anvelope GSN kombinacija.

27.3.1 3.1 Momenti savijanja

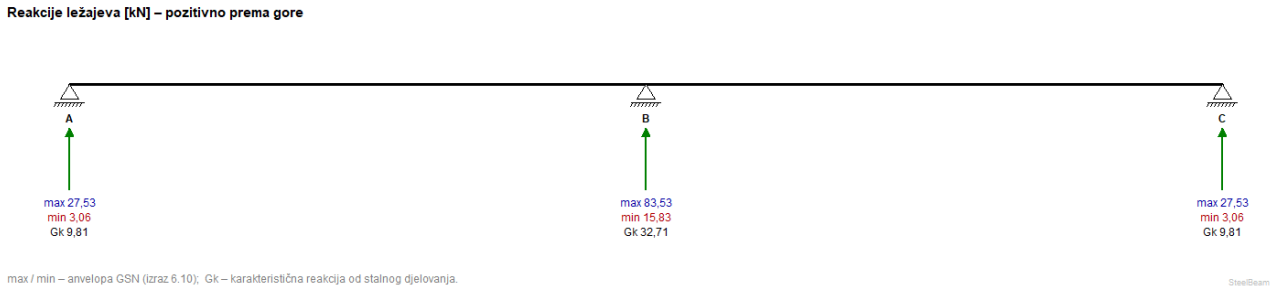


27.3.2 3.2 Poprečne sile



Polje	MEd,max [kNm]	MEd,min [kNm]	|VEd|,max [kN]
1	34,00	-50,12	41,76
2	34,00	-50,12	41,76

27.3.3 3.3 Reakcije ležajeva



Ležaj	x [m]	Gk	Qk,max	Qk,min	Sk,max	Wk,max	Wk,min	REd,max	REd,min
A	0,00	9,81	5,25	-0,75	7,87	0,56	-3,94	27,53	3,06
B	6,00	32,71	15,00	0,00	22,50	0,00	-11,25	83,53	15,83
C	12,00	9,81	5,25	-0,75	7,88	0,56	-3,94	27,53	3,06

Reakcije su u kN, pozitivne prema gore. Karakteristične vrijednosti promjenjivih djelovanja su anvelope za nepovoljan raspored po poljima; REd su anvelope GSN kombinacija.

27.4 Dokazi graničnog stanja nosivosti (GSN)

27.4.1 4.1 Otpornost poprečnog presjeka

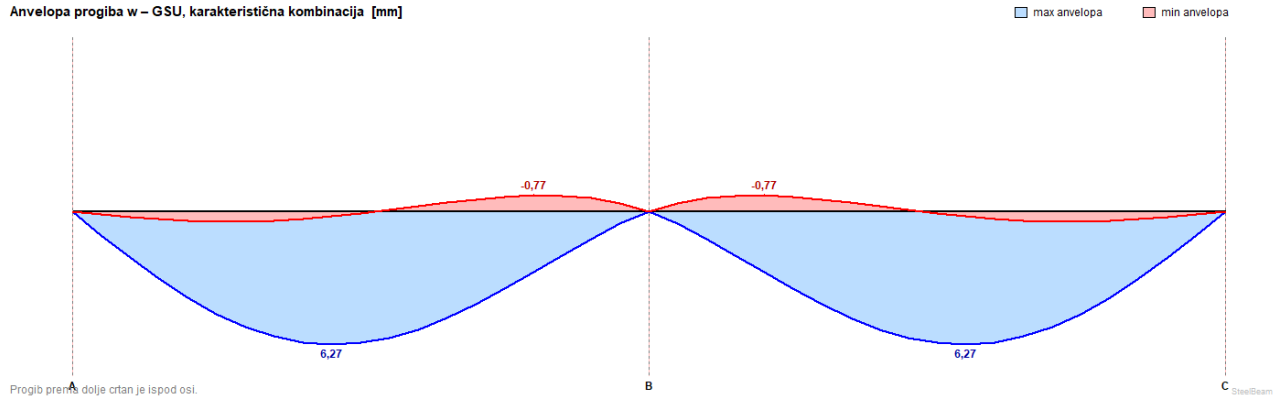
Klasa 1 – plastična otpornost: $W_y = W_{pl,y} = 484{,}0\ cm^3$

Mc,Rd = Wy · fy / γM0 = 484,0 cm³ × 355 N/mm² / 1,00 = 171,82 kNm
Vpl,Rd = Av,z · (fy / √3) / γM0 = 22,14 cm² × (355 / √3) N/mm² / 1,00 = 453,74 kN
Posmično izbočavanje hrpta: hw/tw = 37,82 ≤ 72ε/η = 58,58 (η = 1,0) – provjera nije potrebna.
Interakcija M–V (6.2.8): za VEd > 0,5 Vpl,Rd otpornost na savijanje reducira se s ρ = (2VEd / Vpl,Rd – 1)², My,V,Rd = (Wpl,y – ρ Aw² / 4tw) fy / γM0. Konzervativno se u svakom presjeku istodobno uzimaju najveće vrijednosti |MEd| i |VEd| iz anvelopa.
Bočno-torzijsko izvijanje (6.3.2): Mcr = C1 · π² E Iz / Lcr² · √(Iw/Iz + Lcr² G It / (π² E Iz)), opterećenje u središtu posmika; λ_LT = √(Wy fy / Mcr); krivulja prema 6.3.2.3 (valjani profili, λ_LT,0 = 0,4; β = 0,75; h/b ≤ 2: α_LT = 0,34, h/b > 2: α_LT = 0,49).
Duljina izvijanja Lcr = duljina polja; C1 = 1,00.

27.4.2 4.2 Dokazi po poljima

Polje 1 (L = 6,00 m)
Savijanje: MEd / Mc,Rd = 50,12 / 171,82 = 0,292 ≤ 1,0 – zadovoljava
Posmik: VEd / Vpl,Rd = 41,76 / 453,74 = 0,092 ≤ 1,0 – zadovoljava
Interakcija M–V: VEd = 41,76 ≤ 0,5 Vpl,Rd = 226,87 – nema redukcije.
BTI: Lcr = 6,00 m; Mcr = 64,03 kNm; λ_LT = 1,638; χ_LT = 0,373; Mb,Rd = χ_LT Wy fy / γM1 = 64,03 kNm
MEd / Mb,Rd = 50,12 / 64,03 = 0,783 ≤ 1,0 – zadovoljava
Polje 2 (L = 6,00 m)
Savijanje: MEd / Mc,Rd = 50,12 / 171,82 = 0,292 ≤ 1,0 – zadovoljava
Posmik: VEd / Vpl,Rd = 41,76 / 453,74 = 0,092 ≤ 1,0 – zadovoljava
Interakcija M–V: VEd = 41,76 ≤ 0,5 Vpl,Rd = 226,87 – nema redukcije.
BTI: Lcr = 6,00 m; Mcr = 64,03 kNm; λ_LT = 1,638; χ_LT = 0,373; Mb,Rd = χ_LT Wy fy / γM1 = 64,03 kNm
MEd / Mb,Rd = 50,12 / 64,03 = 0,783 ≤ 1,0 – zadovoljava

27.5 Dokazi graničnog stanja uporabljivosti (GSU)



Granične vrijednosti progiba: ukupni progib wmax ≤ L/250; progib od promjenjivih djelovanja w2 ≤ L/300.
Polje 1 (L = 6,00 m)
Ukupni progib: wmax = 6,27 mm; L/250 = 24,00 mm; 6,27 / 24,00 = 0,261 ≤ 1,0 – zadovoljava
Progib prema gore (odizanje): wup = 0,77 mm; 0,77 / 24,00 = 0,032 ≤ 1,0 – zadovoljava
Progib od promjenjivih djelovanja: w2 = 3,78 mm; L/300 = 20,00 mm; 3,78 / 20,00 = 0,189 ≤ 1,0 – zadovoljava
Polje 2 (L = 6,00 m)
Ukupni progib: wmax = 6,27 mm; L/250 = 24,00 mm; 6,27 / 24,00 = 0,261 ≤ 1,0 – zadovoljava
Progib prema gore (odizanje): wup = 0,77 mm; 0,77 / 24,00 = 0,032 ≤ 1,0 – zadovoljava
Progib od promjenjivih djelovanja: w2 = 3,78 mm; L/300 = 20,00 mm; 3,78 / 20,00 = 0,189 ≤ 1,0 – zadovoljava

27.6 Zaključak

Polje	M	V	M–V	BTI	w uk.	w prom.
1	29,2 %	9,2 %	29,2 %	78,3 %	26,1 %	18,9 %
2	29,2 %	9,2 %	29,2 %	78,3 %	26,1 %	18,9 %

Najveća iskoristivost: 78,3 %

Profil IPE 270 (S355) ZADOVOLJAVA sve provedene dokaze GSN i GSU.

Napomena

Proračun ne obuhvaća lokalne dokaze na mjestima ležajeva (unos koncentriranih sila, ukrućenja), uzdužne sile, dokaze priključaka, zamor ni dinamičke učinke.

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

Izvještaj je izrađen programom SteelBeam.

28 SteelJoint Designer



SteelJoint Designer 1.0

Proračun spoja: Ploča na hrptu (fin plate)

Projekt: Novi projekt Oznaka spoja: S1 Projektant:

Proračun prema HRN EN 1993-1-8:2012 (Eurokod 3, dio 1-8: Proračun spojeva) i HRN EN 1993-1-1:2014.

28.1 1. Ulazni podaci

28.1.1 Elementi

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Greda	IPE 300	
Stup	HEB 200	
Priključak na	Pojasnica stupa	
Čelik	S235	

28.1.2 Ploča

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Debljina ploče tp	10	mm
Rub ploče e1 (vertikalno)	40	mm
Rub ploče e2 (slobodni rub)	40	mm
Razmak greda - oslonac g	10	mm
Kraj grede - prvi vijak e2b	40	mm
Vrh ploče ispod vrha grede (0=sredina)	0	mm

28.1.3 Vijci

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Vijak	M20	
Razred čvrstoće	8.8	
Broj redova n1	3	
Broj stupaca n2	1	
Razmak p1 (vertikalno)	70	mm
Razmak p2 (horizontalno)	60	mm

28.1.4 Zavar

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Kutni zavar ploče a	5	mm

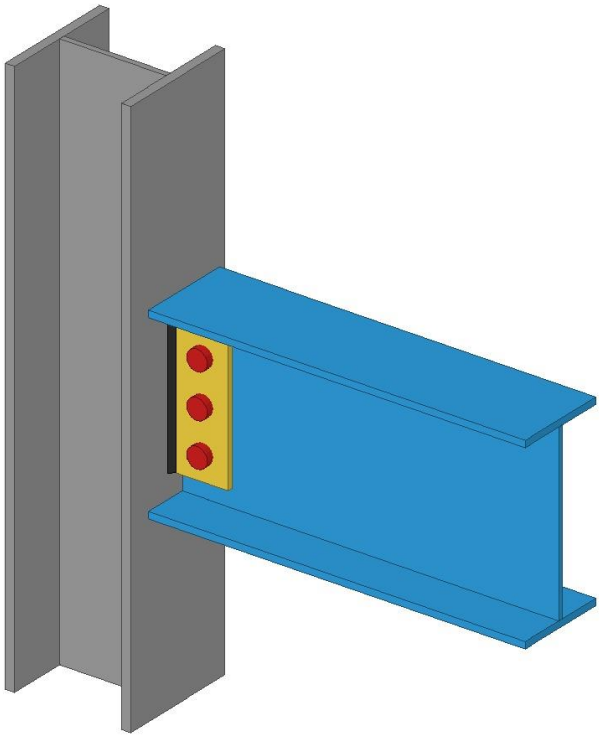
28.1.5 Opterećenje

Veličina	Vrijednost	Jedinica
Poprečna sila VEd	120	kN
Uzdužna sila NEd (vlak +)	0	kN

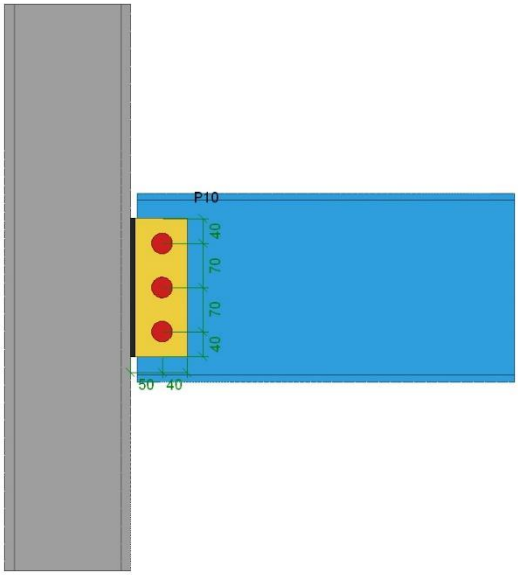
28.1.6 Parcijalni faktori

Veličina	Vrijednost	Jedinica
γM0 (otpornost poprečnih presjeka)	1,00	
γM1 (stabilnost)	1,00	
γM2 (vijci, zavari, neto presjek)	1,25	

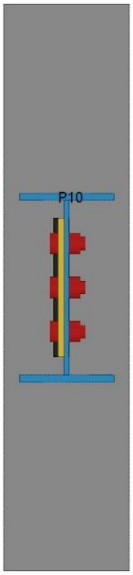
28.2 2. Skice spoja



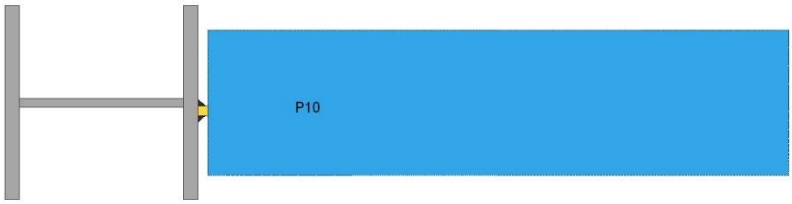
Slika 1: Aksonometrijski prikaz



Slika 2: Pogled sprijeda



Slika 3: Bočni pogled



Slika 4: Tlocrt

28.3 3. Proračun nosivosti

Greda je hrptom vijcima spojena na ploču koja je dvostranim kutnim zavarom zavarena na pojasnica stupa. Spoj se smatra zglobnim; ekscentricitet poprečne sile u odnosu na težište grupe vijaka uzima se u obzir.

28.3.1 3.1 Geometrija

Visina ploče $h_p = 2 \cdot e_1 + (n_1 - 1) \cdot p_1 = 220{,}0$ mm

Širina ploče $b_p = g + e_{2b} + (n_2 - 1) \cdot p_2 + e_2 = 90{,}0$ mm

Krak sile do težišta vijaka $z = g + e_{2b} + (n_2 - 1) \cdot p_2/2 = 50{,}0$ mm

Rubni razmak $e_1 \geq 1{,}2 \cdot d_0$: 26,40 ≤ 40,00 mm η = 66,0 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.3]

Rubni razmak $e_2 \geq 1{,}2 \cdot d_0$: 26,40 ≤ 40,00 mm η = 66,0 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.3]

Razmak $p_1 \geq 2{,}2 \cdot d_0$: 48,40 ≤ 70,00 mm η = 69,1 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.3]

Rubni razmak u hrptu grede $e_{2b} \geq 1{,}2 \cdot d_0$: 26,40 ≤ 40,00 mm η = 66,0 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.3]

Visina ploče $h_p \leq h - 2t_f - 2r$: 220,00 ≤ 248,60 mm η = 88,5 % **ZADOVOLJAVA** [konstr.]

28.3.2 3.2 Sile u vijcima

$M = V_{Ed} \cdot z = 120{,}00 \cdot 50{,}0 = 6{,}00$ kNm; $I_p = \Sigma(y^2 + z^2) = 9800$ mm²

Najopterećeniji vijak: $F_{v,z} = 40{,}00$ kN, $F_{v,x} = 42{,}86$ kN, $F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{v,z}^2 + F_{v,x}^2)} = 58{,}62$ kN

Otpornost vijka na posmik (navoj u ravnini posmika): $F_{v,Rd} = n_s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s/\gamma_{M2} = 1 \cdot 0{,}60 \cdot 800 \cdot 245{,}0/1{,}25 = 94{,}08$ kN

Vijci - posmik: 58,62 ≤ 94,08 kN η = 62,3 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.4]

28.3.3 3.3 Pritisak po omotaču rupe

Ploča, vertikalno: $\alpha_b = 0{,}606$, $k_1 = 2{,}500$, $t = 10{,}0$ mm, $f_u = 360$ MPa -> $F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t/\gamma_{M2} = 87{,}27$ kN

Ploča, horizontalno: $\alpha_b = 0{,}606$, $k_1 = 2{,}500$, $t = 10{,}0$ mm, $f_u = 360$ MPa -> $F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t/\gamma_{M2} = 87{,}27$ kN

Ploča - pritisak po omotaču rupe $(F_z/F_{b,ver})^2 + (F_x/F_{b,hor})^2$: 0,672 ≤ 1,000 η = 67,2 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.4]

Hrbat grede, vertikalno: $\alpha_b = 0{,}811$, $k_1 = 2{,}500$, $t = 7{,}1$ mm, $f_u = 360$ MPa -> $F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 82{,}88$ kN

Hrbat grede, horizontalno: $\alpha_b = 0{,}606$, $k_1 = 2{,}500$, $t = 7{,}1$ mm, $f_u = 360$ MPa -> $F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 61{,}96$ kN

Hrbat grede - pritisak po omotaču rupe (interakcija): 0,843 ≤ 1,000 η = 84,3 % **ZADOVOLJAVA** [Tab. 3.4]

28.3.4 3.4 Ploča

Posmik bruto: $V_{pl,Rd} = h_p \cdot t_p \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 298{,}49$ kN

Ploča - posmik bruto presjeka: 120,00 ≤ 298,49 kN η = 40,2 % **ZADOVOLJAVA** [EN 1993-1-1, 6.2.6]

Posmik neto: $V_{u,Rd} = t_p(h_p - n_1 \cdot d_0) \cdot f_u / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}) = 256{,}07$ kN

Ploča - posmik neto presjeka: 120,00 ≤ 256,07 kN η = 46,9 % **ZADOVOLJAVA** [3.10]

Cijepanje bloka: $A_{nt} = 290$ mm², $A_{nv} = 1250$ mm², $V_{eff,2,Rd} = 0{,}5 f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y \cdot A_{nv} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 211{,}36$ kN

Ploča - cijepanje bloka: 120,00 ≤ 211,36 kN η = 56,8 % **ZADOVOLJAVA** [3.10.2(3)]

Savijanje uz zavar: $\sigma = N/A + V \cdot z / W_{el} = 0{,}0 + 74{,}4 = 74{,}4$ MPa

Ploča - savijanje i uzdužna sila: 74,38 ≤ 235,00 MPa η = 31,7 % **ZADOVOLJAVA** [EN 1993-1-1, 6.2.1]

28.3.5 3.5 Greda

$A_v = 2568$ mm², $V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 348{,}44$ kN

Hrbat grede - posmik: 120,00 ≤ 348,44 kN η = 34,4 % **ZADOVOLJAVA** [EN 1993-1-1, 6.2.6]

28.3.6 3.6 Kutni zavar ploče (obostrano)

$l_{eff} = h_p - 2a = 210{,}0$ mm; $\tau_\parallel = V/(2a \cdot l)$; $nb = N/(2a \cdot l) + 6M/(2a \cdot l^2) = 81{,}6$ MPa; $\sigma_\perp = \tau_\perp = nb/\sqrt{2}$

$\sigma_\perp = 57{,}7$ MPa, $\tau_\perp = 57{,}7$ MPa, $\tau_\parallel = 57{,}1$ MPa, $\beta_w = 0{,}80$

$\sqrt{[\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)]} = 152{,}1$ MPa ≤ $f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360{,}0$ MPa

Zavar ploče - ekvivalentno naprezanje: 152,06 ≤ 360,00 MPa η = 42,2 % **ZADOVOLJAVA** [4.5.3.2(6)]

Zavar ploče - okomito naprezanje $\sigma_\perp$: 57,72 ≤ 259,20 MPa η = 22,3 % **ZADOVOLJAVA** [4.5.3.2(6)]

Napomena: Za duktilnost zglobnog spoja preporučuje se $a \geq 0{,}5 \cdot t_p$ (S235) odnosno $a \geq 0{,}6 \cdot t_p$ (S355).

28.4 4. Zaključak

Svi provjereni uvjeti nosivosti i konstrukcijski uvjeti su zadovoljeni. Maksimalna iskoristivost iznosi 88,5 %.

28.5 5. Pregled provjera

Br.	Provjera	Ed	Rd	Jed.	η [%]	Status
1	Rubni razmak e1 ≥ 1,2·d0	26,40	40,00	mm	66,0	ZADOVOLJAVA
2	Rubni razmak e2 ≥ 1,2·d0	26,40	40,00	mm	66,0	ZADOVOLJAVA
3	Razmak p1 ≥ 2,2·d0	48,40	70,00	mm	69,1	ZADOVOLJAVA
4	Rubni razmak u hrptu grede e2b ≥ 1,2·d0	26,40	40,00	mm	66,0	ZADOVOLJAVA
5	Visina ploče hp ≤ h - 2tf - 2r	220,00	248,60	mm	88,5	ZADOVOLJAVA
6	Vijci - posmik	58,62	94,08	kN	62,3	ZADOVOLJAVA
7	Ploča - pritisak po omotaču rupe (Fz/Fb,ver)² + (Fx/Fb,hor)²	0,67	1,00		67,2	ZADOVOLJAVA
8	Hrbat grede - pritisak po omotaču rupe (interakcija)	0,84	1,00		84,3	ZADOVOLJAVA
9	Ploča - posmik bruto presjeka	120,00	298,49	kN	40,2	ZADOVOLJAVA
10	Ploča - posmik neto presjeka	120,00	256,07	kN	46,9	ZADOVOLJAVA
11	Ploča - cijepanje bloka	120,00	211,36	kN	56,8	ZADOVOLJAVA
12	Ploča - savijanje i uzdužna sila	74,38	235,00	MPa	31,7	ZADOVOLJAVA
13	Hrbat grede - posmik	120,00	348,44	kN	34,4	ZADOVOLJAVA
14	Zavar ploče - ekvivalentno naprezanje	152,06	360,00	MPa	42,2	ZADOVOLJAVA
15	Zavar ploče - okomito naprezanje σ⊥	57,72	259,20	MPa	22,3	ZADOVOLJAVA

Maksimalna iskoristivost: 88,5 % - ZADOVOLJAVA

28.6 6. O programu

SteelJoint Designer 1.0
Proračun vijčanih i zavarenih spojeva čeličnih profila - HRN EN 1993-1-8
Proračun prema HRN EN 1993-1-8:2012 (Eurokod 3, dio 1-8: Proračun spojeva) i HRN EN 1993-1-1:2014.
Izrađeno: 17.11.2026. 19:27
Napomena: Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

CompositeBeam
steel · concrete · timber — EN 1992 · 1994 · 1995

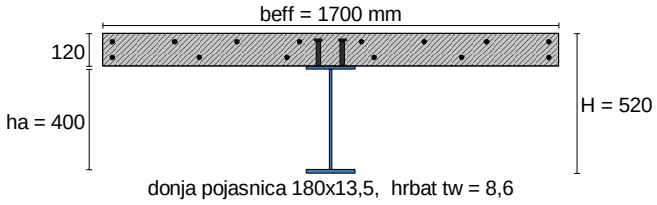
29 Program CompositeBeam

Spregnuta greda POS 1 - spregnuta greda čelik-beton

29.1.1 Ulazni podaci

Statički sustav: kontinuirani nosač, broj raspona n = 3, rasponi L = 8,00; 10,00; 8,00 m, ukupna duljina 26,00 m
Rubni uvjeti: krajnji ležajevi zglobni
Opterećenje: dodatno stalno g = 5,00 kN/m, vlastita težina g0 = 8,13 kN/m, ukupno stalno gk = 13,13 kN/m, promjenjivo qk = 7,50 kN/m
Parcijalni faktori: γG = 1,35 (povoljno 1,00), γQ = 1,50, ψ1 = 0,50, ψ2 = 0,30
Promjenjivo opterećenje postavljeno je po rasponima u najnepovoljniji raspored (anvelopa).
Ploča: hc = 120 mm, beton C30, razmak greda B = 2500 mm, armatura gore 565 mm²/m, dolje 393 mm²/m (Ø12, c = 25 mm), B500, ϕ = 2,50
Čelični profil: ha = 400,0, gornja pojasnica 180,0×13,5, donja pojasnica 180,0×13,5, hrbat tw = 8,6 mm, fy = 355 MPa

Ploča C30
Čelik S355
Moždanici Ø19/100
Armatura B500



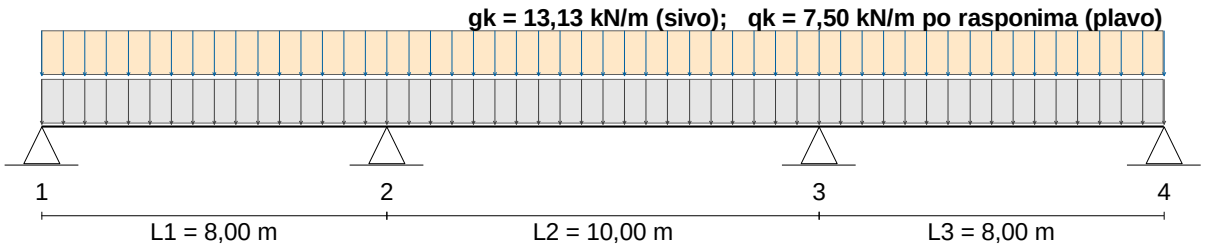
Mjere u mm

Slika 1: Poprečni presjek

Sudjelujuća širina ploče: polja beff = 1700 mm (raspon 1), nad ležajevima prema 0,25(L1+L2).

Raspon	L [m]	Le [m]	beff [mm]
1	8,00	6,80	1700
2	10,00	7,00	1750
3	8,00	6,80	1700

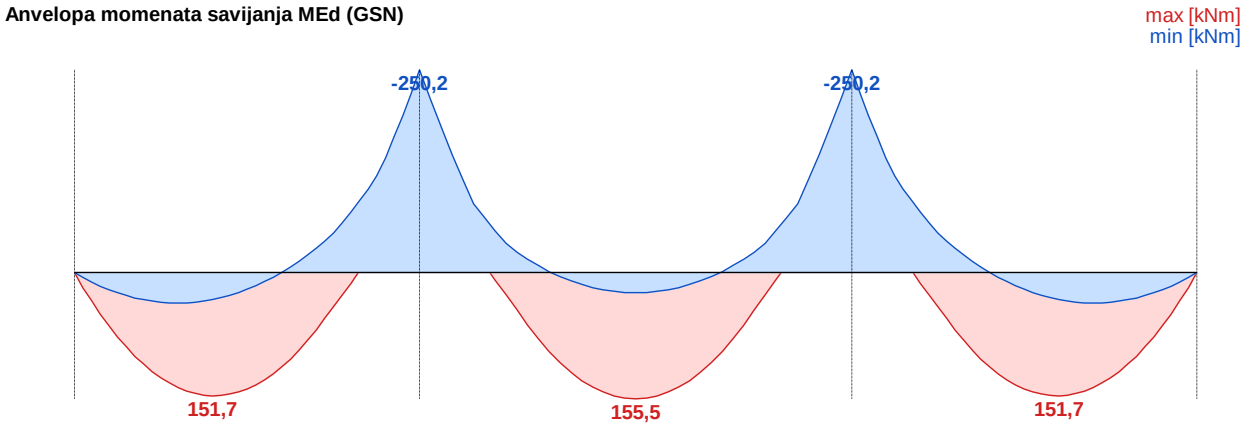
Statički sustav i opterećenje



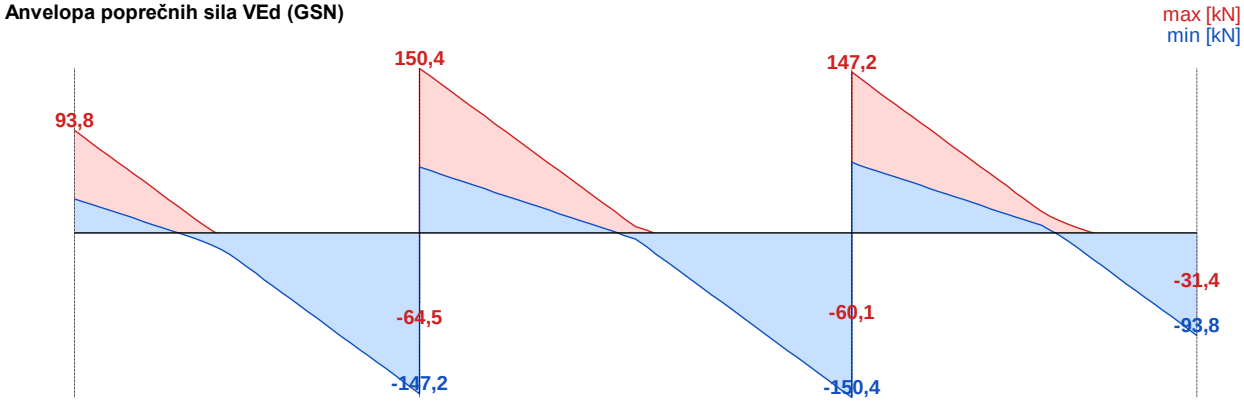
Slika 2: Statički sustav i opterećenje

29.1.2 Unutarnje sile i reakcije

Proračun metodom konačnih elemenata (40 elemenata po rasponu), linearno-elastično, krutost raspona prema neraspucanom spregnutom presjeku (kratkotrajno).



Slika 3: Anvelopa momenata savijanja MEd (GSN)

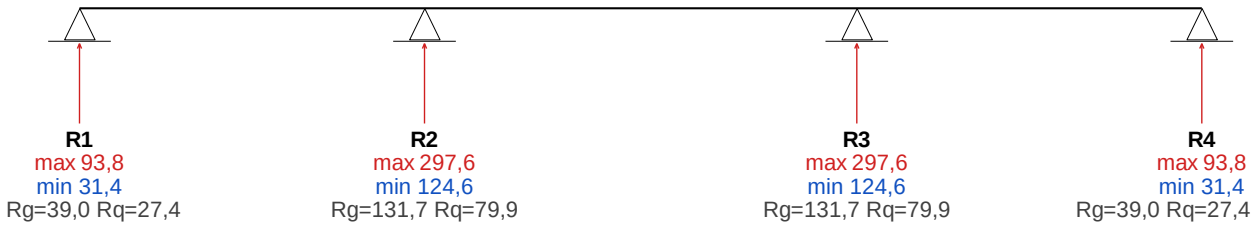


Slika 4: Anvelopa poprečnih sila VEd (GSN)

Raspon	MEd,max polje [kNm]	x [m]	MEd,min lijevo [kNm]	MEd,min desno [kNm]	VEd,max [kN]
1	151,7	3,20	0,0	-250,2	147,2
2	155,5	13,00	-250,2	-250,2	150,4
3	151,7	22,80	-250,2	0,0	147,2

29.1.2.1 Reakcije

Ležaj	x [m]	Rg,k [kN]	Rq,k max [kN]	Rq,k min [kN]	REd,max [kN]	REd,min [kN]
1	0,00	39,0	27,4	-5,1	93,8	31,4
2	8,00	131,7	79,9	-4,7	297,6	124,6
3	18,00	131,7	79,9	-4,7	297,6	124,6
4	26,00	39,0	27,4	-5,1	93,8	31,4



Slika 5: Reakcije ležajeva

29.1.3 Karakteristike poprečnog presjeka

Odnos modula: n0 = Ea/Ecm = 210000/32837 = 6,40; nL = n0(1 + ψLϕt) = 23,98 (ψL = 1,1; ϕt = 2,50)

Raspon	beff [mm]	A0 [cm2]	yNA,0 [mm]	I0 [cm4]	yNA,L [mm]	IL [cm4]	Mpl,Rd+ [kNm]
1	1700	415,9	409,8	69887	345,2	53595	774,6
2	1750	425,8	410,9	70249	347,1	54021	778,6
3	1700	415,9	409,8	69887	345,2	53595	774,6

29.1.4 Granično stanje nosivosti (GSN)

Plastična posmična otpornost: Vpl,Rd = hw·tw·fy/(√3·γM0) = 373,0·8,6·355/√3 = 657,5 kN

29.1.4.1 Pozitivni momenti savijanja (polja)

Polje 1 (x = 3,20 m): plastična neutralna os y = 420,9 mm od dna, klasa presjeka 1
Savijanje polje 1: MEd = 151,7 kNm ≤ Mpl,Rd = 774,6 kNm η = 0,196 ZADOVOLJAVA
Polje 2 (x = 13,00 m): plastična neutralna os y = 423,7 mm od dna, klasa presjeka 1
Savijanje polje 2: MEd = 155,5 kNm ≤ Mpl,Rd = 778,6 kNm η = 0,200 ZADOVOLJAVA
Polje 3 (x = 22,80 m): plastična neutralna os y = 420,9 mm od dna, klasa presjeka 1
Savijanje polje 3: MEd = 151,7 kNm ≤ Mpl,Rd = 774,6 kNm η = 0,196 ZADOVOLJAVA

29.1.4.2 Negativni momenti savijanja (ležajevi)

Ležaj 2: klasa pojasnice 1 (c/t = 6,35), klasa hrpta 2 (α = 0,706), mjerodavna klasa 2
Savijanje ležaj 2: MEd = 250,2 kNm ≤ M Rd = 545,9 kNm η = 0,458 ZADOVOLJAVA
Ležaj 3: klasa pojasnice 1 (c/t = 6,35), klasa hrpta 2 (α = 0,706), mjerodavna klasa 2
Savijanje ležaj 3: MEd = 250,2 kNm ≤ M Rd = 545,9 kNm η = 0,458 ZADOVOLJAVA

29.1.4.3 Poprečna sila

Poprečna sila raspon 1: VEd = 147,2 kN ≤ Vpl,Rd = 657,5 kN η = 0,224 ZADOVOLJAVA
Poprečna sila raspon 2: VEd = 150,4 kN ≤ Vpl,Rd = 657,5 kN η = 0,229 ZADOVOLJAVA
Poprečna sila raspon 3: VEd = 147,2 kN ≤ Vpl,Rd = 657,5 kN η = 0,224 ZADOVOLJAVA

29.1.5 Sprezanje - moždanici s glavom (HRN EN 1994-1-1, 6.6)

Moždanik Ø19 mm, hsc = 100 mm, fu = 450 MPa, 2 kom u poprečnom redu
PRd,1 = 0,8·fu·πd²/4/γV = 81,66 kN
PRd,2 = 0,29·α·d²·√(fck·Ecm)/γV = 83,13 kN (α = 1,00)
PRd = 81,66 kN po moždaniku
Razmak moždanika: smin = 5d = 95 mm, smax = min(6h; 800) = 720 mm

Posmični tok prema elastičnoj teoriji: vL,Ed = VEd·Sc/I0 (neraspucani presjek, n0), uz kontrolu potpunog sprezanja (plastični uvjet: Nc,f = Fc + As·fsd između točke nultog i maksimalnog momenta).
Raspon 1, dio 0,00–3,20 m: Nc,f = 2864,1 kN, potrebno n ≥ 35,1 moždanika
Raspon 1, dio 3,20–8,00 m: Nc,f = 3332,7 kN, potrebno n ≥ 40,8 moždanika
Raspon 2, dio 8,00–13,00 m: Nc,f = 3332,7 kN, potrebno n ≥ 40,8 moždanika
Raspon 2, dio 13,00–18,00 m: Nc,f = 3332,7 kN, potrebno n ≥ 40,8 moždanika
Raspon 3, dio 18,00–22,80 m: Nc,f = 3332,7 kN, potrebno n ≥ 40,8 moždanika
Raspon 3, dio 22,80–26,00 m: Nc,f = 2864,1 kN, potrebno n ≥ 35,1 moždanika

Raspon	Zona x [m]	vL,Ed [kN/m]	s potr. [mm]	s usvoj. [mm]	Broj moždanika
1	0,00 – 0,80	227,1	182	175	10
1	0,80 – 1,60	171,0	183	175	10
1	1,60 – 2,40	114,8	183	175	10
1	2,40 – 3,20	58,7	183	175	10
1	3,20 – 4,00	75,7	273	250	8
1	4,00 – 4,80	131,9	273	250	8
1	4,80 – 5,60	188,0	273	250	8
1	5,60 – 6,40	244,2	254	250	8
1	6,40 – 7,20	300,3	206	200	8
1	7,20 – 8,00	356,4	174	150	12
2	8,00 – 9,00	364,5	180	175	12
2	9,00 – 10,00	294,3	223	200	10
2	10,00 – 11,00	224,1	289	275	8
2	11,00 – 12,00	153,9	289	275	8
2	12,00 – 13,00	83,7	289	275	8
2	13,00 – 14,00	83,7	289	275	8
2	14,00 – 15,00	153,9	289	275	8
2	15,00 – 16,00	224,1	289	275	8
2	16,00 – 17,00	294,3	223	200	10
2	17,00 – 18,00	364,5	180	175	12
3	18,00 – 18,80	356,4	174	150	12
3	18,80 – 19,60	300,3	206	200	8
3	19,60 – 20,40	244,2	254	250	8
3	20,40 – 21,20	188,0	273	250	8
3	21,20 – 22,00	131,9	273	250	8
3	22,00 – 22,80	75,7	273	250	8
3	22,80 – 23,60	58,7	183	175	10
3	23,60 – 24,40	114,8	183	175	10
3	24,40 – 25,20	171,0	183	175	10
3	25,20 – 26,00	227,1	182	175	10

Ukupno moždanika: 276 kom Ø19/100
Razmak moždanika (min): s,min = 95 mm ≤ s = 150 mm η = 0,633 ZADOVOLJAVA

29.1.5.1 Poprečna armatura ploče (HRN EN 1994-1-1, 6.6.6)

Raspon 1: vEd = vL/(2·hf) = 1,485 MPa; Asf/sf = vEd·hf/(fsd·cotθf) = 342 mm²/m (cotθf = 1,2)
Tlačna dijagonala ploče raspon 1: vEd = 1,485 MPa ≤ vfcd sinθcosθ = 5,193 MPa η = 0,286 ZADOVOLJAVA
Poprečna armatura ploče raspon 1: Asf,potr = 342 mm²/m ≤ Asf,prov = 958 mm²/m η = 0,357 ZADOVOLJAVA
Raspon 2: vEd = vL/(2·hf) = 1,519 MPa; Asf/sf = vEd·hf/(fsd·cotθf) = 349 mm²/m (cotθf = 1,2)
Tlačna dijagonala ploče raspon 2: vEd = 1,519 MPa ≤ vfcd sinθcosθ = 5,193 MPa η = 0,292 ZADOVOLJAVA
Poprečna armatura ploče raspon 2: Asf,potr = 349 mm²/m ≤ Asf,prov = 958 mm²/m η = 0,365 ZADOVOLJAVA
Raspon 3: vEd = vL/(2·hf) = 1,485 MPa; Asf/sf = vEd·hf/(fsd·cotθf) = 342 mm²/m (cotθf = 1,2)
Tlačna dijagonala ploče raspon 3: vEd = 1,485 MPa ≤ vfcd sinθcosθ = 5,193 MPa η = 0,286 ZADOVOLJAVA

Poprečna armatura ploče raspon 3: Asf,potr = 342 mm²/m ≤ Asf,prov = 958 mm²/m η = 0,357 ZADOVOLJAVA
(Asf,prov = gornja + donja armatura ploče okomito na gredu, pretpostavljeno jednaka unesenoj.)

29.1.6 Granično stanje uporabljivosti (GSU)

29.1.6.1 Naprezanja - karakteristična kombinacija

Polje 1: Mg = 57,7 kNm (nL), Mq = 49,2 kNm (n0)
Naprezanje čelika polje 1: σa = 66,0 MPa ≤ fy = 355,0 MPa η = 0,186 ZADOVOLJAVA
Naprezanje betona polje 1: σc = 2,00 MPa ≤ 0,6fck = 18,00 MPa η = 0,111 ZADOVOLJAVA
Polje 2: Mg = 56,3 kNm (nL), Mq = 53,1 kNm (n0)
Naprezanje čelika polje 2: σa = 67,2 MPa ≤ fy = 355,0 MPa η = 0,189 ZADOVOLJAVA
Naprezanje betona polje 2: σc = 2,04 MPa ≤ 0,6fck = 18,00 MPa η = 0,113 ZADOVOLJAVA
Polje 3: Mg = 57,7 kNm (nL), Mq = 49,2 kNm (n0)
Naprezanje čelika polje 3: σa = 66,0 MPa ≤ fy = 355,0 MPa η = 0,186 ZADOVOLJAVA
Naprezanje betona polje 3: σc = 2,00 MPa ≤ 0,6fck = 18,00 MPa η = 0,111 ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature ležaj 2: σs = 159,7 MPa ≤ 0,8fyk = 400,0 MPa η = 0,399 ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika ležaj 2: σa = 143,3 MPa ≤ fy = 355,0 MPa η = 0,404 ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature ležaj 3: σs = 159,7 MPa ≤ 0,8fyk = 400,0 MPa η = 0,399 ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika ležaj 3: σa = 143,3 MPa ≤ fy = 355,0 MPa η = 0,404 ZADOVOLJAVA

29.1.6.2 Ograničenje širine pukotina nad ležajevima (HRN EN 1994-1-1, 7.4)

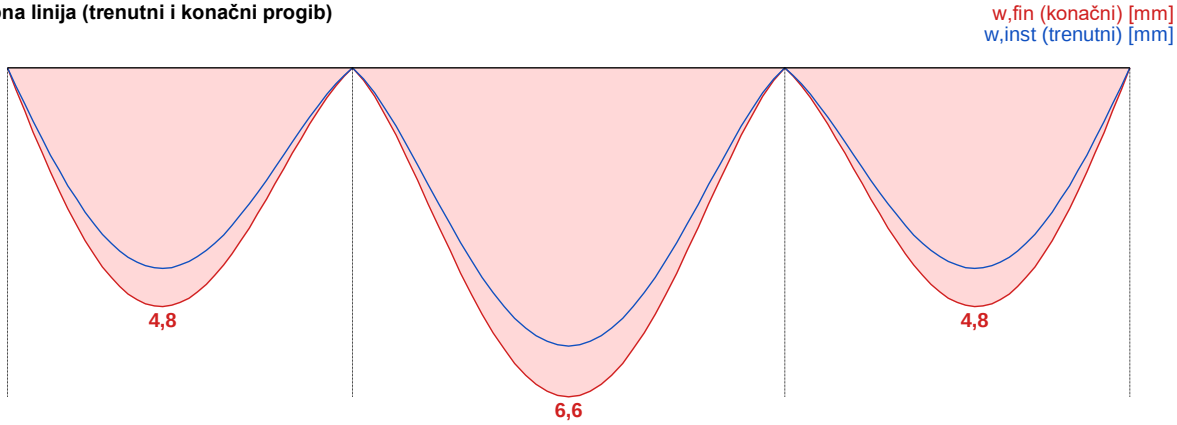
Ležaj 2: kc = 0,835, Act = 1350 cm², σs = 280 MPa (Ø12, wk = 0,3 mm)
Minimalna armatura ploče ležaj 2: As,min = 8,40 cm² ≤ As,prov = 10,78 cm² η = 0,779 ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature (nazovistalno) ležaj 2: σs = 115,9 MPa ≤ σs,dop = 280,0 MPa η = 0,414 ZADOVOLJAVA
Ležaj 3: kc = 0,835, Act = 1350 cm², σs = 280 MPa (Ø12, wk = 0,3 mm)
Minimalna armatura ploče ležaj 3: As,min = 8,40 cm² ≤ As,prov = 10,78 cm² η = 0,779 ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature (nazovistalno) ležaj 3: σs = 115,9 MPa ≤ σs,dop = 280,0 MPa η = 0,414 ZADOVOLJAVA

29.1.6.3 Progibi

Raspon	EI trenutno [kNm²]	EI t=∞ [kNm²]	wq,inst [mm]	winst [mm]	wfin [mm]	L/300 [mm]	L/250 [mm]
1	146762	112549	2,2	4,0	4,8	26,7	32,0
2	147522	113444	3,2	5,6	6,6	33,3	40,0
3	146762	112549	2,2	4,0	4,8	26,7	32,0

Progib od q raspon 1: wq = 2,2 mm ≤ L/300 = 26,7 mm η = 0,081 ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 1: wfin = 4,8 mm ≤ L/250 = 32,0 mm η = 0,151 ZADOVOLJAVA
Progib od q raspon 2: wq = 3,2 mm ≤ L/300 = 33,3 mm η = 0,095 ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 2: wfin = 6,6 mm ≤ L/250 = 40,0 mm η = 0,166 ZADOVOLJAVA
Progib od q raspon 3: wq = 2,2 mm ≤ L/300 = 26,7 mm η = 0,081 ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 3: wfin = 4,8 mm ≤ L/250 = 32,0 mm η = 0,151 ZADOVOLJAVA
Napomena: učinak skupljanja na progib nije uzet u obzir; pretpostavljena je izvedba s podupiranjem (sva opterećenja nosi spregnuti presjek).

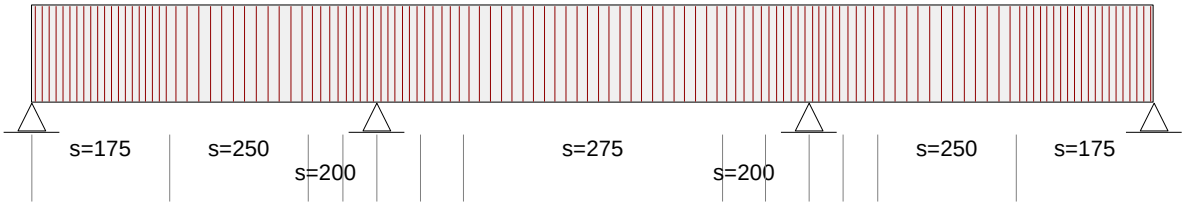
Progibna linija (trenutni i konačni progib)



Slika 6: Progibna linija (trenutni i konačni progib)

29.1.7 Plan sprezanja

Plan sprezanja - Moždanici Ø19/100, 2 u redu



Razmaci spajala u mm, crtice prikazuju poprečne redove spajala

Slika 7: Plan sprezanja

29.1.8 Pregled dokaza

Dokaz	η = Ed/Rd	Ocjena
Savijanje polje 1	0,196	ZADOVOLJAVA
Savijanje polje 2	0,200	ZADOVOLJAVA
Savijanje polje 3	0,196	ZADOVOLJAVA
Savijanje ležaj 2	0,458	ZADOVOLJAVA
Savijanje ležaj 3	0,458	ZADOVOLJAVA
Poprečna sila raspon 1	0,224	ZADOVOLJAVA
Poprečna sila raspon 2	0,229	ZADOVOLJAVA
Poprečna sila raspon 3	0,224	ZADOVOLJAVA
Razmak moždanika (min)	0,633	ZADOVOLJAVA
Tlačna dijagonala ploče raspon 1	0,286	ZADOVOLJAVA
Poprečna armatura ploče raspon 1	0,357	ZADOVOLJAVA
Tlačna dijagonala ploče raspon 2	0,292	ZADOVOLJAVA
Poprečna armatura ploče raspon 2	0,365	ZADOVOLJAVA
Tlačna dijagonala ploče raspon 3	0,286	ZADOVOLJAVA
Poprečna armatura ploče raspon 3	0,357	ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika polje 1	0,186	ZADOVOLJAVA
Naprezanje betona polje 1	0,111	ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika polje 2	0,189	ZADOVOLJAVA
Naprezanje betona polje 2	0,113	ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika polje 3	0,186	ZADOVOLJAVA

Dokaz	η = Ed/Rd	Ocjena
Naprezanje betona polje 3	0,111	ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature ležaj 2	0,399	ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika ležaj 2	0,404	ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature ležaj 3	0,399	ZADOVOLJAVA
Naprezanje čelika ležaj 3	0,404	ZADOVOLJAVA
Minimalna armatura ploče ležaj 2	0,779	ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature (nazovistalno) ležaj 2	0,414	ZADOVOLJAVA
Minimalna armatura ploče ležaj 3	0,779	ZADOVOLJAVA
Naprezanje armature (nazovistalno) ležaj 3	0,414	ZADOVOLJAVA
Progib od q raspon 1	0,081	ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 1	0,151	ZADOVOLJAVA
Progib od q raspon 2	0,095	ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 2	0,166	ZADOVOLJAVA
Progib od q raspon 3	0,081	ZADOVOLJAVA
Konačni progib raspon 3	0,151	ZADOVOLJAVA

ZAKLJUČAK: svi dokazi su zadovoljeni, najveća iskoristivost ηmax = 0,779.

29.1.9 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

Proračun izrađen programom CompositeBeam, 16-Nov-26

30 Program BoltGrip

Proračun minimalne duljine vijka

Građevina / projekt	—
Spoj / pozicija	—
Izradio	—
Datum	2026-11-16
Program	BOLTGRIP – Structural Bolt Length Calculator, v1.4, revizija 04 (baza F1e-2026-11-12)

30.1 Ulazni podaci

Sustav	Bez prednapinjanja – razred A/B
Vijak	HRN EN ISO 4014:2022 (djelomični navoj) / HRN EN ISO 4017:2022 (navoj do glave)
Matica	HRN EN ISO 4032:2023, razred 8
Promjer navoja	M20, korak P = 2,5 mm (HRN EN ISO 4032:2023, 4 Dimensions, Table 2)
Razred čvrstoće	8.8 (HRN EN ISO 4014:2022 i HRN EN ISO 4017:2022, 5, Table 7/5; HRN EN 15048-1:2016, 1 Područje primjene; HRN EN 1993-1-8:2014/NA:2014, 2.3)
Vrsta vijka	automatski odabir (djelomični navoj / navoj do glave)
Podloške	ispod glave: 0 × ISO7089, ispod matice: 1 × ISO7089
Podložna ploča	nema
Sredstvo za osiguranje	nema
Zaštita od korozije	bez prevlake
Duljine po dogovoru (ISO 888)	nisu uključene
Rupe	normalne okrugle rupe: d_0 = 22 mm (zazor 2 mm) (HRN EN 1090-2:2024, 6.6.1 Dimensions of holes, Table 11)
Ravnine smicanja	bez posebnog zahtjeva (položaj se utvrđuje i iskazuje)

30.1.1 1.1 Elementi spoja (redom od glave vijka)

#	Oznaka	t [mm]	Čelik
1	Lim 1	12	S355
2	Lim 2	15	S355

30.2 Podaci iz normi

Veličina	Vrijednost	Izvor
Korak navoja P	2,5 mm	(HRN EN ISO 4032:2023, 4 Dimensions, Table 2)
Visina matice m_{min} / m_{max}	16,9 / 18 mm	(HRN EN ISO 4032:2023, 4 Dimensions, Table 2)
Podloška – glava h_{min} / h_{nom} / h_{max}	2,7 / 3 / 3,3 mm	(HRN EN ISO 7089:2008, 3 Dimensions, Table 1)
Podloška – matica h_{min} / h_{nom} / h_{max}	2,7 / 3 / 3,3 mm	(HRN EN ISO 7089:2008, 3 Dimensions, Table 1)
Duljina navoja b (ref.), razred A	l ≤ 125: 46; 125 < l ≤ 200: 52; l > 200: — mm	(HRN EN ISO 4014:2022, 4, Tables 2–3)
Duljina navoja b (ref.), razred B	l ≤ 125: —; 125 < l ≤ 200: 52; l > 200: — mm	(HRN EN ISO 4014:2022, 4, Tables 4–5)
Nazivna površina navoja $A_{s,nom}$	245 mm²	(HRN EN ISO 898-1:2013, 9.1.6.1 / 9.2, Table 4)
f_{yb} / f_{ub}	640 / 800 N/mm²	(HRN EN 1993-1-8:2014, 3.1.1, Tablica 3.1)
γ_{M2}	1,25	(HRN EN 1993-1-8:2014/NA:2014, 2.2, —)
Prepust kraja vijka	$p_r \geq 1 \cdot P = 2,5$ mm	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 Bolts)
Puni navoji između matice i tijela	≥ 1 (uz izlaz navoja)	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 Bolts)

30.3 Postupak proračuna

Definicije: t_s – duljina prianjanja (zbroj debljina spojenih elemenata); Σt – duljina stezanja, ukupna debljina stegnutih dijelova između nalijegajuće plohe matice i nalijegajuće plohe vijka, uključujući podloške (HRN EN 14399-3:2015, Dodatak A, A.1, Table A.1 i Figure A.1). Indeksi min/max dobiveni su s h_{min}/h_{max} podložaka.

(1) $t_s = \Sigma\, t_i = 12 + 15 =$ **27 mm**
Duljina prianjanja (debljina spojenih elemenata) [HRN EN 14399-3:2015, Dodatak A, A.2 – duljina prianjanja t_s]

(2) $\Sigma h_{p,min\,/\,nom\,/\,max} = n_g \cdot h_g + n_m \cdot h_m + t_{pp} = 0 \cdot 2,7/3/3,3 + 1 \cdot 2,7/3/3,3 + 0 =$ **2,7 / 3 / 3,3 mm**
Ukupna debljina podložaka i podložnih ploča [HRN EN ISO 7089:2008, 3 Dimensions, Table 1]

(3) $\Sigma t_{min\,/\,nom\,/\,max} = t_s + \Sigma h_p = 27 + 2,7 / 3 / 3,3 =$ **29,7 / 30 / 30,3 mm**
Duljina stezanja (između nalijegajućih ploha glave i matice) [HRN EN 14399-3:2015, Dodatak A, A.1 – definicija Σt]

(4) $l_{min,potr} = t_s + \Sigma h_{p,max} + m_{max} + h_{os} + p_r = 27 + 3,3 + 18 + 0 + 2,5 =$ **50,8 mm**
Najmanja potrebna stvarna duljina vijka ($p_r = 1 \cdot P = 2,5$ mm) [HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 – prepust $p_r \geq 1P$]

Odabir: od standardnih duljina iz norme vijka (rastući niz) odabire se najmanja nazivna duljina za koju vrijede uvjeti prepusta i punog navoja. Pri jednakoj duljini prednost ima vijak s djelomičnim navojem. Kontrola za odabranu duljinu:

(5) $p_{r,min} = l_{min} - \Sigma t_{max} - m_{max} - h_{os} = 54,4 - 30,3 - 18 - 0 =$ **6,1 mm ≥ 1·P = 2,5 mm ✓**
Prepust kraja vijka (l_{min} = 54,4 mm iz HRN EN ISO 4017:2022) [HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 – uvjet prepusta]

(6) $\Sigma t_{min} - a_{max} = \Sigma t_{min} - 3P = 29,7 - 7,5 =$ **22,2 mm ≥ 1·P = 2,5 mm ✓**
Puni navoj (uz izlaz navoja) između nalijegajuće plohe matice i dijela bez navoja [HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 – najmanje jedan puni navoj; a_{max} = 3P – HRN EN ISO 4017:2022, 4, bilješka b]

30.3.1 3.1 Ispitane standardne duljine

Vijak	l_{nom}	l_{min}	$l_{g,max}$ / a_{max}	$l_{s,min}$	$p_{r,min} \geq P$	Navoj $\Sigma t_{min} \geq l_g + P$	Ravnine smicanja	Zadovoljava
ISO navoj do glave	40	39,5	7,5	—	**–8,8**	**DA**	RS1: navoj	**NE**
ISO navoj do glave	45	44,5	7,5	—	**–3,8**	**DA**	RS1: navoj	**NE**
ISO navoj do glave	50	49,5	7,5	—	**1,2**	**DA**	RS1: navoj	**NE**

Vijak	l_{nom}	l_{min}	$l_{g,max}$ / a_{max}	$l_{s,min}$	$p_{r,min} \geq P$	Navoj $\Sigma t_{min} \geq l_g+P$	Ravnine smicanja	Zadovoljava
ISO navoj do glave	55	54,4	7,5	—	6,1	DA	RS1: navoj	DA ◀
ISO navoj do glave	60	59,4	7,5	—	11,1	DA	RS1: navoj	DA

Prikazan je izvadak oko odabrane duljine (5 od 29 standardnih duljina). Izvor duljina: HRN EN ISO 4014:2022 i HRN EN ISO 4017:2022, 4 Dimensions (rasponi standardnih duljina između stepenastih linija).

30.3.2 3.2 Ravnine smicanja i posmična otpornost vijka (informativno)

(7) $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 245 / 1,25 =$ **94,08 kN (po ravnini smicanja RS1)**

$A = A_s$ ako ravnina prolazi kroz navoj ili izlaz navoja, inače $A = \pi d^2/4$; $\gamma_{M2} = 1,25$ [HRN EN 1993-1-8:2014, Tablica 3.4]

Ravnina	Između elemenata	Prolazi kroz	A [mm²]	α_v	$F_{v,Rd}$ [kN]
RS1	Lim 1 / Lim 2	navoj	245	0,6	94,08

30.3.3 3.3 Sila prednapinjanja (informativno)

(P) $F_{p,Cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M7} = 0,7 \cdot 800 \cdot 245 / 1,1 =$ **124,73 kN**

Proračunska sila prednapinjanja (samo ako je prednapinjanje predviđeno projektom) [HRN EN 1993-1-8:2014, 3.6.1(2), izraz (3.1); γ_{M7} – NA:2014, 2.2]

Promjer	$F_{p,C}$* [kN]	$F_{V,DI}$ [kN]	M_A [Nm]
M20	110	120	300

(HRN EN 1993-1-8:2014/NA:2014, 3.2, Tablica 1(HR) – vijci 8.8 prema HRN EN ISO 4014/4017/4032 (izdanja 2012/2013)). Vrijednosti vrijede za stanje površina toplo pocinčano i zamašćeno ili kao izvedeno i zamašćeno (matice zamastiti MoS2), razred K1. NA se poziva na ranija izdanja normi (HRN EN 1090-2:2011, HRN EN 14399:2008, HRN EN ISO 4014/4017:2012, 4032:2013) – primjenjivost na važeća izdanja treba potvrditi.

30.4 Rezultat

ODABRANO: Vijak HRN EN ISO 4017 – M20 × 55 – 8.8

Nazivna duljina l	55 mm (l_{min} = 54,4 mm, l_{max} = 55,6 mm)
Potrebna $l_{min,potr}$	50,8 mm
Vrsta vijka	navoj do glave (HRN EN ISO 4017:2022)
$l_{g,max}$ / $l_{s,min}$	7,5 / — mm
Prepust $p_{r,min}$	6,1 mm ≥ 2,5 mm
Duljina stezanja Σt (min/nom/max)	29,7 / 30 / 30,3 mm
Izvor odabrane duljine	(HRN EN ISO 4017:2022, 4 Dimensions, Table 2 (raspon standardnih duljina između stepenastih linija))

30.4.1 4.1 Provjere

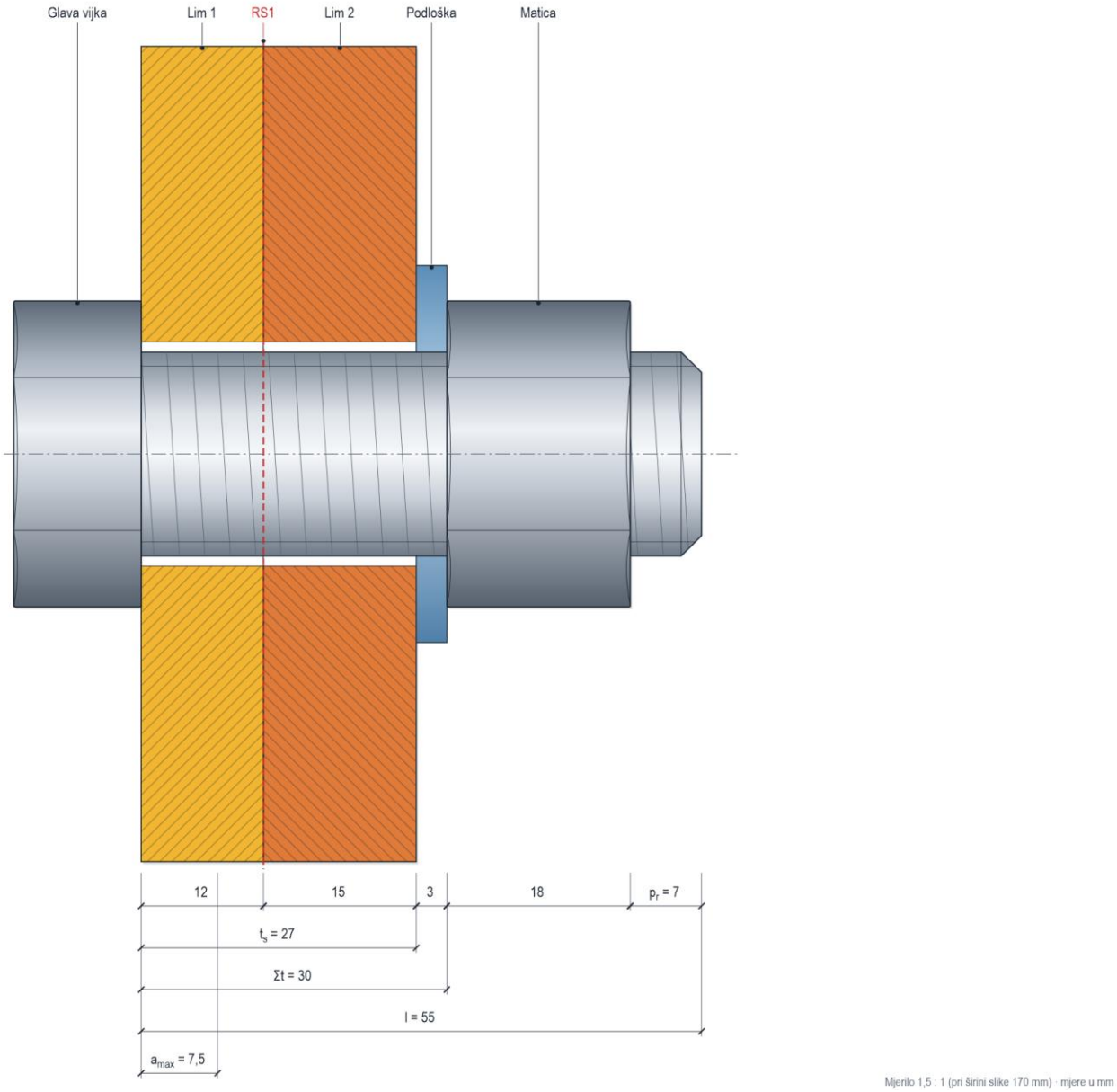
Provjera	Uvjet	Vrijednost	Status	Izvor
Kombinacija razreda vijak / matica	matica: 8 ili 10	8.8 / 8	OK	(HRN EN 15048-1:2016, Tablica 4; HRN EN ISO 898-2:2022, 6, Table 2)
Najmanji nazivni promjer	d ≥ M12	M20	OK	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 Bolts)
Minimalno propisane podloške	glava ≥ 0, matica ≥ 0 (neprednapeti sklop u normalnim okruglim rupama – podloške nisu obvezne (osim ako je propisano))	glava 0, matica 1	OK	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.4 Washers)

Provjera	Uvjet	Vrijednost	Status	Izvor
Dodatne podloške / podložne ploče	najviše 3 podloške, ili 2 podloške + 1 ploča, ili 1 podloška + 1 ploča, ili 1 ploča; Σ ≤ 12 mm	1 podl. + 0 ploča; Σ = 3 mm	OK	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.4, Table 16)
Prepust kraja vijka	$p_{r,min} = l_{min} - \Sigma t_{max} - m_{max} - h_{os} \geq 1 \cdot P$ = 2,5 mm	6,1 mm	OK	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 Bolts)
Puni navoj između matice i dijela bez navoja	$\Sigma t_{min} \geq a_{max} + 1 \cdot P$	29,7 ≥ 7,5 + 2,5 = 10 mm (n ≈ 8,8 navoja)	OK	(HRN EN 1090-2:2024, 8.2.2 Bolts)
Ravnina smicanja RS1 (Lim 1 / Lim 2)	z = 12…12 mm; $l_{s,min}$ = — mm; $l_{g,max}$ = 7,5 mm	kroz navoj – A = A_s = 245 mm², α_v = 0,6; $F_{v,Rd}$ = 94,08 kN	INFO	(HRN EN 1993-1-8:2014, 3.6.1, Tablica 3.4; A_s – HRN EN ISO 898-1:2013, Table 4; f_{ub} – Tablica 3.1; γ_{M2} – NA 2.2)
Rupe	normalne okrugle rupe, nazivni zazor 2 mm	d_0 = 22 mm	INFO	(HRN EN 1090-2:2024, 6.6.1, Table 11)

30.4.2 4.2 Upozorenja i napomene

Korištene su dodatne podloške/ploče: provjerite da ravnina smicanja nije premještena u dio s navojem (HRN EN 1090-2:2024, 8.2.4).

30.5 Skica spoja



Slika 1 – Skica spoja u mjerilu: Vijak HRN EN ISO 4017 – M20 × 55 – 8.8 (RS – ravnina smicanja; kote u mm, nazivne debljine podložaka, m = m_{max})

30.6 Primijenjene norme i propisi

#	Dokument
1	Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20, 7/22), čl. 103. i Prilog I. – nedatirane norme primjenjuju se u zadnjem izdanju
2	HRN EN 1090-2:2024 – Izvedba čeličnih i aluminijskih konstrukcija – 2. dio (napomena: norma nije izravno navedena u Prilogu II. Propisa; primijenjeno zadnje izdanje na koje nedatirano upućuje HRN EN 1993-1-8:2014, 1.2.7)
3	HRN EN 1993-1-8:2014 i HRN EN 1993-1-8:2014/NA:2014/A1:2019 – Proračun priključaka
4	HRN EN 15048-1:2016 i HRN EN 15048-2:2016 – Garniture za spojeve bez predopterećenja
5	HRN EN 14399-3:2015, HRN EN 14399-4:2015, HRN EN 14399-5:2015, HRN EN 14399-6:2015
6	HRN EN ISO 4014:2022, HRN EN ISO 4016:2022, HRN EN ISO 4017:2022, HRN EN ISO 4018:2022
7	HRN EN ISO 4032:2023, HRN EN ISO 4034:2013
8	HRN EN ISO 7089:2008, HRN EN ISO 7090:2005, HRN EN ISO 7091:2005, HRN EN ISO 7092:2005, HRN EN ISO 7093-1:2005, HRN EN ISO 7093-2:2005, HRN EN ISO 7094:2005

#	Dokument
9	HRN EN ISO 4033:2023, HRN EN ISO 7040:2025, HRN EN ISO 7042:2025, HRN EN ISO 7719:2025, HRN EN ISO 10511:2025, HRN EN ISO 2320:2016
10	HRN EN ISO 888:2018, HRN EN ISO 4759-1:2005, HRN EN ISO 898-1:2013, HRN EN ISO 898-2:2022
11	HRN EN ISO 3506-1:2020, HRN EN ISO 3506-2:2020, HRN EN ISO 3506-7:2025, HRN EN ISO 10684:2008 i HRN EN ISO 10684:2008/Ispr.1:2009
12	HRN EN 14399-7:2018 (HR, upuštena glava), HRN EN 14399-8:2018 (dosjedni vijci HV), HRN EN 14399-9:2018 (DTI), HRN EN 14399-10:2018 (HRC)
13	HRN EN 1993-1-4:2014, HRN EN 1993-1-4:2014/A1:2016, HRN EN 1993-1-4:2014/A2:2021, HRN EN 1993-1-4:2014/NA:2016

TimberSection
EN 1995-1-1 · Eurocode 5

31 Program TimberSection

Proračun drvenog presjeka prema HRN EN 1995-1-1

Element: Greda G1

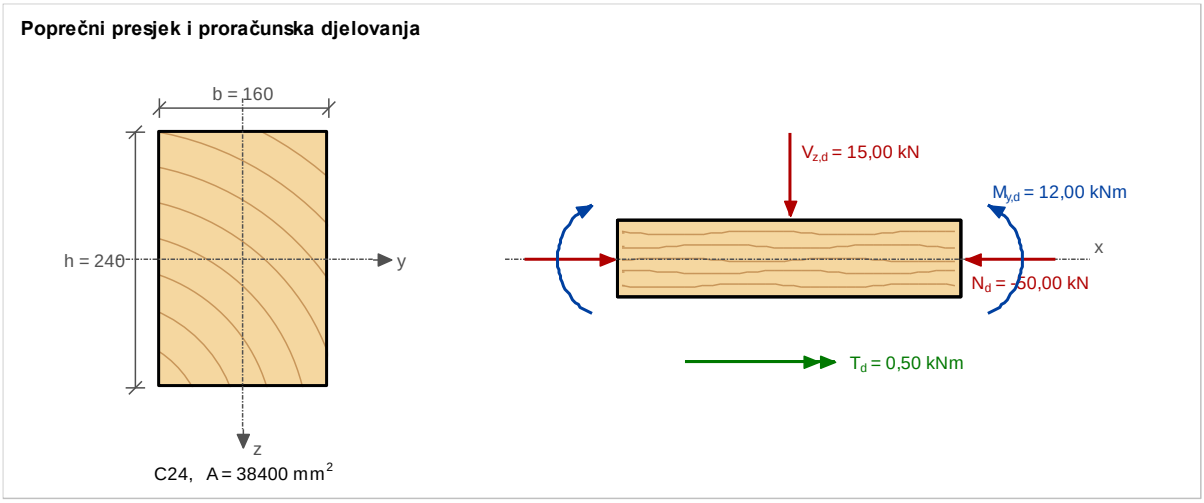
Datum: 16-Nov-26

31.1.1 1. Ulazni podaci

Poprečni presjek: pravokutni, b × h = 160 × 240 mm

Materijal: C24 – puno drvo (HRN EN 338)

Razred uporabe: 1; razred trajanja djelovanja: srednjetrajno



Slika 1: Poprečni presjek i proračunska djelovanja

Proračunske vrijednosti djelovanja za granično stanje nosivosti (predznak: N > 0 vlak, N < 0 tlak):

N_d = -50,00 kN; $M_{y,d}$ = 12,00 kNm; $V_{z,d}$ = 15,00 kN; T_d = 0,50 kNm

Duljine izvijanja: $L_{c,y}$ = 3,00 m; $L_{c,z}$ = 3,00 m

Karakteristične vrijednosti svojstava materijala C24:

Svojstvo	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Čvrstoća na savijanje	$f_{m,k}$	24,0	N/mm²

Svojstvo	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima	$f_{t,0,k}$	14,5	N/mm^2
Vlačna čvrstoća okomito na vlakna	$f_{t,90,k}$	0,40	N/mm^2
Tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima	$f_{c,0,k}$	21,0	N/mm^2
Tlačna čvrstoća okomito na vlakna	$f_{c,90,k}$	2,5	N/mm^2
Posmična čvrstoća	$f_{v,k}$	4,0	N/mm^2
Srednji modul elastičnosti	$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2
5 %-tni modul elastičnosti	$E_{0,05}$	7400	N/mm^2
Karakteristična gustoća	ρ_k	350	kg/m^3

31.1.2 2. Parcijalni koeficijent i modifikacijski faktori

Parcijalni koeficijent za svojstva materijala (HRN EN 1995-1-1, tablica 2.3):

$$\gamma_M = 1{,}30$$

Modifikacijski faktor za razred uporabe 1 i trajanje djelovanja "srednjetrajno" (tablica 3.1):

$$k_{mod} = 0{,}80$$

31.1.3 3. Geometrijske karakteristike presjeka

$$A = b \cdot h = 160 \cdot 240 = 38400 \text{ mm}^2$$

$$W_y = b \cdot h^2 / 6 = 160 \cdot 240^2 / 6 = 1{,}536 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = b \cdot h^3 / 12 = 160 \cdot 240^3 / 12 = 1{,}843 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_z = h \cdot b^2 / 6 = 240 \cdot 160^2 / 6 = 1{,}024 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_z = h \cdot b^3 / 12 = 240 \cdot 160^3 / 12 = 8{,}192 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 69{,}3 \text{ mm}; \quad i_z = b / \sqrt{12} = 46{,}2 \text{ mm}$$

31.1.4 4. Proračunske čvrstoće

Proračunska vrijednost svojstva čvrstoće (izraz 2.14): $X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0{,}80 \cdot 24{,}00 / 1{,}30 = 14{,}77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_M = 0{,}80 \cdot 14{,}50 / 1{,}30 = 8{,}92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot f_{t,90,k} / \gamma_M = 0{,}80 \cdot 0{,}40 / 1{,}30 = 0{,}25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 0{,}80 \cdot 21{,}00 / 1{,}30 = 12{,}92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0{,}80 \cdot 4{,}00 / 1{,}30 = 2{,}46 \text{ N/mm}^2$$

Faktor visine presjeka za savijanje (3.2(3), puno drvo):

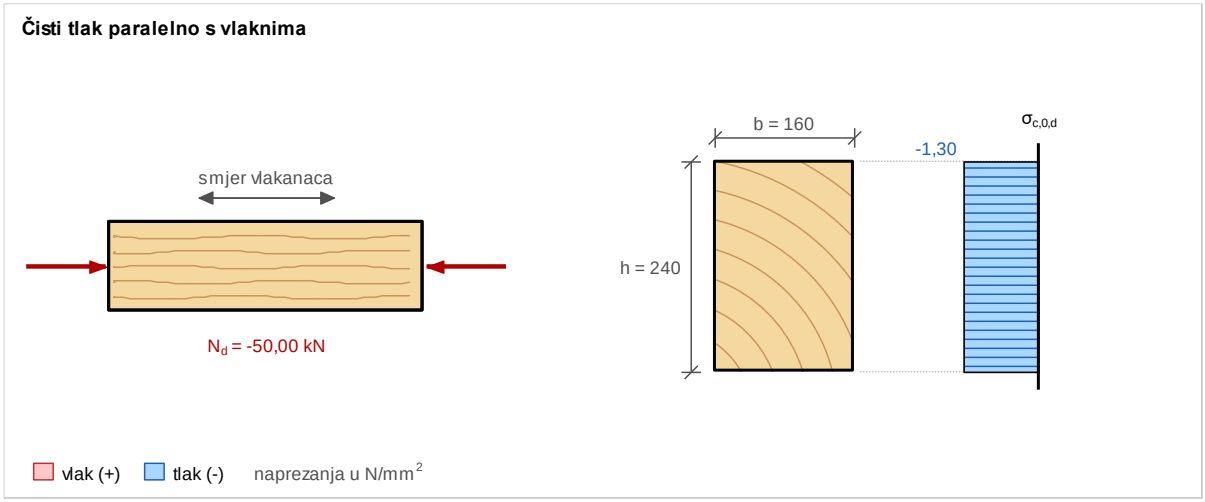
$$h = 240 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad k_{h,m} = 1{,}000$$

Faktor veličine presjeka za vlak paralelno s vlaknima (mjerodavna je veća dimenzija presjeka, 240 mm):

$$h = 240 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad k_{h,t} = 1{,}000$$

31.1.5 5. Kontrole nosivosti (granično stanje nosivosti)

31.1.5.1 5.1 Čisti tlak paralelno s vlaknima (6.1.4)



Slika 2: Čisti tlak paralelno s vlaknima

Normalno tlačno naprezanje jednoliko je raspodijeljeno po poprečnom presjeku:

$$\sigma_{c,0,d} = |N_d| / A = 50{,}00 \cdot 10^3 / 38400 = 1{,}30 \text{ N/mm}^2$$

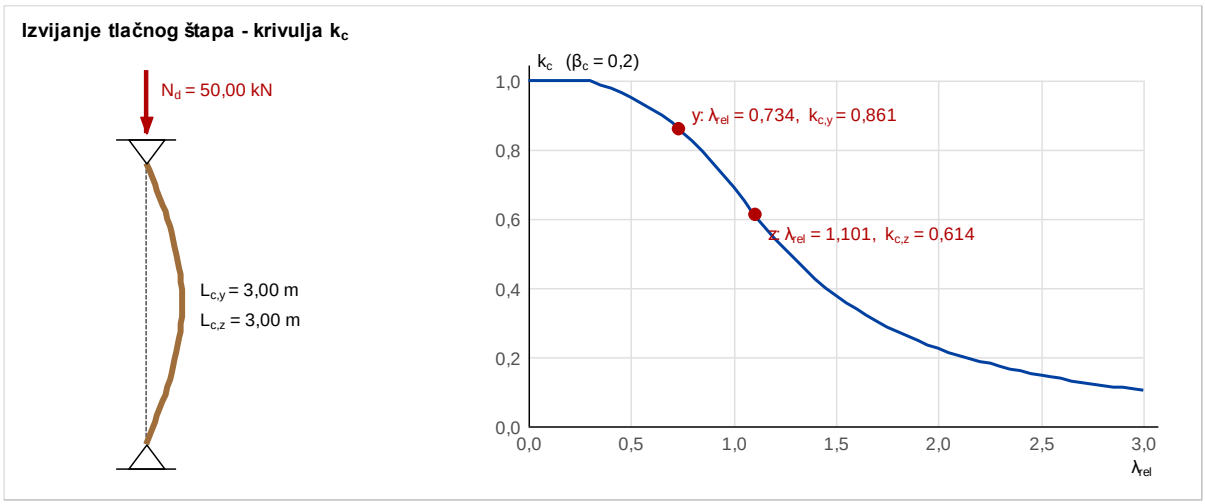
Uvjet nosivosti presjeka (izraz 6.2), bez utjecaja izvijanja:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$1{,}30 \leq 12{,}92 \text{ N/mm}^2$$

$$\boldsymbol{\eta = \sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d} = 0{,}101 \leq 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

31.1.5.2 5.2 Izvijanje tlačnog štapa (6.3.2)



Slika 3: Izvijanje tlačnog štapa - krivulja k_c

Polumjeri tromosti: $i_y = 69{,}3$ mm, $i_z = 46{,}2$ mm. Faktor nesavršenosti (izraz 6.29): $\beta_c = 0{,}2$ (puno drvo).

Izvijanje oko osi y ($L_{c,y} = 3{,}00$ m):

$$\lambda_y = L_{c,y} / i_y = 3000 / 69{,}3 = 43{,}30$$

$$\lambda_{rel,y} = (\lambda_y / \pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k} / E_{0,05})} = (43{,}30 / \pi) \cdot \sqrt{(21{,}0 / 7400)} = 0{,}734 \quad \text{(izraz 6.21 / 6.22)}$$

$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,734 - 0,3) + 0,734^2] = 0,813$ (izraz 6.27 / 6.28)

$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{(k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)}) = 1 / (0,813 + \sqrt{(0,813^2 - 0,734^2)}) = 0,861$ (izraz 6.25 / 6.26)

Izvijanje oko osi z ($L_{c,z}$ = 3,00 m):

$\lambda_z = L_{c,z} / i_z = 3000 / 46,2 = 64,95$

$\lambda_{rel,z} = (\lambda_z / \pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k} / E_{0,05})} = (64,95 / \pi) \cdot \sqrt{(21,0 / 7400)} = 1,101$ (izraz 6.21 / 6.22)

$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,101 - 0,3) + 1,101^2] = 1,187$ (izraz 6.27 / 6.28)

$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{(k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2)}) = 1 / (1,187 + \sqrt{(1,187^2 - 1,101^2)}) = 0,614$ (izraz 6.25 / 6.26)

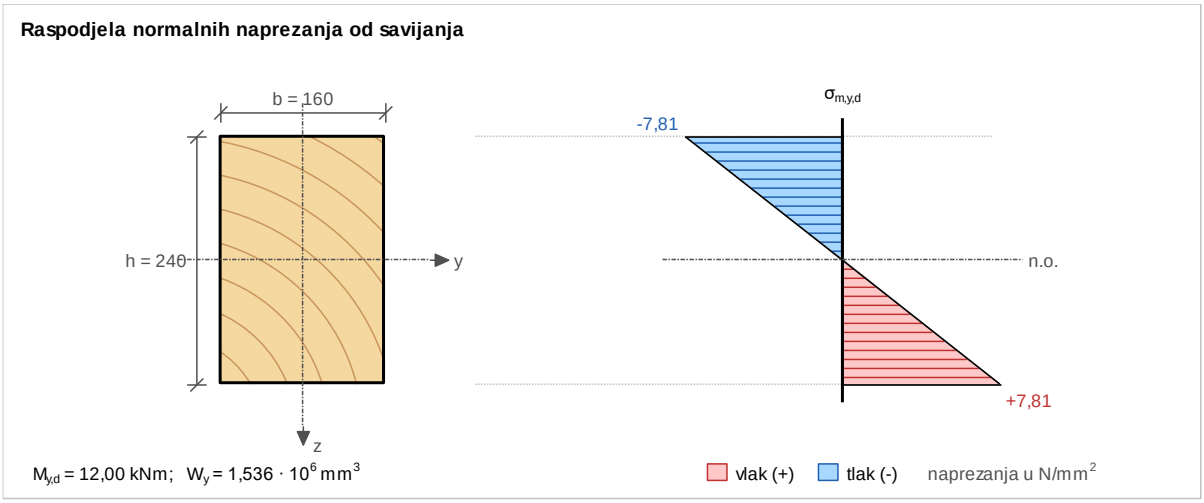
Uvjet stabilnosti (izrazi 6.23 i 6.24 uz $\sigma_{m,d} = 0$):

$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}$

$1,30 \leq 0,614 \cdot 12,92 = 7,94$ N/mm^2

$\eta = \sigma_{c,0,d} / (k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}) = 0,164 \leq 1,00$ → ZADOVOLJAVA

31.1.5.3 5.3 Savijanje oko osi y (6.1.6)



Slika 4: Raspodjela normalnih naprezanja od savijanja

Najveće normalno naprezanje od savijanja javlja se na rubnim vlaknima presjeka (linearna raspodjela, neutralna os u težištu):

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d} / W_y = 12,00 \cdot 10^6 / (1,536 \cdot 10^6) = 7,81$ N/mm^2

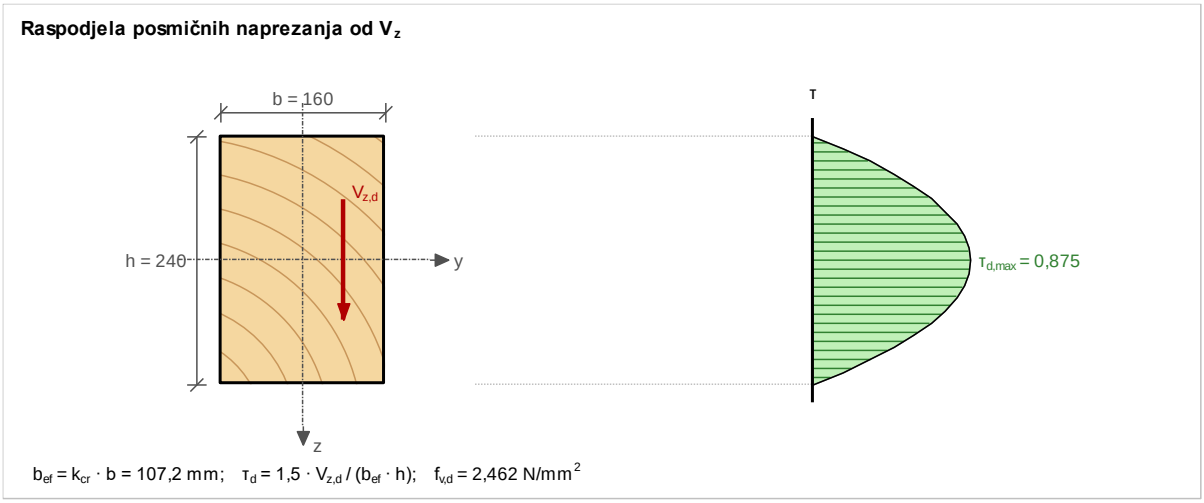
Uvjet nosivosti (izraz 6.11; uz $M_{z,d} = 0$ izrazi 6.11 i 6.12 svode se na):

$\sigma_{m,y,d} \leq k_{h,m} \cdot f_{m,d}$

$7,81 \leq 1,000 \cdot 14,77 = 14,77$ N/mm^2

$\eta = \sigma_{m,y,d} / (k_{h,m} \cdot f_{m,d}) = 0,529 \leq 1,00$ → ZADOVOLJAVA

31.1.5.4 5.4 Posmik od poprečne sile V_z (6.1.7)



Slika 5: Raspodjela posmičnih naprezanja od V_z

Utjecaj pukotina uzima se u obzir efektivnom širinom presjeka (izraz 6.13a):

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0{,}67 \cdot 160 = 107{,}2 \text{ mm}$$

Najveće posmično naprezanje u razini neutralne osi (parabolična raspodjela po visini):

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot V_{z,d} / (b_{ef} \cdot h) = 1{,}5 \cdot 15{,}00 \cdot 10^3 / (107{,}2 \cdot 240) = 0{,}875 \text{ N/mm}^2$$

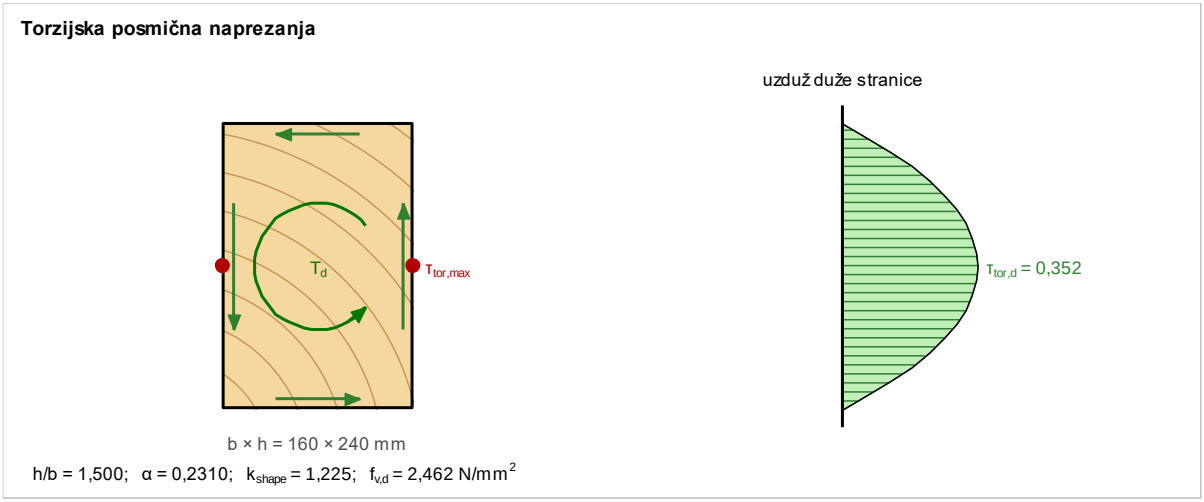
Uvjet nosivosti (izraz 6.13):

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0{,}875 \leq 2{,}462 \text{ N/mm}^2$$

$$\boldsymbol{\eta = \tau_d / f_{v,d} = 0{,}355 \leq 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

31.1.5.5 5.5 Torzija (6.1.8)



Slika 6: Torzijska posmična naprezanja

Najveće torzijsko posmično naprezanje javlja se na sredini duže stranice presjeka. Prema Saint-Venantovoj teoriji torzije pravokutnog presjeka (h - veća, b - manja stranica):

$$h / b = 240 / 160 = 1{,}500 \quad \rightarrow \quad \alpha = 0{,}2310 \quad \text{(koeficijent torzijskog otpora, interpolirano)}$$

$$W_{tor} = \alpha \cdot h \cdot b^2 = 0{,}2310 \cdot 240 \cdot 160^2 = 1{,}419 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{tor,d} = T_d / W_{tor} = 0{,}50 \cdot 10^6 / (1{,}419 \cdot 10^6) = 0{,}352 \text{ N/mm}^2$$

Faktor oblika poprečnog presjeka (izraz 6.15):

$$k_{shape} = \min\{1 + 0{,}15 \cdot h / b; 2{,}0\} = \min\{1 + 0{,}15 \cdot 1{,}500; 2{,}0\} = 1{,}225$$

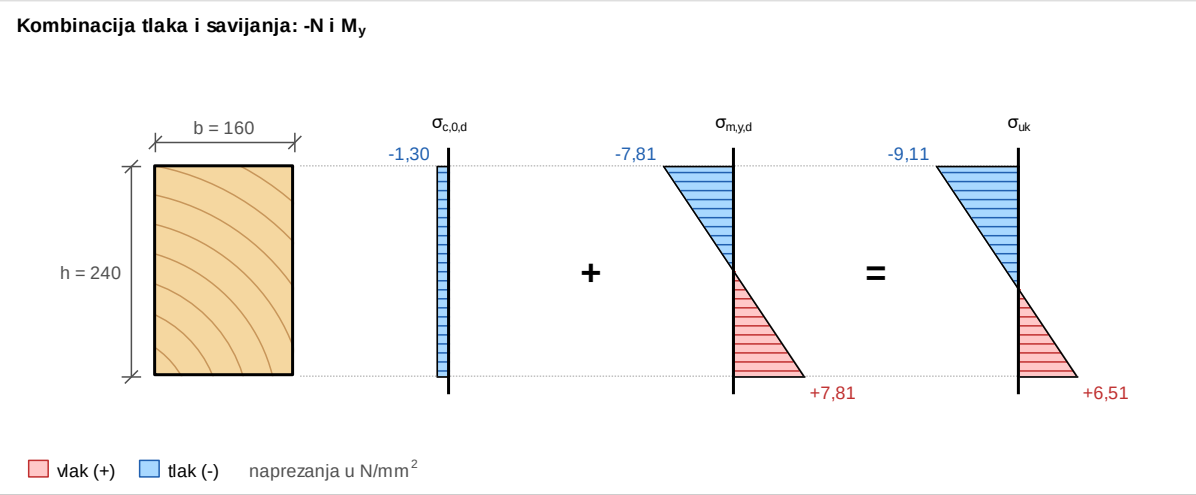
Uvjet nosivosti (izraz 6.14):

$$\tau_{tor,d} \le k_{shape} \cdot f_{v,d}$$

$$0{,}352 \le 1{,}225 \cdot 2{,}462 = 3{,}015 \text{ N/mm}^2$$

$$\boldsymbol{\eta = \tau_{tor,d} / (k_{shape} \cdot f_{v,d}) = 0{,}117 \le 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

31.1.5.6 5.6 Kombinacija tlaka i savijanja: -N i M_y (6.2.4)



Slika 7: Kombinacija tlaka i savijanja: -N i M_y

Ukupno normalno naprezanje na rubnim vlaknima presjeka (superpozicija):

$$\sigma_{tlak} = -\sigma_{c,0,d} - \sigma_{m,y,d} = -1{,}30 - 7{,}81 = -9{,}11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlak} = -\sigma_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} = -1{,}30 + 7{,}81 = 6{,}51 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet nosivosti presjeka (izraz 6.19; izraz 6.20 nije mjerodavan jer je $M_{z,d} = 0$):

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / (k_{h,m} \cdot f_{m,d}) \le 1$$

$$(1{,}30 / 12{,}92)^2 + 7{,}81 / (1{,}000 \cdot 14{,}77) = 0{,}010 + 0{,}529 = 0{,}539$$

$$\boldsymbol{\eta = 0{,}539 \le 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

31.1.5.7 5.7 Stabilnost: tlak i savijanje (6.3.2, izrazi 6.23 i 6.24)

Koeficijenti izvijanja $k_{c,y} = 0{,}861$ i $k_{c,z} = 0{,}614$ određeni su u točki 5.2. Faktor $k_m = 0{,}70$ (6.1.6(2), pravokutni presjek).

$$\sigma_{c,0,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d} / (k_{h,m} \cdot f_{m,d}) \le 1 \qquad (6.23)$$

$$1{,}30 / (0{,}861 \cdot 12{,}92) + 7{,}81 / (1{,}000 \cdot 14{,}77) = 0{,}646$$

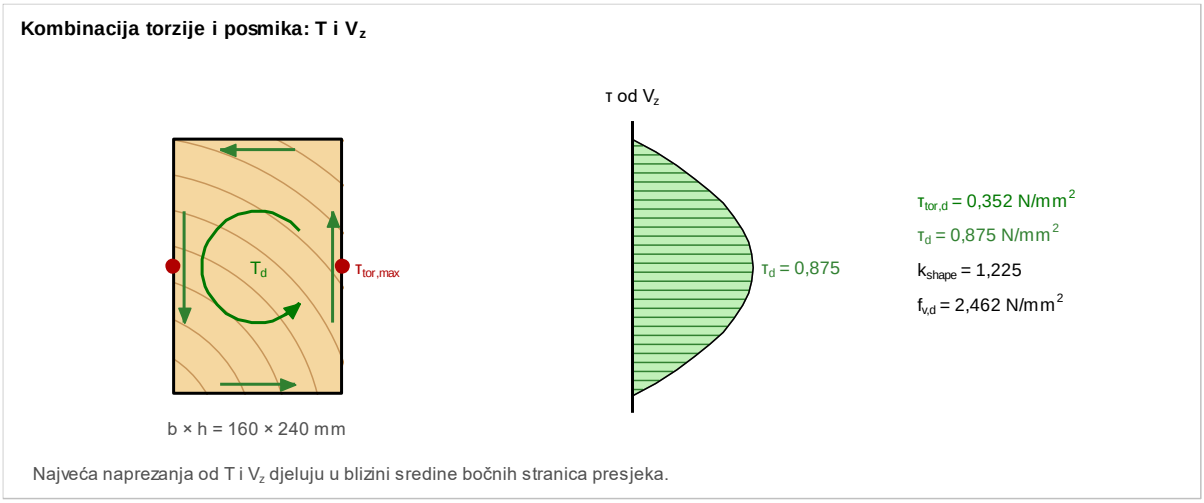
$$\boldsymbol{\eta_{6.23} = 0{,}646 \le 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

$$\sigma_{c,0,d} / (k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + k_m \cdot \sigma_{m,y,d} / (k_{h,m} \cdot f_{m,d}) \le 1 \qquad (6.24)$$

$$1{,}30 / (0{,}614 \cdot 12{,}92) + 0{,}70 \cdot 7{,}81 / (1{,}000 \cdot 14{,}77) = 0{,}534$$

$$\boldsymbol{\eta_{6.24} = 0{,}534 \le 1{,}00} \quad \rightarrow \quad \textbf{ZADOVOLJAVA}$$

31.1.5.8 5.8 Kombinacija torzije i posmika: T i V_z



Slika 8: Kombinacija torzije i posmika: T i V_z

Posmična naprezanja od torzije i od poprečne sile istodobno su velika u blizini sredine bočnih stranica presjeka pa ih treba promatrati zajedno. HRN EN 1995-1-1 ne propisuje izričit interakcijski izraz; primijenjen je izraz iz stručne literature (Porteous & Kermani, Structural Timber Design to Eurocode 5):

$$\tau_{tor,d} / (k_{shape} \cdot f_{v,d}) + (\tau_d / f_{v,d})^2 \leq 1$$

$$0{,}352 / (1{,}225 \cdot 2{,}462) + (0{,}875 / 2{,}462)^2 = 0{,}117 + 0{,}126 = 0{,}243$$

$\eta = 0{,}243 \leq 1{,}00$ → ZADOVOLJAVA

31.1.6 6. Sažetak rezultata

Točka	Kontrola	Odredba	η	Rezultat
5.1	Tlak paralelno s vlaknima	6.1.4	0,101	ZADOVOLJAVA
5.2	Izvijanje - centrični tlak	6.3.2	0,164	ZADOVOLJAVA
5.3	Savijanje M_y	6.1.6	0,529	ZADOVOLJAVA
5.4	Posmik V_z	6.1.7	0,355	ZADOVOLJAVA
5.5	Torzija T	6.1.8	0,117	ZADOVOLJAVA
5.6	Tlak + savijanje (-N, M_y)	6.2.4	0,539	ZADOVOLJAVA
5.7	Izvijanje y + savijanje	6.3.2 (6.23)	0,646	ZADOVOLJAVA
5.7	Izvijanje z + savijanje	6.3.2 (6.24)	0,534	ZADOVOLJAVA
5.8	Torzija + posmik (T, V_z)	6.1.7 + 6.1.8	0,243	ZADOVOLJAVA

Mjerodavna iskoristivost: $\eta_{max} = 0{,}646$ → PRESJEK ZADOVOLJAVA

Proračun obuhvaća granično stanje nosivosti poprečnog presjeka i stabilnost elementa. Granično stanje uporabljivosti (progibi, vibracije), tlak okomito na vlakna na ležajevima, spojevi i otpornost na požar nisu obuhvaćeni. Provjeriti vrijednosti iz nacionalnog dodatka.

31.1.7 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

32 Program TimberPurlin

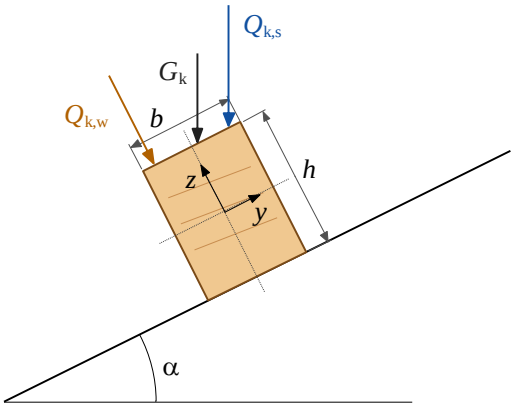
Proracun podrožnice

Proračun drvene podrožnice prema HRN EN 1995-1-1 (Eurokod 5) i HRN EN 1990

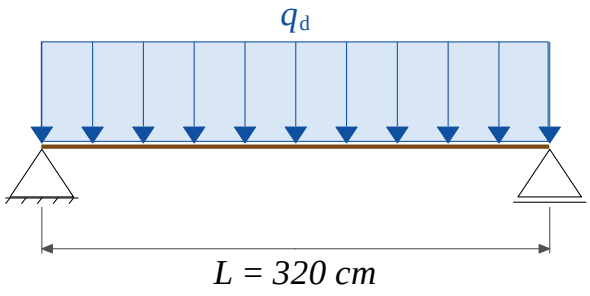
Datum: 16.11.2026

32.1 Ulazni podaci

Opis	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Klasa drva		C24	
Vrsta drva		puno drvo (HRN EN 338)	
Klasa uporabljivosti		2	
Parcijalni koeficijent materijala	γM	1,30	
Širina presjeka	b	12,0	cm
Visina presjeka	h	16,0	cm
Nagib krova	α	26,60	°
Raspon podrožnice (prosta greda)	L	320,0	cm
Razmak podrožnica (po kosini krova)	e	187,0	cm
Stalno opterećenje (po kosoj površini)	g	0,48	kN/m²
Snijeg (po tlocrtnoj projekciji)	s	0,60	kN/m²
Vjetar – pritisak (okomito na krov)	w+	0,32	kN/m²
Vjetar – odizanje (okomito na krov)	w−	-1,39	kN/m²
Trajanje opterećenja – snijeg		kratkotrajno	
Trajanje opterećenja – vjetar		kratkotrajno	
Koeficijenti kombinacije	ψ0,s / ψ0,w	0,50 / 0,60	
Duljina ležaja	la	100	mm
Koeficijent tlaka okomito na vlakanca	kc,90	1,00	
Vlastita težina podrožnice uključena		da	
Tlačni (gornji) rub bočno pridržan		ne	
Granice progiba (inst ; net,fin ; fin)		L/300 ; L/250 ; L/150	



Presjek podrožnice i djelovanja



Statički sustav – prosta greda

Os z je okomita na krovnu plohu (savijanje oko osi y), os y je paralelna s krovnom plohom (savijanje oko osi z).

32.2 Karakteristike materijala – C24

Svojstvo	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Čvrstoća na savijanje	fm,k	24,0	N/mm²
Vlačna čvrstoća paralelno s vlakancima	ft,0,k	14,5	N/mm²
Tlačna čvrstoća paralelno s vlakancima	fc,0,k	21,0	N/mm²
Tlačna čvrstoća okomito na vlakanca	fc,90,k	2,5	N/mm²
Posmična čvrstoća	fv,k	4,0	N/mm²
Srednji modul elastičnosti	E0,mean	11000	N/mm²
Modul elastičnosti (5 % fraktila)	E0,05	7400	N/mm²
Srednji modul posmika	Gmean	690	N/mm²
Karakteristična gustoća	ρk	350	kg/m³
Srednja gustoća	ρmean	420	kg/m³

Koeficijent modifikacije kmod (HRN EN 1995-1-1, tablica 3.1), klasa uporabljivosti 2:

stalno	dugotrajno	srednjetrajno	kratkotrajno	trenutno
0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

Za kombinaciju djelovanja različitog trajanja kmod odgovara djelovanju najkraćeg trajanja.

$k_{def} = 0{,}80$ (tablica 3.2, klasa uporabljivosti 2)

$\gamma_M = 1{,}30$ (parcijalni koeficijent materijala, tablica 2.3)

$k_h = \min\left(\left(\frac{150}{h}\right)^{0,2}\ ;\ 1{,}3\right)$ (za h < 150 mm)

$k_{h,y} = 1{,}000$ (savijanje oko osi y, visina h)

$k_{h,z} = 1{,}046$ (savijanje oko osi z, visina b)

32.3 Geometrijske karakteristike presjeka

$A = b \cdot h = 120 \cdot 160$ = 19200 mm²

$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 160^2}{6}$ = 512000 mm³

$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{160 \cdot 120^2}{6}$ = 384000 mm³

$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{120 \cdot 160^3}{12}$ = 40960000 mm⁴

$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{160 \cdot 120^3}{12}$ = 23040000 mm⁴

32.4 Analiza opterećenja (po m' podrožnice)

$g_{vl} = \rho_{mean} \cdot g \cdot b \cdot h = 420 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}120 \cdot 0{,}160 \cdot 10^{-3}$ = 0,079 kN/m (vlastita težina)

$G_k = g \cdot e + g_{vl} = 0{,}48 \cdot 1{,}87 + 0{,}079$ = 0,977 kN/m (vertikalno)

$Q_{k,s} = s \cdot e \cdot \cos\alpha = 0{,}60 \cdot 1{,}87 \cdot \cos 26{,}6°$ = 1,003 kN/m (vertikalno)

$Q_{k,w+} = w_+ \cdot e = 0{,}32 \cdot 1{,}87$ = 0,598 kN/m (okomito na krov)

$Q_{k,w-} = w_- \cdot e = -1{,}39 \cdot 1{,}87$ = -2,599 kN/m (okomito na krov)

Komponente u smjeru glavnih osi presjeka:

$G_z = G_k \cdot \cos\alpha$ = 0,873 kN/m

$G_y = G_k \cdot \sin\alpha$ = 0,437 kN/m

$S_z = Q_{k,s} \cdot \cos\alpha$ = 0,897 kN/m

$$S_y = Q_{k,s} \cdot \sin\alpha = 0{,}449 \text{ kN/m}$$

Vjetar djeluje okomito na krovnu plohu, pa ima samo komponentu z (W+ = Qk,w+, W− = Qk,w−).

32.5 Kombinacije djelovanja – GSN (HRN EN 1990, izraz 6.10)

Parcijalni koeficijenti: γG = 1,35 (povoljno 1,00), γQ = 1,50. Koeficijenti kombinacije: ψ0,s = 0,50, ψ0,w = 0,60.

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot L^2}{8}\ ;\quad M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot L^2}{8}\ ;\quad V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot L}{2}\ ;\quad V_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot L}{2}$$

	Kombinacija	Trajanje	kmod	qz,d kN/m	qy,d kN/m	My,d kNm	Mz,d kNm	Vz,d kN	Vy,d kN
K1	1,35·G	stalno	0,60	1,179	0,590	1,509	0,756	1,886	0,945
K2	1,35·G + 1,5·S	kratkotrajno	0,90	2,525	1,264	3,231	1,618	4,039	2,023
K3	1,35·G + 1,5·S + 0,9·W+	kratkotrajno	0,90	3,063	1,264	3,921	1,618	4,901	2,023
K4	1,35·G + 0,75·S + 1,5·W+	kratkotrajno	0,90	2,749	0,927	3,519	1,187	4,399	1,484
K5	1,0·G + 1,5·W−	kratkotrajno	0,90	-3,026	0,437	-3,873	0,560	-4,841	0,700

K5 – kombinacija za odizanje (stalno djelovanje povoljno, vjetar odižući). Negativne vrijednosti qz djeluju od krova.

32.6 Granično stanje nosivosti (GSN)

32.6.1 6.1 Dvoosno savijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.1.6)

Mjerodavna kombinacija: K3 (kmod = 0,90), My,d = 3,921 kNm, Mz,d = 1,618 kNm

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} \cdot 10^6}{W_y} = \frac{3{,}921 \cdot 10^6}{512000} = 7{,}66 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d} \cdot 10^6}{W_z} = \frac{1{,}618 \cdot 10^6}{384000} = 4{,}21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{h,y} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}90 \cdot 1{,}000 \cdot 24{,}0}{1{,}30} = 16{,}62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,z,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{h,z} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}90 \cdot 1{,}046 \cdot 24{,}0}{1{,}30} = 17{,}37 \text{ N/mm}^2$$

$k_m = 0{,}70$ (pravokutni presjek)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{7{,}66}{16{,}62} + 0{,}70 \cdot \frac{4{,}21}{17{,}37} = 0{,}631 \le 1{,}00$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}70 \cdot \frac{7{,}66}{16{,}62} + \frac{4{,}21}{17{,}37} = 0{,}565 \le 1{,}00$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava provjeru nosivosti na dvoosno savijanje, iskoristivost 63 %.

32.6.2 6.2 Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7)

Mjerodavna kombinacija: K3 (kmod = 0,90), Vz,d = 4,901 kN, Vy,d = 2,023 kN, kcr = 0,67

$$\tau_{z,d} = \frac{1{,}5 \cdot V_{z,d} \cdot 10^3}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = \frac{1{,}5 \cdot 4{,}901 \cdot 10^3}{0{,}67 \cdot 120 \cdot 160} = 0{,}571 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = \frac{1{,}5 \cdot V_{y,d} \cdot 10^3}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = \frac{1{,}5 \cdot 2{,}023 \cdot 10^3}{0{,}67 \cdot 120 \cdot 160} = 0{,}236 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}90 \cdot 4{,}0}{1{,}30} = 2{,}77 \text{ N/mm}^2$$

$$\left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = 0{,}050 \le 1{,}00$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava provjeru nosivosti na posmik, iskoristivost 5 %.

32.6.3 6.3 Bočno torzijsko izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.3)

Mjerodavna kombinacija: K3 (kmod = 0,90)

$l_{ef} = 0{,}9 \cdot L + 2 \cdot h = 0{,}9 \cdot 3200 + 2 \cdot 160 = 3200$ mm (opterećenje na tlačnom rubu)

$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0{,}78 \cdot 120^2 \cdot 7400}{160 \cdot 3200} = 162{,}34$ N/mm²

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24{,}0}{162{,}34}} = 0{,}384$

$k_{crit} = 1{,}0$ (λrel,m ≤ 0,75)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{7{,}66}{1{,}000 \cdot 16{,}62} + \frac{4{,}21}{17{,}37} = 0{,}703 \leq 1{,}00$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava provjeru bočnog torzijskog izvijanja, iskoristivost 70 %.

32.6.4 6.4 Tlak okomito na vlakanca na ležaju (HRN EN 1995-1-1, 6.1.5)

Mjerodavna kombinacija: K3 (kmod = 0,90), la = 100 mm, kc,90 = 1,00

$F_{c,90,d} = V_{z,d} = 4{,}901$ kN

$l_{ef} = l_a + 30 = 100 + 30 = 130$ mm

$A_{ef} = b \cdot l_{ef} = 120 \cdot 130 = 15600$ mm²

$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d} \cdot 10^3}{A_{ef}} = \frac{4{,}901 \cdot 10^3}{15600} = 0{,}314$ N/mm²

$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}90 \cdot 2{,}5}{1{,}30} = 1{,}73$ N/mm²

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0{,}314}{1{,}00 \cdot 1{,}73} = 0{,}182 \leq 1{,}00$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava provjeru tlaka okomito na vlakanca na ležaju, iskoristivost 18 %.

32.6.5 6.5 Odizanje podrožnice

$q_{z,d,K5} = \gamma_{G,inf} \cdot G_z + \gamma_Q \cdot Q_{k,w-} = 1{,}00 \cdot 0{,}873 + 1{,}50 \cdot (-2{,}599) = -3{,}026$ kN/m

$F_{t,d} = \frac{|q_{z,d,K5}| \cdot L}{2} = \frac{3{,}026 \cdot 3{,}20}{2} = 4{,}84$ kN

U kombinaciji K5 rezultanta djeluje od krova (odizanje). Podrožnicu je potrebno usidriti na svakom osloncu za proračunsku vlačnu silu Ft,d = 4,84 kN.

32.7 Granično stanje uporabljivosti (GSU) – progibi

Progib proste grede od jednoliko raspodijeljenog opterećenja (savijanje + posmik):

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I} + \frac{1{,}2 \cdot M}{G_{mean} \cdot A}, \quad M = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Karakteristične vrijednosti; kdef = 0,80, ψ2,s = 0,00, ψ2,w = 0,00, ψ0,s = 0,50, ψ0,w = 0,60.

32.7.1 7.1 Trenutni progibi od pojedinih djelovanja

Djelovanje	uz savijanje mm	uz ukupno mm	uy savijanje mm	uy ukupno mm	u rezultanta mm
Stalno G	2,65	2,75	2,36	2,41	3,65
Snijeg S	2,72	2,82	2,42	2,47	3,75
Vjetar W+	1,81	1,88	–	0,00	1,88

32.7.2 7.2 Trenutni progib od promjenjivih djelovanja

a) snijeg vodeće djelovanje

$u_{inst,Q,z} = u_{S,z} + \psi_{0,w} \cdot u_{W,z} = 2{,}82 + 0{,}60 \cdot 1{,}88 = 3{,}95$ mm

$u_{inst,Q,y} = u_{S,y} = 2{,}47$ mm

$$u_{inst,Q} = \sqrt{u_{inst,Q,z}^2 + u_{inst,Q,y}^2} = 4{,}66 \text{ mm}$$

b) vjetar vodeće djelovanje

$$u_{inst,Q,z} = u_{W,z} + \psi_{0,s} \cdot u_{S,z} = 1{,}88 + 0{,}50 \cdot 2{,}82 = 3{,}29 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,y} = \psi_{0,s} \cdot u_{S,y} = 1{,}24 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q} = \sqrt{u_{inst,Q,z}^2 + u_{inst,Q,y}^2} = 3{,}52 \text{ mm}$$

Mjerodavno: snijeg vodeće djelovanje

$$u_{inst,Q} = 4{,}66 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} = 10{,}67 \text{ mm (44 \%)}$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava uvjet trenutnog progiba, iskoristivost 44 %.

32.7.3 7.3 Konačni progib (HRN EN 1995-1-1, 2.2.3)

$$u_{fin} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + u_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + u_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

Varijanta	ufin,z mm	ufin,y mm	ufin mm
a) snijeg vodeće djelovanje	8,90	6,80	11,20
b) vjetar vodeće djelovanje	8,24	5,57	9,94

Mjerodavno: snijeg vodeće djelovanje. Podrožnica nije nadvišena, pa je unet,fin = ufin.

$$u_{net,fin} = 11{,}20 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 12{,}80 \text{ mm (88 \%)}$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava uvjet konačnog neto progiba, iskoristivost 88 %.

$$u_{fin} = 11{,}20 \text{ mm} \leq \frac{L}{150} = 21{,}33 \text{ mm (53 \%)}$$

Presjek 120/160 mm (C24) zadovoljava uvjet konačnog progiba, iskoristivost 53 %.

32.8 Zaključak

Provjera	Kombinacija	Iskoristivost	Rezultat
Dvoosno savijanje	K3	63 %	ZADOVOLJAVA
Posmik	K3	5 %	ZADOVOLJAVA
Bočno torzijsko izvijanje	K3	70 %	ZADOVOLJAVA
Tlak okomito na vlakanca – ležaj	K3	18 %	ZADOVOLJAVA
Trenutni progib uinst,Q ≤ L/300	GSU	44 %	ZADOVOLJAVA
Konačni neto progib unet,fin ≤ L/250	GSU	88 %	ZADOVOLJAVA
Konačni progib ufin ≤ L/150	GSU	53 %	ZADOVOLJAVA

Podrožnica presjeka 120/160 mm, klase C24, raspona L = 3200 mm ZADOVOLJAVA sve provjere GSN i GSU. Najveća iskoristivost: 88 %.

Sidrenje podrožnice na odizanje: Ft,d = 4,84 kN po osloncu.

32.8.1 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

33 Program TimberRoof

STATIČKI PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA
Građevina: Obiteljska kuća
Datum: 16.11.2026.
Vrsta krovišta: Krovište na stolicu.

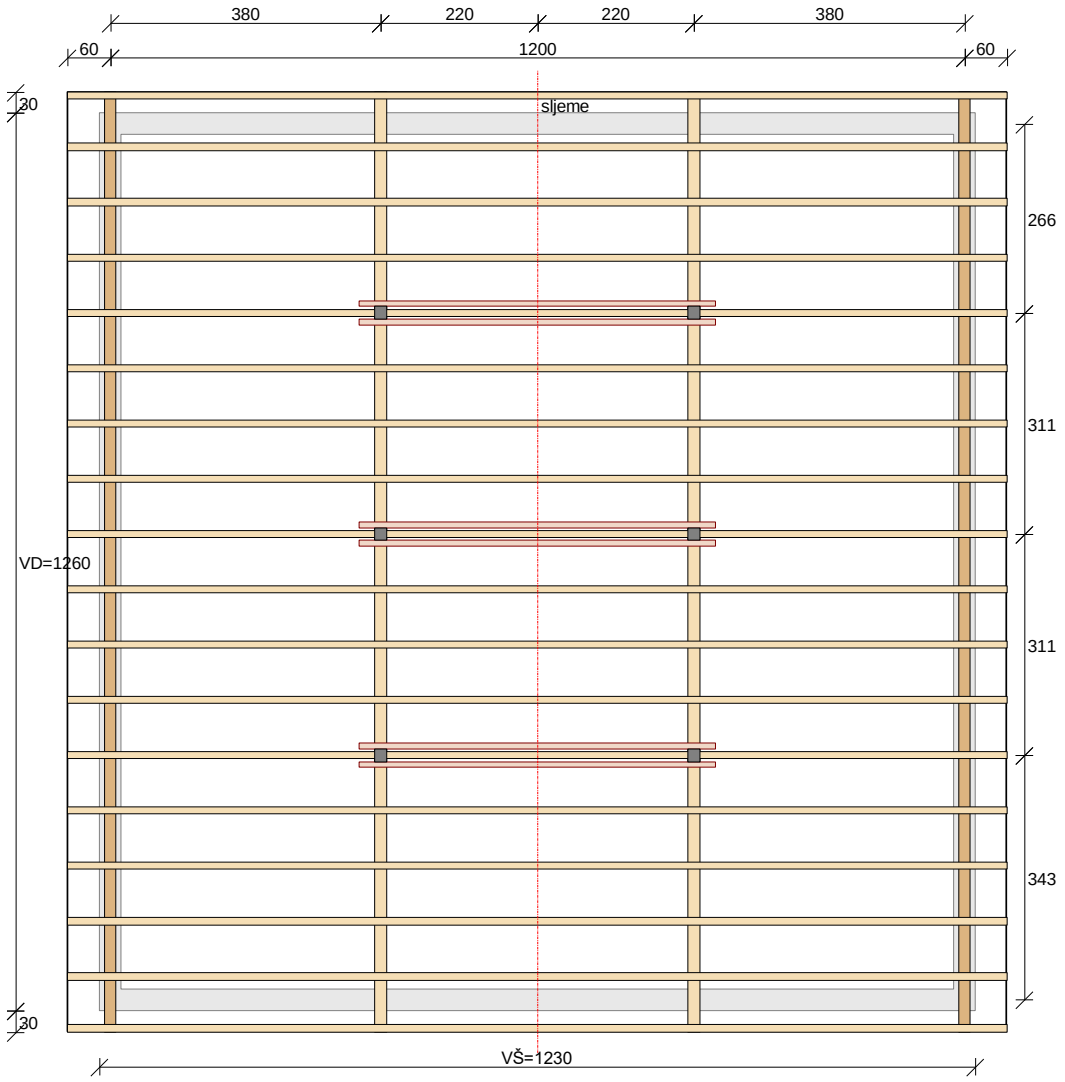
33.1.1 1. Tehnički opis i propisi

Krovište na dvostruku stolicu: rogovi su oslonjeni na nazidnice i dvije podrožnice. Podrožnice nose stupovi s rukama u uzdužnom smjeru; stupovi se preko kladica oslanjaju na stropnu konstrukciju. Glavni vezovi su ukrućeni kliještima.
Proračun je proveden prema normama: HRN EN 1990 (osnove projektiranja), HRN EN 1991-1-1 (vlastita težina), HRN EN 1991-1-3 (snijeg), HRN EN 1991-1-4 (vjetar) i HRN EN 1995-1-1 (drvene konstrukcije), s pripadnim nacionalnim dodacima. Unutarnje sile određene su linijskim modelom metodom konačnih elemenata (metoda pomaka), po teoriji prvog reda.

33.1.2 2. Geometrija krovišta

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Vanjska širina kuće	$V_š$	12,30 m
Vanjska duljina kuće	V_D	12,60 m
Debljina zida	d_z	0,30 m
Raspon između osi nazidnica L = $V_š$ - d_z	L	12,00 m
Nagib krovnih ploha	α	38,0°
Visina krova (od nazidnice do sljemena)	H	4,69 m
Streha lijevo / desno (od vanjskog lica zida)	s_L / s_D	0,45 / 0,45 m
Prepust na zabatu prednji / stražnji (od lica zida)	z_P / z_S	0,30 / 0,30 m
Duljina nazidnica i podrožnica	D_p	13,20 m
Razmak rogova (stvarni)	e	0,776 m
Broj rogova	n	2×18
Duljina roga lijevo / desno	l_{rog}	8,38 / 8,38 m
Visina nadozida	h_n	0,50 m
Udaljenost podrožnice od osi nazidnice	a	3,80 m
Broj stupova po podrožnici	n_s	3
Najveći raspon podrožnice (dopušteno 4,00 m)	l_p	3,43 m = 4,4×e
Duljina stupa	h_s	3,19 m
Projekcija ruke (45°)	c	1,00 m
Sistemska duljina kliješta	l_k	4,40 m
Visina sljemena iznad terena	z	11,58 m

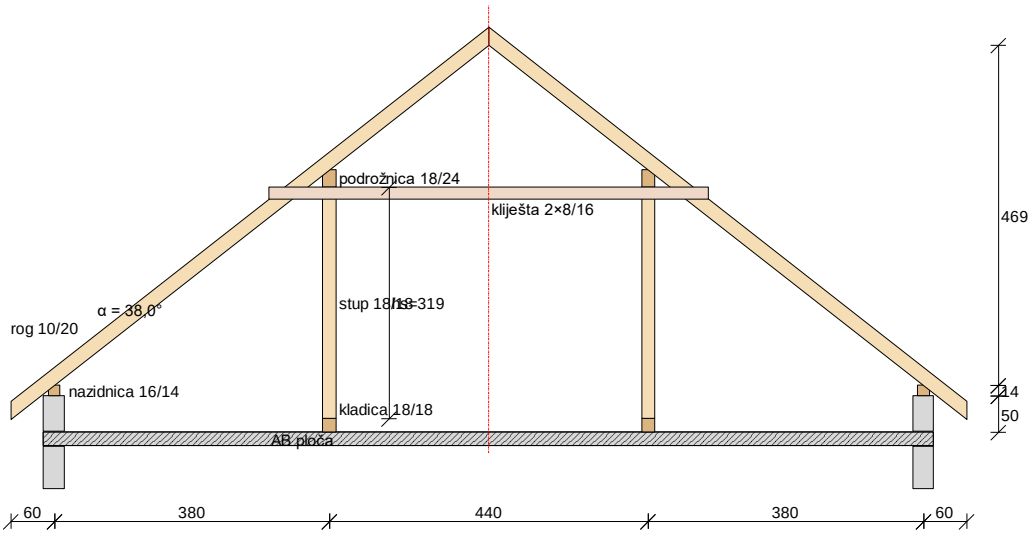
TLOCRTNA DISPOZICIJA KROVIŠTA



Broj rogova: N = 2×18, e = 78 cm

Slika 1: Tlocrtna dispozicija krovišta

POPREČNI PRESJEK KROVIŠTA



Slika 2: Poprečni presjek krovišta

33.1.3 3. Materijal

Svojstvo	**Oznaka**	**Vrijednost**
Razred čvrstoće	-	C24
Čvrstoća na savijanje	$f_{m,k}$	24,0 N/mm^2
Vlačna čvrstoća paralelno s vlakancima	$f_{t,0,k}$	14,0 N/mm^2
Tlačna čvrstoća paralelno s vlakancima	$f_{c,0,k}$	21,0 N/mm^2
Tlačna čvrstoća okomito na vlakanca	$f_{c,90,k}$	2,5 N/mm^2
Posmična čvrstoća	$f_{v,k}$	4,0 N/mm^2
Srednji modul elastičnosti	$E_{0,mean}$	11000 N/mm^2
5% fraktila modula elastičnosti	$E_{0,05}$	7400 N/mm^2
Srednja gustoća	ρ_{mean}	420 kg/m^3
Parcijalni koeficijent materijala	γ_M	1,30
Klasa uporabe	-	2
Koeficijent puzanja	k_{def}	0,80
k_{mod} stalno / srednje / kratko / trenutno	k_{mod}	0,60 / 0,80 / 0,90 / 1,10

33.1.4 4. Analiza opterećenja

33.1.4.1 4.1 Stalno djelovanje G

Težina pokrova sa slojevima (crijep, letve, kontraletve, folija, daščana oplata, toplinska izolacija) zadana je po m^2 krovne plohe. Vlastita težina drvenih elemenata računa se iz srednje gustoće drva.

$g_{pokr} = 0{,}80$ kN/m^2; $\gamma_{drvo} = \rho_{mean} \cdot g = 420 \cdot 9{,}81/1000 = 4{,}12$ kN/m^3

$g_{k,rog} = g_{pokr} \cdot e + \gamma_{drvo} \cdot b \cdot h = 0{,}80 \cdot 0{,}776 + 4{,}12 \cdot 0{,}10 \cdot 0{,}20 = 0{,}704$ kN/m (vertikalno, po duljini roga)

33.1.4.2 4.2 Opterećenje snijegom S (HRN EN 1991-1-3)

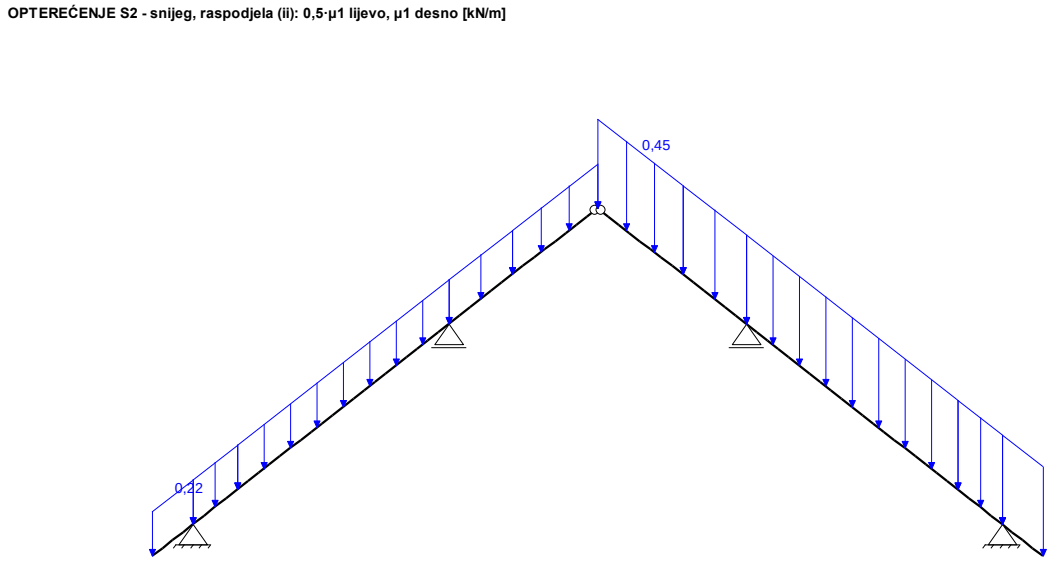
$s_k = 1{,}25$ kN/m^2 (nadmorska visina A = 150 m); $C_e = 1{,}00$; $C_t = 1{,}00$

$\mu_1 = 0{,}8 \cdot (60 - \alpha)/30 = 0{,}8 \cdot (60 - 38{,}0)/30 = 0{,}587$

$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}587 \cdot 1{,}00 \cdot 1{,}00 \cdot 1{,}25 = 0{,}733$ kN/m^2 (tlocrtne projekcije)

$q_s = s \cdot e \cdot \cos\alpha = 0{,}733 \cdot 0{,}776 \cdot 0{,}788 = 0{,}449$ kN/m (vertikalno, po duljini roga)

Razmatrane su tri raspodjele snijega na dvostrešnom krovu (slučajevi (i), (ii) i (iii)). Trajanje opterećenja snijegom: kratkotrajno.



Slika 3: Opterećenje roga snijegom - slučaj S2 [kN/m]

33.1.4.3 4.3 Opterećenje vjetrom W (HRN EN 1991-1-4)

$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 25{,}0 = 25{,}0$ m/s

Kategorija terena II: $z_0 = 0{,}050$ m; $z_{min} = 2$ m; $z = 11{,}58$ m

$k_r = 0{,}19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot (0{,}050/0{,}05)^{0{,}07} = 0{,}1900$

$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0{,}1900 \cdot \ln(11{,}58/0{,}050) = 1{,}0346$

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1{,}0346 \cdot 1{,}0 \cdot 25{,}0 = 25{,}86$ m/s

$I_v(z) = k_I/(c_0 \cdot \ln(z/z_0)) = 0{,}1836$

$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0{,}5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0{,}1836] \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 25{,}86^2/1000 = 0{,}956$ kN/m^2

$e = \min(b; 2h) = \min(12{,}60; 2 \cdot 11{,}58) = 12{,}60$ m; $e/10 = 1{,}26$ m

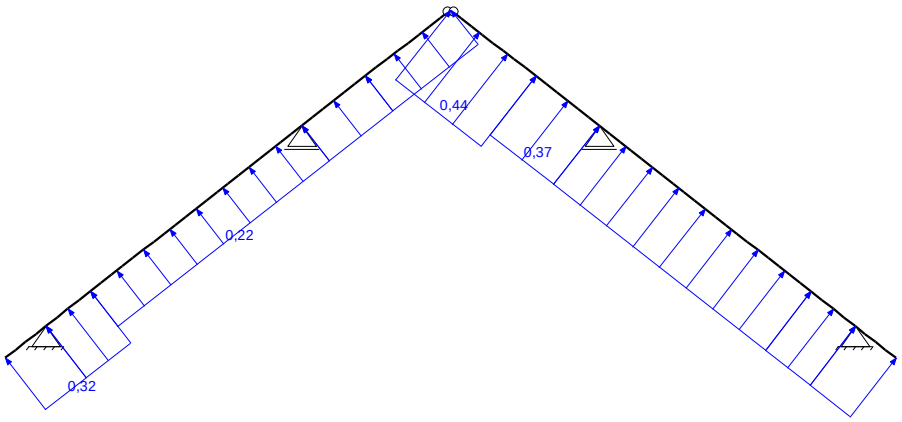
Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešni krov, smjer vjetra θ = 0° (tablica 7.4a), za nagib α = 38,0° (linearna interpolacija). Rogovi u polju krova nalaze se u zonama G i H (privjetrina) te J i I (zavjetrina). Neto tlak $w = q_p \cdot (c_{pe} - c_{pi})$, pozitivno prema plohi.

Unutarnji tlak: $c_{pi} = +0{,}2$ (uz odizanje) odnosno $c_{pi} = -0{,}3$ (uz tlak)

Zona	$c_{pe,10}$ (-)	w (-) [kN/m^2]	$c_{pe,10}$ (+)	w (+) [kN/m^2]
G	-0,23	-0,414	0,70	0,956
H	-0,09	-0,280	0,51	0,771
I	-0,29	-0,471	0,00	0,287
J	-0,39	-0,567	0,00	0,287

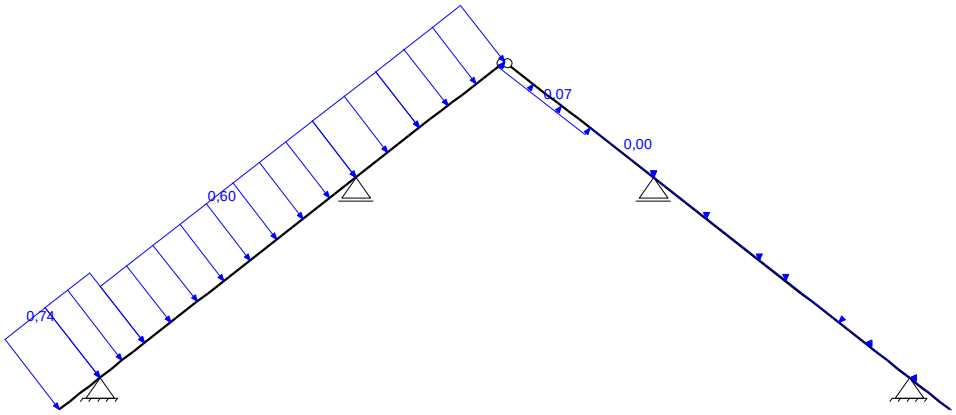
Slučajevi vjetra: W1 - sve zone s negativnim koeficijentima (odizanje); W2 - privjetrina s pozitivnim, zavjetrina s negativnim koeficijentima. Razmatran je vjetar slijeva (L) i zdesna (D). Opterećenje po rogu $q_w = w \cdot e$ djeluje okomito na krovnu plohu.

OPTEREĆENJE W1L - vjetar slijeva, odizanje (cpe negativni) [kN/m]



Slika 4: Opterećenje roga vjetrom - slučaj W1L [kN/m]

OPTEREĆENJE W2L - vjetar slijeva, tlak na privjetrinu [kN/m]



Slika 5: Opterećenje roga vjetrom - slučaj W2L [kN/m]

33.1.5 5. Kombinacije djelovanja

Granično stanje nosivosti (GSN), osnovna kombinacija prema HRN EN 1990, izraz (6.10):

$$E_d = \Sigma\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1} + \Sigma\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot Q_{k,i}$$

γ_G = 1,35 (nepovoljno) / 1,00 (povoljno); γ_Q = 1,50; $\psi_{0,S}$ = 0,50; $\psi_{0,W}$ = 0,60

Koeficijent k_{mod} određuje se prema djelovanju najkraćeg trajanja u kombinaciji (HRN EN 1995-1-1, 3.1.3).

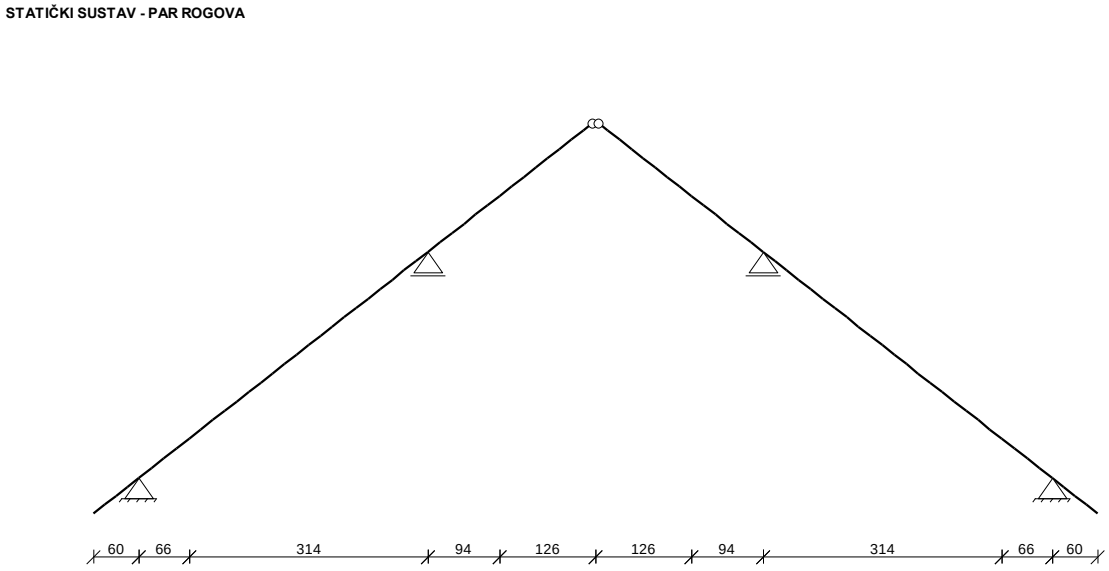
Oznaka	Kombinacija	Trajanje	k_{mod}
K1	1,35·G	stalno	0,60
K2	1,35·G + 1,50·S1	kratkotrajno	0,90
K3	1,35·G + 1,50·S2	kratkotrajno	0,90
K4	1,35·G + 1,50·S3	kratkotrajno	0,90

Oznaka	Kombinacija	Trajanje	k_{mod}
K5	1,35·G + 1,50·W1L	trenutno	1,10
K6	1,00·G + 1,50·W1L	trenutno	1,10
K7	1,35·G + 1,50·W2L	trenutno	1,10
K8	1,00·G + 1,50·W2L	trenutno	1,10
K9	1,35·G + 1,50·W1D	trenutno	1,10
K10	1,00·G + 1,50·W1D	trenutno	1,10
K11	1,35·G + 1,50·W2D	trenutno	1,10
K12	1,00·G + 1,50·W2D	trenutno	1,10
K13	1,35·G + 1,50·S1 + 0,90·W1L	trenutno	1,10
K14	1,35·G + 1,50·S1 + 0,90·W2L	trenutno	1,10
K15	1,35·G + 1,50·S1 + 0,90·W1D	trenutno	1,10
K16	1,35·G + 1,50·S1 + 0,90·W2D	trenutno	1,10
K17	1,35·G + 1,50·S2 + 0,90·W1L	trenutno	1,10
K18	1,35·G + 1,50·S2 + 0,90·W2L	trenutno	1,10
K19	1,35·G + 1,50·S2 + 0,90·W1D	trenutno	1,10
K20	1,35·G + 1,50·S2 + 0,90·W2D	trenutno	1,10
K21	1,35·G + 1,50·S3 + 0,90·W1L	trenutno	1,10
K22	1,35·G + 1,50·S3 + 0,90·W2L	trenutno	1,10
K23	1,35·G + 1,50·S3 + 0,90·W1D	trenutno	1,10
K24	1,35·G + 1,50·S3 + 0,90·W2D	trenutno	1,10
K25	1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W1L	trenutno	1,10
K26	1,35·G + 0,75·S2 + 1,50·W1L	trenutno	1,10
K27	1,35·G + 0,75·S3 + 1,50·W1L	trenutno	1,10
K28	1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2L	trenutno	1,10
K29	1,35·G + 0,75·S2 + 1,50·W2L	trenutno	1,10
K30	1,35·G + 0,75·S3 + 1,50·W2L	trenutno	1,10
K31	1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W1D	trenutno	1,10
K32	1,35·G + 0,75·S2 + 1,50·W1D	trenutno	1,10
K33	1,35·G + 0,75·S3 + 1,50·W1D	trenutno	1,10
K34	1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D	trenutno	1,10
K35	1,35·G + 0,75·S2 + 1,50·W2D	trenutno	1,10
K36	1,35·G + 0,75·S3 + 1,50·W2D	trenutno	1,10

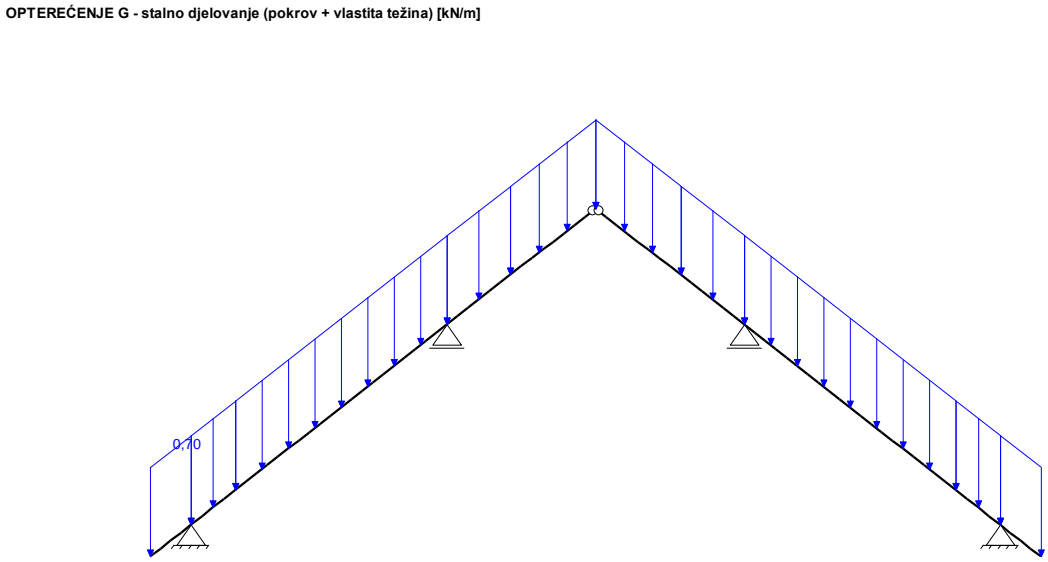
Granično stanje uporabljivosti (GSU): karakteristična kombinacija za trenutni progib te konačni progib prema HRN EN 1995-1-1, 2.2.3. Ukupno je razmatrano 32 kombinacija (P1 - P32).

33.1.6 6. Proračun rogova

Rog je modeliran kao kontinuirani nosač u ravnini para rogova (lijevi i desni rog zajedno), s ležajevima: nazidnice - nepomični zglobni ležajevi, podrožnice - pomični ležajevi (vertikalni oslonac). U sljemenu je zglob. Prepust strehe djeluje kao konzola.



Slika 6: Statički sustav para rogova



Slika 7: Stalno opterećenje roga G [kN/m]

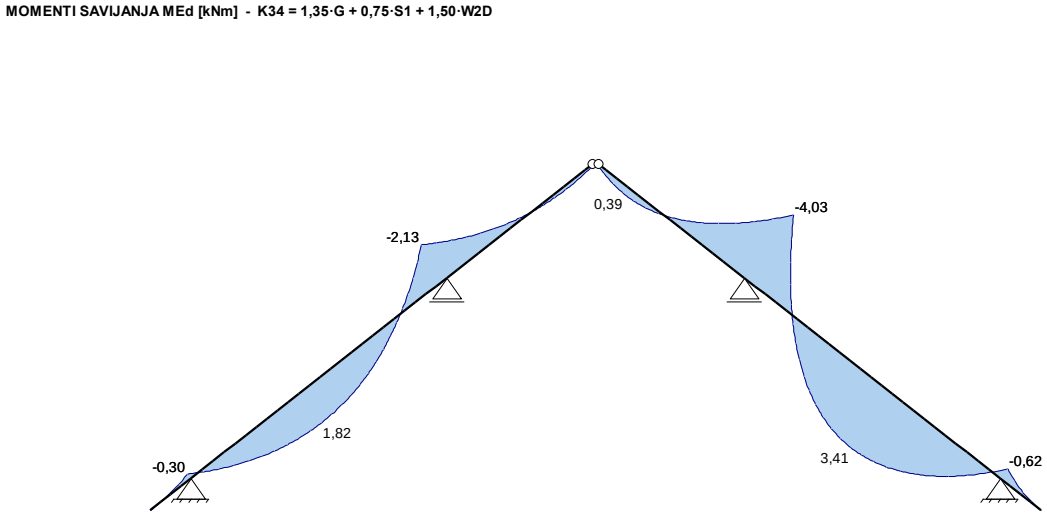
33.1.6.1 6.1 Reakcije za karakteristična djelovanja (po jednom rogu)

Djelovanje	Naz.L R_x	Naz.L R_y	Pod.L R_x	Pod.L R_y	Pod.D R_x	Pod.D R_y	Naz.D R_x	Naz.D R_y
G	0,57	2,41	0,00	3,48	0,00	3,48	-0,57	2,41
S1	0,37	1,54	0,00	2,22	0,00	2,22	-0,37	1,54
S2	0,27	0,84	0,00	1,11	0,00	2,22	-0,27	1,47
S3	0,27	1,47	0,00	2,22	0,00	1,11	-0,27	0,84

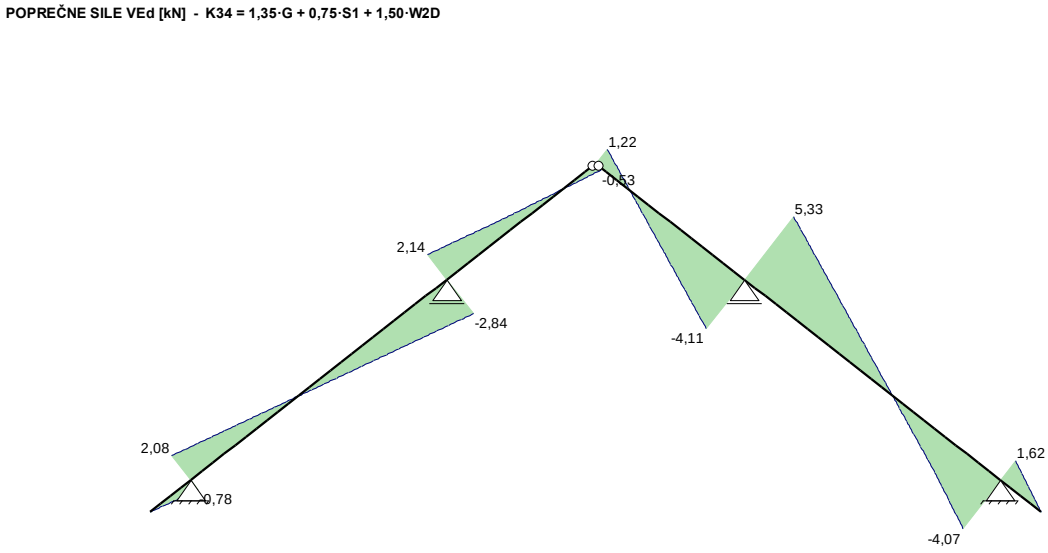
Djelovanje	Naz.L R_x	Naz.L R_y	Pod.L R_x	Pod.L R_y	Pod.D R_x	Pod.D R_y	Naz.D R_x	Naz.D R_y
W1L	0,85	-0,31	0,00	-1,36	0,00	-2,34	-1,59	-0,05
W2L	-2,98	0,09	0,00	3,75	0,00	-0,03	-0,30	0,26
W1D	1,59	-0,05	0,00	-2,34	0,00	-1,36	-0,85	-0,31
W2D	0,30	0,26	0,00	-0,03	0,00	3,75	2,98	0,09

Reakcije su u kN po rogu (R_y pozitivno prema gore, R_x pozitivno udesno).

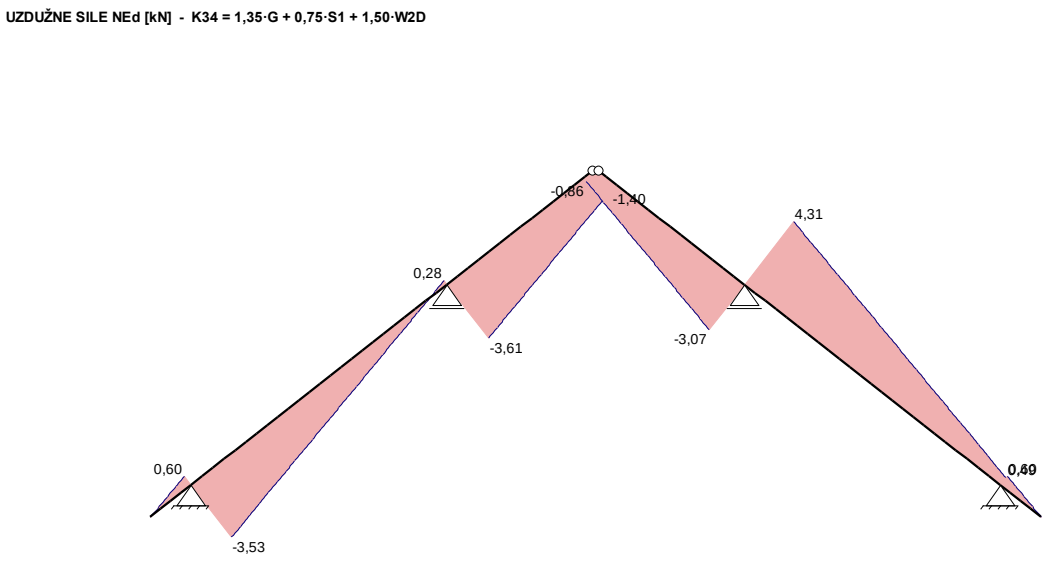
33.1.6.2 6.2 Unutarnje sile - mjerodavna kombinacija K34



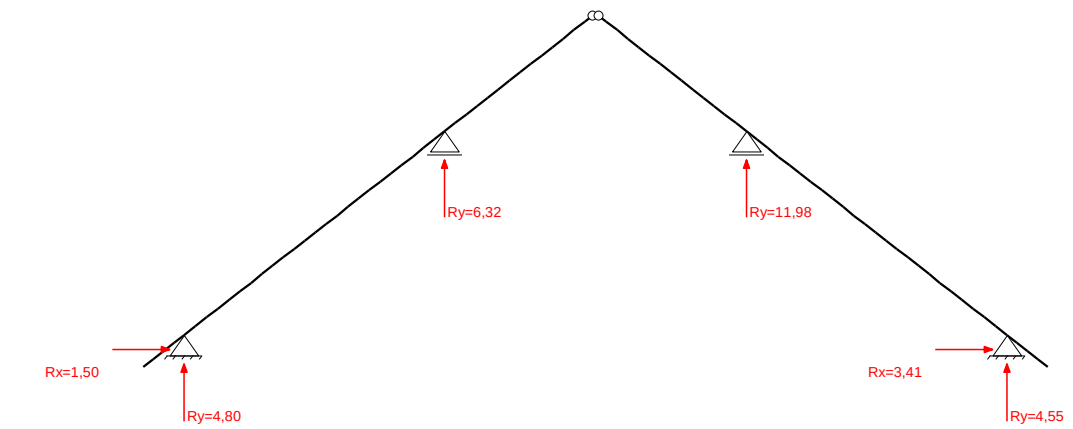
Slika 8: Dijagram momenata savijanja M_{Ed} [kNm] - K34



Slika 9: Dijagram poprečnih sila V_{Ed} [kN] - K34



Slika 10: Dijagram uzdužnih sila N_{Ed} [kN] - K34



Slika 11: Reakcije [kN] - K34

33.1.6.3 6.3 Dokaz nosivosti roga (GSN)

Rog je bočno pridržan letvama i daščanom oplatom; izvijanje se provjerava u ravnini roga, s duljinom izvijanja jednakom najvećem rasponu polja.

Poprečni presjek: b/h = 10/20 cm, materijal C24.

$A = b \cdot h = 10 \cdot 20 = 200{,}0\ cm^2$

$W_y = b \cdot h^2/6 = 666{,}7\ cm^3$; $I_y = b \cdot h^3/12 = 6667\ cm^4$

Mjerodavna kombinacija za savijanje s uzdužnom silom: K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D; presjek na 1,19 m od početka štapa "rog desno".

$N_{Ed} = -3{,}07$ kN; $V_{Ed} = -4{,}11$ kN; $M_{Ed} = -4{,}03$ kNm

$k_{mod} = 1{,}10$ (trenutno, klasa uporabe 2); $\gamma_M = 1{,}30$; $k_h = 1{,}000$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 1,10 \cdot 1,000 \cdot 24,0 / 1,30 = 20,31$ N/mm²

$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 4,03 \cdot 10^3 / 666,7 = 6,045$ N/mm²

$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 1,10 \cdot 21,0 / 1,30 = 17,77$ N/mm²

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 3,07 \cdot 10 / 200,0 = 0,153$ N/mm²

Izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.2): duljina izvijanja $l_{ef} = 4,82$ m.

$i = d / \sqrt{12} = 20 / \sqrt{12} = 5,77$ cm; $\lambda = l_{ef} / i = 482,2 / 5,77 = 83,5$

$\lambda_{rel} = (\lambda / \pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k} / E_{0,05})} = (83,5 / \pi) \cdot \sqrt{(21,0 / 7400)} = 1,416$

$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,416 - 0,3) + 1,416^2] = 1,615$

$k_c = 1 / (k + \sqrt{(k^2 - \lambda_{rel}^2)}) = 0,418$

$\sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 0,153 / (0,418 \cdot 17,77) + 6,045 / 20,31 = 0,021 + 0,298 = 0,318 \leq 1,0$

Iskoristivost η = 0,32 - ZADOVOLJAVA

Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7), mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D:

$V_{Ed} = 5,33$ kN; $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 1,10 \cdot 4,0 / 1,30 = 3,38$ N/mm²

$\tau_d = 1,5 \cdot V_{Ed} / (k_{cr} \cdot A) = 1,5 \cdot 5,33 \cdot 10 / (0,67 \cdot 200,0) = 0,597$ N/mm²

$\tau_d / f_{v,d} = 0,597 / 3,38 = 0,18 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.6.4 6.4 Dokaz uporabljivosti roga (GSU)

Mjerodavno polje duljine l = 4,82 m. Progibi su određeni linijskim modelom ($E_{0,mean} = 11000$ N/mm²), okomito na os elementa, relativno u odnosu na spojnicu oslonaca.

$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Qi}$

$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \Sigma w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$

$k_{def} = 0,80$; $\psi_{0,S} = 0,50$; $\psi_{2,S} = 0,00$; $\psi_{0,W} = 0,60$; $\psi_{2,W} = 0,00$

Trenutni progib - mjerodavna kombinacija P31 = 1,00·G + 0,50·S2 + 1,00·W2D:

$w_{inst} = 6,5$ mm ≤ $w_{lim} = l/300 = 16,1$ mm - ZADOVOLJAVA

Konačni progib - mjerodavna kombinacija P31:

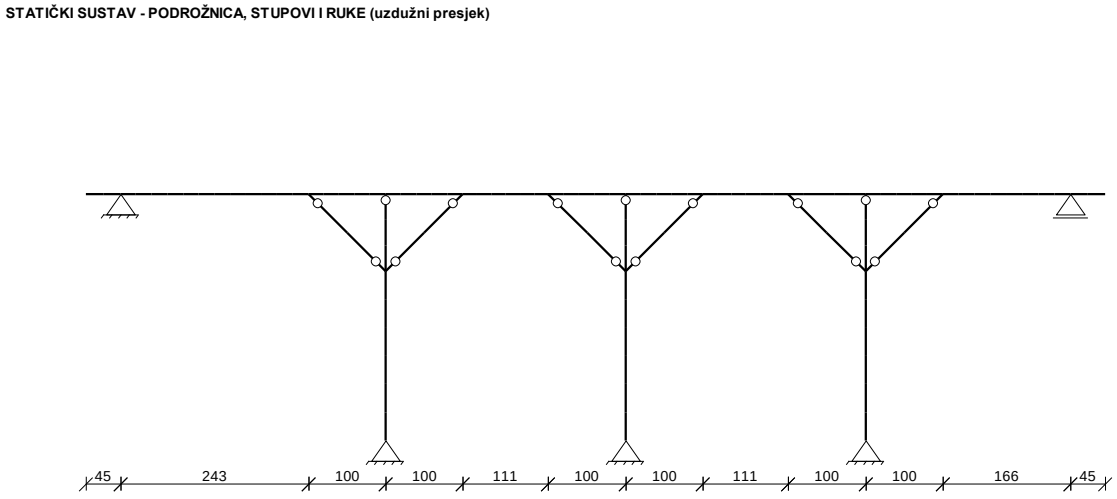
$w_{net,fin} = 8,7$ mm ≤ $w_{lim} = l/250 = 19,3$ mm - ZADOVOLJAVA

33.1.7 7. Proračun podrožnice

Podrožnica je modelirana kao kontinuirani nosač u uzdužnom smjeru krovišta. Leži na zabatnim zidovima (osi zidova na 0,45 m i 12,75 m od prednjeg ruba krova) i na 3 stup(a) stolice (zglobni spoj na vrhu stupa), poduprta rukama pod 45°. Stupovi su postavljeni ispod rogova tako da raspon podrožnice ne prelazi 4,00 m (najveći raspon 3,43 m). Stupovi su u dnu zglobno oslonjeni preko kladica na AB ploču. Opterećenje podrožnice jednako je reakciji roga podijeljenoj s razmakom rogova: $q = R_y/e$.

Djelovanje	q lijeva [kN/m]	q desna [kN/m]
G	4,479	4,479
S1	2,857	2,857
S2	1,429	2,856
S3	2,856	1,429
W1L	-1,757	-3,019
W2L	4,830	-0,033
W1D	-3,019	-1,757
W2D	-0,033	4,830

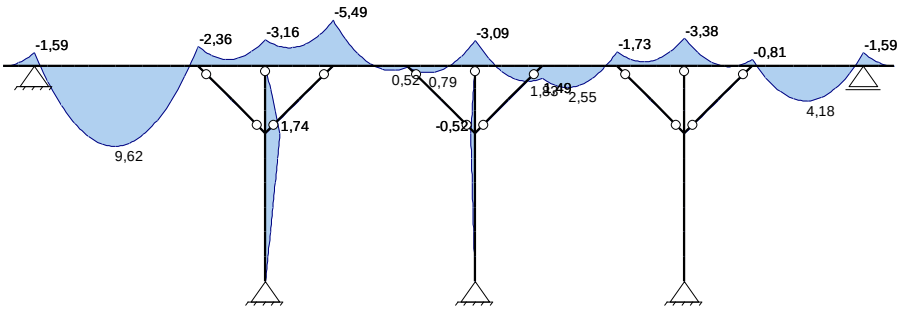
Vlastita težina podrožnice: g = 0,178 kN/m (dodaje se djelovanju G).



Slika 12: Statički sustav podrožnice sa stupovima i rukama

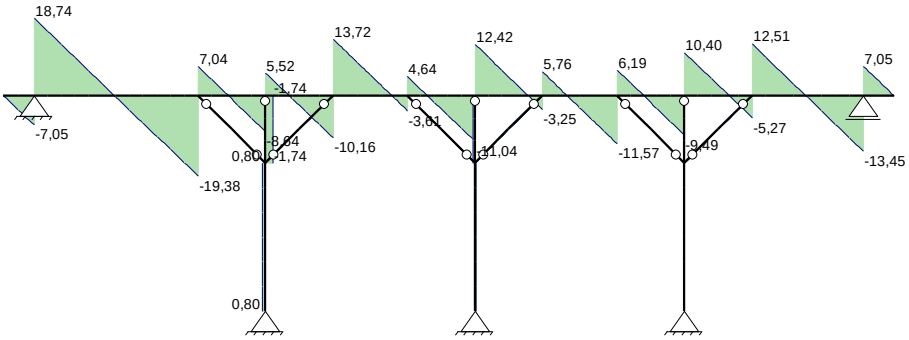
Mjerodavno opterećenje: q_{Ed} = 15,435 kN/m (kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desna podrožnica)).

MOMENTI SAVIJANJA MEd [kNm] - K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desna podrožnica)

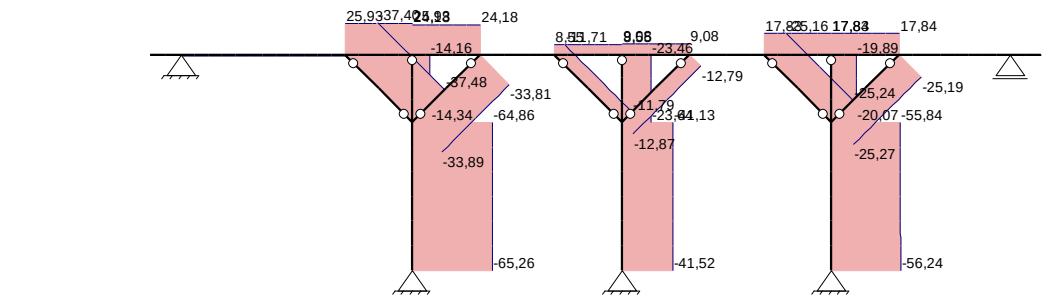


Slika 13: Dijagram momenata savijanja M_{Ed} [kNm] - K34

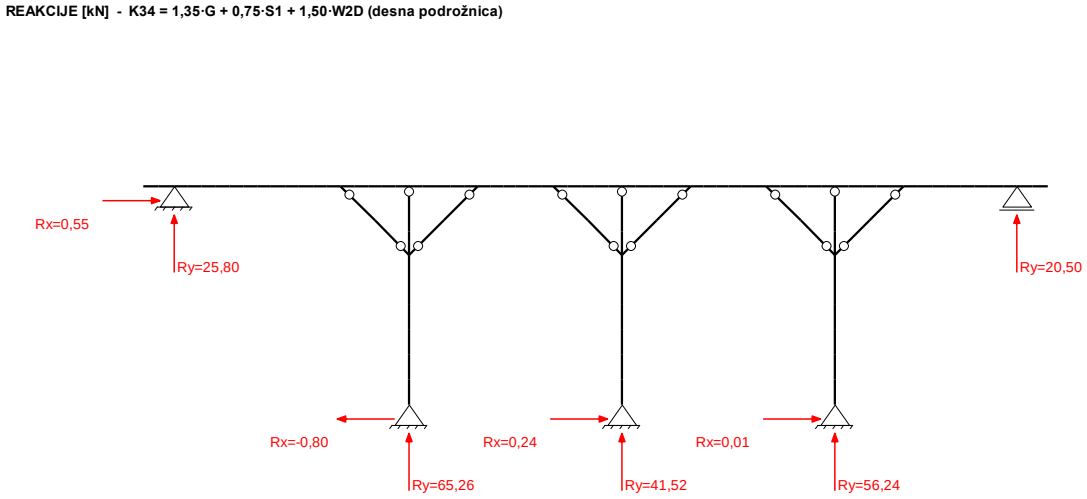
POPREČNE SILE VEd [kN] - K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desna podrožnica)



Slika 14: Dijagram poprečnih sila V_{Ed} [kN] - K34



Slika 15: Dijagram uzdužnih sila N_{Ed} [kN] - K34



Slika 16: Reakcije [kN] - K34

33.1.7.1 7.1 Dokaz nosivosti podrožnice (GSN)

Podrožnica je bočno pridržana rogovima (k_{crit} = 1,0).

Poprečni presjek: b/h = 18/24 cm, materijal C24.

$A = b \cdot h = 18 \cdot 24 = 432{,}0\ cm^2$

$W_y = b \cdot h^2/6 = 1728{,}0\ cm^3$; $I_y = b \cdot h^3/12 = 20736\ cm^4$

Mjerodavna kombinacija za savijanje s uzdužnom silom: K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desna podrožnica); presjek na 1,22 m od početka štapa "podrožnica".

N_{Ed} = -0,55 kN; V_{Ed} = -0,32 kN; M_{Ed} = 9,62 kNm

k_{mod} = 1,10 (trenutno, klasa uporabe 2); γ_M = 1,30; k_h = 1,000

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 1{,}000 \cdot 24{,}0/1{,}30 = 20{,}31\ N/mm^2$

$\sigma_{m,d} = M_{Ed}/W_y = 9,62 \cdot 10^3/1728,0 = 5,566$ N/mm^2

$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k}/\gamma_M = 1,10 \cdot 21,0/1,30 = 17,77$ N/mm^2

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A = 0,55 \cdot 10/432,0 = 0,013$ N/mm^2

Izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.2): duljina izvijanja $l_{ef} = 0,00$ m.

$i = d/\sqrt{12} = 24/\sqrt{12} = 6,93$ cm; $\lambda = l_{ef}/i = 0,0/6,93 = 0,0$

$\lambda_{rel} = (\lambda/\pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k}/E_{0,05})} = (0,0/\pi) \cdot \sqrt{(21,0/7400)} = 0,000$

$\lambda_{rel} \leq 0,3$ - nema utjecaja izvijanja (izraz 6.19).

$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,d}/f_{m,d} = (0,013/17,77)^2 + 5,566/20,31 = 0,274 \leq 1,0$

Iskoristivost η = 0,27 - ZADOVOLJAVA

Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7), mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D:

$V_{Ed} = 19,38$ kN; $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k}/\gamma_M = 1,10 \cdot 4,0/1,30 = 3,38$ N/mm^2

$\tau_d = 1,5 \cdot V_{Ed}/(k_{cr} \cdot A) = 1,5 \cdot 19,38 \cdot 10/(0,67 \cdot 432,0) = 1,004$ N/mm^2

$\tau_d/f_{v,d} = 1,004/3,38 = 0,30 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.7.2 7.2 Dokaz uporabljivosti podrožnice (GSU)

Mjerodavno polje duljine l = 3,43 m. Progibi su određeni linijskim modelom ($E_{0,mean} = 11000$ N/mm^2), okomito na os elementa, relativno u odnosu na spojnicu oslonaca.

$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Qi}$

$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \Sigma w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$

$k_{def} = 0,80$; $\psi_{0,S} = 0,50$; $\psi_{2,S} = 0,00$; $\psi_{0,W} = 0,60$; $\psi_{2,W} = 0,00$

Trenutni progib - mjerodavna kombinacija P30 = 1,00·G + 0,50·S1 + 1,00·W2D (desna podrožnica):

$w_{inst} = 2,5$ mm ≤ $w_{lim} = l/300 = 11,4$ mm - ZADOVOLJAVA

Konačni progib - mjerodavna kombinacija P30:

$w_{net,fin} = 3,3$ mm ≤ $w_{lim} = l/250 = 13,7$ mm - ZADOVOLJAVA

33.1.7.3 7.3 Ležaj podrožnice na zabatnom zidu

Podrožnica 18/24 cm leži na zabatnom zidu debljine 30 cm (duljina oslanjanja jednaka debljini zida).

Mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D.

$F_{c,90,d} = 25,80$ kN; $l_{ef} = l + 2 \cdot 30$ mm $= 300 + 60 = 360$ mm; $A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 360 \cdot 180 = 64800$ mm^2

$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k}/\gamma_M = 1,10 \cdot 2,50/1,30 = 2,115$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d}/A_{ef} = 25,80 \cdot 10^3/64800 = 0,398$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d}/(k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 0,398/(1,00 \cdot 2,115) = 0,19 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

Sila na zabatni zid (po podrožnici): $F_{Ed} = 25,80$ kN

33.1.8 8. Proračun stupova

Stup je zglobno spojen s podrožnicom i oslonjen u dnu; duljina izvijanja jednaka je duljini stupa (Euler II), za obje osi (mjerodavna manja dimenzija presjeka).

Poprečni presjek: b/h = 18/18 cm, materijal C24.

$A = b \cdot h = 18 \cdot 18 = 324{,}0\ cm^2$

$W_y = b \cdot h^2/6 = 972{,}0\ cm^3$; $I_y = b \cdot h^3/12 = 8748\ cm^4$

Mjerodavna kombinacija za savijanje s uzdužnom silom: K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desni stupovi); presjek na 2,19 m od početka štapa "stup".

$N_{Ed} = -64{,}86\ kN$; $V_{Ed} = 0{,}80\ kN$; $M_{Ed} = 1{,}74\ kNm$

$k_{mod} = 1{,}10$ (trenutno, klasa uporabe 2); $\gamma_M = 1{,}30$; $k_h = 1{,}000$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 1{,}000 \cdot 24{,}0/1{,}30 = 20{,}31\ N/mm^2$

$\sigma_{m,d} = M_{Ed}/W_y = 1{,}74 \cdot 10^3/972{,}0 = 1{,}792\ N/mm^2$

$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 21{,}0/1{,}30 = 17{,}77\ N/mm^2$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A = 64{,}86 \cdot 10/324{,}0 = 2{,}002\ N/mm^2$

Izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.2): duljina izvijanja $l_{ef} = 3{,}19$ m.

$i = d/\sqrt{12} = 18/\sqrt{12} = 5{,}20$ cm; $\lambda = l_{ef}/i = 318{,}9/5{,}20 = 61{,}4$

$\lambda_{rel} = (\lambda/\pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k}/E_{0,05})} = (61{,}4/\pi) \cdot \sqrt{(21{,}0/7400)} = 1{,}041$

$k = 0{,}5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}2 \cdot (1{,}041 - 0{,}3) + 1{,}041^2] = 1{,}116$

$k_c = 1/(k + \sqrt{(k^2 - \lambda_{rel}^2)}) = 0{,}659$

$\sigma_{c,0,d}/(k_c \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,d}/f_{m,d} = 2{,}002/(0{,}659 \cdot 17{,}77) + 1{,}792/20{,}31 = 0{,}171 + 0{,}088 = 0{,}259 \leq 1{,}0$

Iskoristivost η = 0,26 - ZADOVOLJAVA

Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7), mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D:

$V_{Ed} = 1{,}74\ kN$; $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 4{,}0/1{,}30 = 3{,}38\ N/mm^2$

$\tau_d = 1{,}5 \cdot V_{Ed}/(k_{cr} \cdot A) = 1{,}5 \cdot 1{,}74 \cdot 10/(0{,}67 \cdot 324{,}0) = 0{,}120\ N/mm^2$

$\tau_d/f_{v,d} = 0{,}120/3{,}38 = 0{,}04 \leq 1{,}0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.9 9. Proračun ruku (kosnika)

Ruke su zglobno spojene sa stupom i podrožnicom; preuzimaju uzdužnu tlačnu silu. Duljina izvijanja $l_{ef} = 1{,}41$ m.

Poprečni presjek: b/h = 12/12 cm, materijal C24.

$A = b \cdot h = 12 \cdot 12 = 144{,}0\ cm^2$

$W_y = b \cdot h^2/6 = 288{,}0\ cm^3$; $I_y = b \cdot h^3/12 = 1728\ cm^4$

Mjerodavna kombinacija za savijanje s uzdužnom silom: K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D (desna strana); presjek na 0,71 m od početka štapa "ruka".

$N_{Ed} = -37{,}44\ kN$; $V_{Ed} = 0{,}00\ kN$; $M_{Ed} = -0{,}01\ kNm$

$k_{mod} = 1{,}10$ (trenutno, klasa uporabe 2); $\gamma_M = 1{,}30$; $k_h = 1{,}046$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{m,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 1{,}046 \cdot 24{,}0/1{,}30 = 21{,}23\ N/mm^2$

$\sigma_{m,d} = M_{Ed}/W_y = 0{,}01 \cdot 10^3/288{,}0 = 0{,}049\ N/mm^2$

$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k}/\gamma_M = 1{,}10 \cdot 21{,}0/1{,}30 = 17{,}77\ N/mm^2$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A = 37{,}44 \cdot 10/144{,}0 = 2{,}600\ N/mm^2$

Izvijanje (HRN EN 1995-1-1, 6.3.2): duljina izvijanja $l_{ef} = 1{,}41$ m.

$i = d/\sqrt{12} = 12/\sqrt{12} = 3{,}46$ cm; $\lambda = l_{ef}/i = 141{,}4/3{,}46 = 40{,}8$

$\lambda_{rel} = (\lambda/\pi) \cdot \sqrt{(f_{c,0,k}/E_{0,05})} = (40{,}8/\pi) \cdot \sqrt{(21{,}0/7400)} = 0{,}692$

$k = 0{,}5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}2 \cdot (0{,}692 - 0{,}3) + 0{,}692^2] = 0{,}779$

$k_c = 1/(k + \sqrt{(k^2 - \lambda_{rel}^2)}) = 0{,}880$

$\sigma_{c,0,d}/(k_c \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,d}/f_{m,d} = 2{,}600/(0{,}880 \cdot 17{,}77) + 0{,}049/21{,}23 = 0{,}166 + 0{,}002 = 0{,}168 \leq 1{,}0$

Iskoristivost η = 0,17 - ZADOVOLJAVA

Posmik (HRN EN 1995-1-1, 6.1.7), mjerodavna kombinacija K1 = 1,35·G:

$V_{Ed} = 0{,}04\ kN$; $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k}/\gamma_M = 0{,}60 \cdot 4{,}0/1{,}30 = 1{,}85\ N/mm^2$

$\tau_d = 1,5 \cdot V_{Ed}/(k_{cr} \cdot A) = 1,5 \cdot 0,04 \cdot 10/(0,67 \cdot 144,0) = 0,006$ N/mm²

$\tau_d/f_{v,d} = 0,006/1,85 = 0,00 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.9.1 8.1 Ležaj stupa na kladici

Stup 18/18 cm oslanja se na kladicu 18/18 cm, a kladica na armiranobetonsku ploču (tlak okomito na vlakanca kladice). Mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D.

$F_{c,90,d} = 65,26$ kN; $l_{ef} = l + 2 \cdot 30$ mm $= 180 + 60 = 240$ mm; $A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 240 \cdot 180 = 43200$ mm²

$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k}/\gamma_M = 1,10 \cdot 2,50/1,30 = 2,115$ N/mm²

$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d}/A_{ef} = 65,26 \cdot 10^3/43200 = 1,511$ N/mm²

$\sigma_{c,90,d}/(k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 1,511/(1,00 \cdot 2,115) = 0,71 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

Tlak na AB ploču ispod kladice: $\sigma_{c,d} = F/(b \cdot l_{kl}) = 65,26 \cdot 10^3/(180 \cdot 1200) = 0,302$ N/mm²

33.1.9.2 8.2 Oslanjanje podrožnice na stup

Podrožnica 18/24 cm oslanja se na stup 18/18 cm (tlak okomito na vlakanca podrožnice). Mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D.

$F_{c,90,d} = 65,26$ kN; $l_{ef} = l + 2 \cdot 30$ mm $= 180 + 60 = 240$ mm; $A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 240 \cdot 180 = 43200$ mm²

$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k}/\gamma_M = 1,10 \cdot 2,50/1,30 = 2,115$ N/mm²

$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d}/A_{ef} = 65,26 \cdot 10^3/43200 = 1,511$ N/mm²

$\sigma_{c,90,d}/(k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 1,511/(1,00 \cdot 2,115) = 0,71 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.10 10. Proračun kliješta

Kliješta glavnog veza povezuju rogove i stupove. Preuzimaju horizontalnu komponentu djelovanja vjetra s pripadne širine glavnog veza $l_s = 3,43$ m. Sila u kliještima po vezu: $N = H_w \cdot l_s/e$, gdje je H_w horizontalna rezultanta vjetra na par rogova.

H_w: W1L = 0,74 kN; W2L = 3,28 kN; W1D = -0,74 kN; W2D = -3,28 kN (po rogu, karakteristično)

$N_{Ed} = 21,72$ kN (kombinacija K7 = 1,35·G + 1,50·W2L), uzeto kao tlačna sila

Presjek: 2 × 8/16 cm; duljina izvijanja (razmak stupova glavnog veza) $l_{ef} = 4,40$ m.

$A = 256,0$ cm²; $i = 16/\sqrt{12} = 4,62$ cm; $\lambda = 95,3$; $\lambda_{rel} = 1,615$; $k = 1,936$; $k_c = 0,333$

$f_{c,0,d} = 1,10 \cdot 21,0/1,30 = 17,77$ N/mm²; $\sigma_{c,0,d} = N_{Ed}/A = 0,848$ N/mm²

$\sigma_{c,0,d}/(k_c \cdot f_{c,0,d}) = 0,848/(0,333 \cdot 17,77) = 0,14 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.11 12. Ležajevi i spojevi

33.1.11.1 12.1 Oslanjanje roga na nazidnicu

Rog 10/20 cm oslanja se na nazidnicu 16/14 cm. Mjerodavna kombinacija K2 = 1,35·G + 1,50·S1.

$F_{c,90,d} = 5,57$ kN; $l_{ef} = l + 2 \cdot 30$ mm $= 100 + 60 = 160$ mm; $A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 160 \cdot 160 = 25600$ mm^2

$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 2,50 / 1,30 = 1,731$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef} = 5,57 \cdot 10^3 / 25600 = 0,218$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 0,218 / (1,00 \cdot 1,731) = 0,13 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.11.2 12.2 Oslanjanje roga na podrožnicu

Rog 10/20 cm oslanja se na podrožnicu 18/24 cm. Mjerodavna kombinacija K34 = 1,35·G + 0,75·S1 + 1,50·W2D.

$F_{c,90,d} = 11,98$ kN; $l_{ef} = l + 2 \cdot 30$ mm $= 100 + 60 = 160$ mm; $A_{ef} = l_{ef} \cdot b = 160 \cdot 180 = 28800$ mm^2

$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,10 \cdot 2,50 / 1,30 = 2,115$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef} = 11,98 \cdot 10^3 / 28800 = 0,416$ N/mm^2

$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 0,416 / (1,00 \cdot 2,115) = 0,20 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

33.1.11.3 12.3 Nazidnica - savijanje između sidara i sile u sidrima

Horizontalni potisak roga prenosi se na nazidnicu, a nazidnica sidrima na serklaž. Nazidnica se proračunava kao prosta greda između sidara (razmak a = 1,00 m), savijana oko slabije osi. Mjerodavna kombinacija K8.

$q_h = R_x / e = 3,89 / 0,776 = 5,01$ kN/m; $M_{Ed} = q_h \cdot a^2 / 8 = 5,01 \cdot 1,00^2 / 8 = 0,626$ kNm

$W_z = h \cdot b^2 / 6 = 597,3$ cm^3; $\sigma_{m,d} = 1,048$ N/mm^2; $f_{m,d} = 20,31$ N/mm^2

$\sigma_{m,d} / f_{m,d} = 0,05 \leq 1,0$ - ZADOVOLJAVA

Horizontalna sila po sidru: $F_{h,Ed} = q_h \cdot a = 5,01$ kN

Nema odizanja na nazidnici (sve vertikalne reakcije su tlačne).

Spojna sredstva (čavli, vijci, kutnici, sidra) dimenzioniraju se prema gore navedenim silama.

33.1.12 13. Iskaz drvene građe

Element	b [cm]	h [cm]	duljina [m]	kom	uk. duljina [m]	V [m³]
Rogovi	10	20	8,38	36	301,5	6,03
Podrožnice	18	24	13,20	2	26,4	1,14
Nazidnice	16	14	13,20	2	26,4	0,59
Stupovi	18	18	3,19	6	19,1	0,62
Kliješta	8	16	6,07	6	36,4	0,47
Mala kliješta	3	15	1,20	34	40,8	0,17
Ruke	12	12	1,41	12	17,0	0,24
Kladice	18	18	1,20	6	7,2	0,23
Kose ukrute	3	14	8,38	4	33,5	0,13
UKUPNO						9,63

Duljine su teorijske; za narudžbu dodati otpad i preklope.

33.1.13 14. Zaključak - pregled iskoristivosti

Element	Dokaz	η	Ocjena
Rog	savijanje + uzdužna sila	0,32	ZADOVOLJAVA
Rog	posmik	0,18	ZADOVOLJAVA
Rog	progib (GSU)	0,45	ZADOVOLJAVA
Podrožnica	savijanje + uzdužna sila	0,27	ZADOVOLJAVA
Podrožnica	posmik	0,30	ZADOVOLJAVA
Podrožnica	progib (GSU)	0,24	ZADOVOLJAVA
Podrožnica - ležaj na zidu	tlak okomito na vlakanca	0,19	ZADOVOLJAVA
Stup	savijanje + uzdužna sila	0,26	ZADOVOLJAVA
Stup	posmik	0,04	ZADOVOLJAVA
Ruka	savijanje + uzdužna sila	0,17	ZADOVOLJAVA
Ruka	posmik	0,00	ZADOVOLJAVA
Kladica	tlak okomito na vlakanca	0,71	ZADOVOLJAVA
Podrožnica - ležaj na stupu	tlak okomito na vlakanca	0,71	ZADOVOLJAVA
Kliješta	tlak s izvijanjem	0,14	ZADOVOLJAVA
Nazidnica - ležaj roga	tlak okomito na vlakanca	0,13	ZADOVOLJAVA
Podrožnica - ležaj roga	tlak okomito na vlakanca	0,20	ZADOVOLJAVA
Nazidnica	savijanje između sidara	0,05	ZADOVOLJAVA

Svi provedeni dokazi graničnih stanja nosivosti i uporabljivosti su zadovoljeni.

33.1.14 Napomena

Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.
TimberRoof 1.0

MasonryWall
Masonry wall design · EN 1996 · EN 1998

34 Program MasonryWall

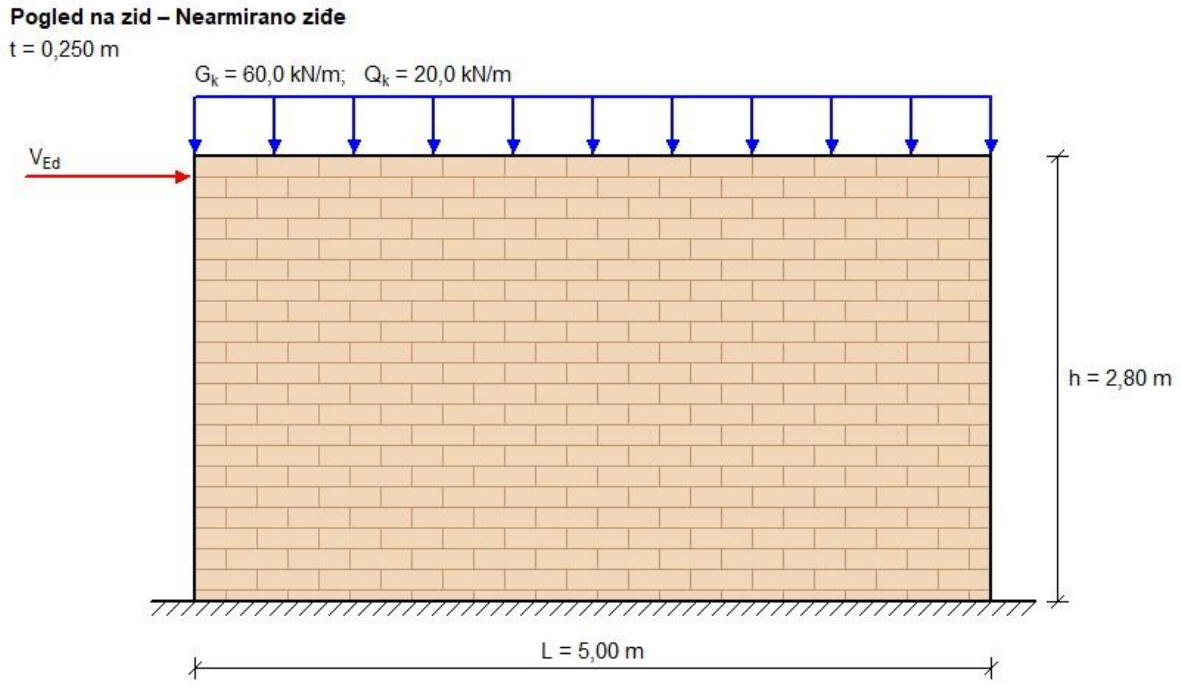
PRORAČUN ZIDA – Nearmirano zide
Projekt: Stambena zgrada
Oznaka zida: Z1 – prizemlje, os A
Izrađeno programom: MasonryWall 1.0

Proračun je proveden prema normama HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-4, HRN EN 1996-1-1 (Eurokod 6) i HRN EN 1998-1 (Eurokod 8). Zid se provjerava na vertikalno opterećenje i djelovanje vjetra okomito na ravninu zida, te na horizontalno potresno djelovanje u ravnini zida. Jedinice: sile u kN, duljine u m, naprezanja u N/mm².

34.1 Ulazni podaci

34.1.1 1.1 Geometrija zida

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Duljina zida	L	5,00	m
Svijetla visina zida	h	2,80	m
Debljina zida	t	0,250	m
Faktor redukcije visine (0,75 AB stropovi; 1,0 ostalo)	ρ_n	0,75	–



Slika 1: Pogled na zid s vertikalnim i potresnim djelovanjem

34.1.2 1.2 Materijal

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa	f_b	10,00	N/mm²
Tlačna čvrstoća morta	f_m	5,00	N/mm²
Konstanta K (HRN EN 1996-1-1, tablica 3.3)	K	0,45	–
Početna posmična čvrstoća	f_{vk0}	0,200	N/mm²
Čvrstoća na savijanje (ravnina loma paralelna sljubnicama)	f_{xk1}	0,100	N/mm²
Parcijalni koeficijent za ziđe	γ_M	2,20	–
Zapreminska težina ziđa	γ_w	14,00	kN/m³
Koeficijent modula elastičnosti	K_E	1000	–
Konačni koeficijent puzanja	ϕ_{inf}	1,50	–

34.1.3 1.3 Djelovanja

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Stalno opterećenje na vrhu zida	G_k	60,00	kN/m
Uporabno opterećenje na vrhu zida	Q_k	20,00	kN/m
Ekscentricitet opterećenja na vrhu zida	e_0	0,020	m
Koeficijent kombinacije (osnovna)	ψ_0	0,70	–
Koeficijent kombinacije (potres)	ψ_2	0,30	–
Karakteristični tlak vjetra na zid	w_k	0,80	kN/m²

34.1.4 1.4 Potresni parametri

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Referentno vršno ubrzanje temeljnog tla	a_{gR}	0,250	g
Faktor važnosti	γ_I	1,00	–
Kategorija tla	–	B	–
Faktor ponašanja	q	1,50	–
Visina zgrade iznad temelja	H	9,00	m
Broj etaža	n	3	–
Koeficijent za osnovni period (ziđe 0,05)	C_t	0,050	–
Ukupna potresna težina zgrade (G + ψ_2Q)	W	4000	kN
Udio zida u ukupnoj poprečnoj sili	k	8,00	%
Faktor slučajne torzije	δ	1,10	–
Faktor visine nultočke momenta (0,5 upeto-upeto; 1,0 konzola)	α_M	0,50	–

34.2 Proračunske karakteristike ziđa

Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa za mort opće namjene (HRN EN 1996-1-1, izraz 3.1):

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,45 \cdot 10,00^{0,7} \cdot 5,00^{0,3} = 3,655 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska tlačna čvrstoća (stalna i prolazna proračunska situacija):

$$f_d = f_k / \gamma_M = 3,655 / 2,20 = 1,661 \text{ N/mm}^2$$

Parcijalni koeficijent za potresnu proračunsku situaciju (HRN EN 1998-1, 9.6(3)):

$$\gamma_{M,s} = \max(2/3 \cdot \gamma_M;\ 1,5) = \max(1,47;\ 1,50) = 1,50$$

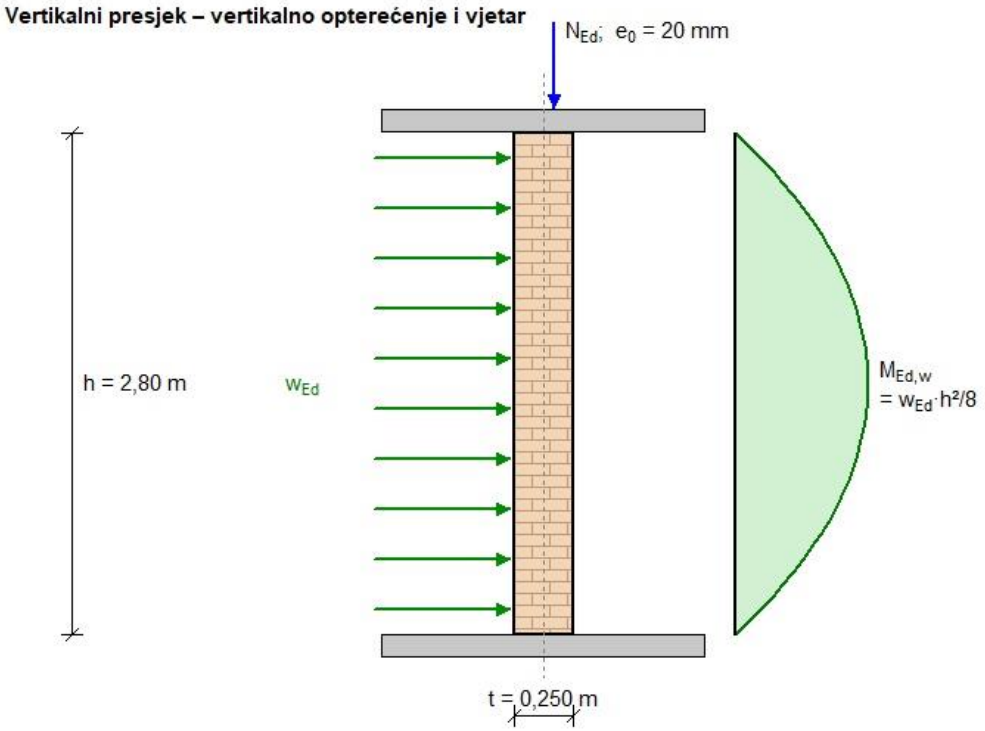
$$f_{d,s} = f_k / \gamma_{M,s} = 3,655 / 1,50 = 2,437 \text{ N/mm}^2$$

Kratkotrajni sekantni modul elastičnosti (HRN EN 1996-1-1, 3.7.2):

$$E = K_E \cdot f_k = 1000 \cdot 3,655 = 3655 \text{ N/mm}^2$$

34.3 Provjera na vertikalno opterećenje i djelovanje vjetra

Zid je na vrhu i dnu pridržan stropnim konstrukcijama. Vertikalno opterećenje djeluje na vrhu zida s ekscentricitetom e_0, a vlastita težina zida raste linearno prema dnu. Vjetar djeluje okomito na ravninu zida; zid se za to djelovanje promatra kao ploča koja nosi vertikalno i slobodno je oslonjena na vrhu i dnu. Nosivost na tlak provjerava se na vrhu, u sredini i na dnu zida (HRN EN 1996-1-1, 6.1.2).



Slika 2: Vertikalni presjek zida – vertikalno opterećenje, vjetar i moment savijanja

34.3.1 3.1 Proračunska visina, vitkost i početni ekscentricitet

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h = 0{,}75 \cdot 2{,}80 = 2{,}100 \text{ m}$$

$$t_{ef} = t = 0{,}250 \text{ m}$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 2{,}100/0{,}250 = 8{,}40$$

Vitkost zida (EC6, 5.5.1.4): $h_{ef}/t_{ef} = 8{,}40 \leq 27$ → ZADOVOLJAVA

$$e_{init} = h_{ef}/450 = 2{,}100/450 = 0{,}0047 \text{ m}$$

$$e_{min} = 0{,}05 \cdot t = 0{,}05 \cdot 0{,}250 = 0{,}0125 \text{ m}$$

$$G_w = \gamma_w \cdot t \cdot h = 14{,}00 \cdot 0{,}250 \cdot 2{,}80 = 9{,}80 \text{ kN/m} \quad \text{(vlastita težina zida po m')}$$

34.3.2 3.2 Kombinacije djelovanja (HRN EN 1990, izraz 6.10)

K1: $1{,}35 \cdot G + 1{,}50 \cdot Q$ – mjerodavna za tlak

K2: $1{,}35 \cdot G + 1{,}50 \cdot \psi_0 \cdot Q + 1{,}50 \cdot W$ – vjetar kao prevladavajuće promjenjivo djelovanje

K3: $1{,}00 \cdot G + 1{,}50 \cdot W$ – minimalna uzdužna sila uz vjetar

34.3.3 3.3 Kombinacija K1

$$N_{Ed,vrh} = 1{,}35 \cdot 60{,}00 + 1{,}500 \cdot 20{,}00 = 111{,}00 \text{ kN/m}$$

$$N_{Ed,sred} = N_{Ed,vrh} + 1{,}35 \cdot 0{,}5 \cdot G_w = 111{,}00 + 6{,}61 = 117{,}61 \text{ kN/m}$$

$$N_{Ed,dno} = N_{Ed,vrh} + 1{,}35 \cdot G_w = 111{,}00 + 13{,}23 = 124{,}23 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,vrh} = N_{Ed,vrh} \cdot e_0 = 111{,}00 \cdot 0{,}020 = 2{,}220 \text{ kNm/m}$$

$M_{Ew} = 0{,}00 \cdot w_k \cdot h^2/8 = 0{,}00 \cdot 0{,}80 \cdot 2{,}80^2/8 = 0{,}000$ kNm/m

$M_{Ed,sred} = 0{,}5 \cdot M_{Ed,vrh} + M_{Ew} = 0{,}5 \cdot 2{,}220 + 0{,}000 = 1{,}110$ kNm/m

a) Vrh zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.4 i 6.5):

$e_i = M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init} = 2{,}220/111{,}00 + 0 + 0{,}0047 = 0{,}0247$ m

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0247/0{,}250 = 0{,}803$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}803 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 333{,}39$ kN/m

K1 – vrh zida: N_{Ed} = 111,00 kN/m ≤ N_{Rd} = 333,39 kN/m (η = 0,333) → ZADOVOLJAVA

b) Sredina visine zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.6 – 6.8 i dodatak G):

$e_m = M_{md}/N_{md} + e_{hm} + e_{init} = 1{,}110/117{,}61 + 0{,}000/117{,}61 + 0{,}0047 = 0{,}0141$ m

$h_{ef}/t_{ef} = 8{,}40 \leq 15 \rightarrow e_k = 0$

$e_{mk} = e_m + e_k = 0{,}0141 + 0{,}0000 = 0{,}0141$ m

$A_1 = 1 - 2 \cdot e_{mk}/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0141/0{,}250 = 0{,}887$

$\lambda = (h_{ef}/t_{ef}) \cdot \sqrt{(f_k/E)} = 8{,}40 \cdot \sqrt{(3{,}655/3655)} = 0{,}2656$

$u = (\lambda - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot e_{mk}/t) = (0{,}2656 - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot 0{,}0564) = 0{,}3052$

$\Phi_m = A_1 \cdot \exp(-u^2/2) = 0{,}887 \cdot \exp(-0{,}3052^2/2) = 0{,}847$

$N_{Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0{,}847 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 351{,}72$ kN/m

K1 – sredina zida: N_{Ed} = 117,61 kN/m ≤ N_{Rd} = 351,72 kN/m (η = 0,334) → ZADOVOLJAVA

c) Dno zida (moment od ekscentriciteta i vjetra na dnu jednak je nuli):

$e_i = 0 + e_{init} = 0{,}0047$ m

$e_i < 0{,}05 \cdot t \rightarrow e_i = 0{,}0125$ m

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0125/0{,}250 = 0{,}900$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}900 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 373{,}82$ kN/m

K1 – dno zida: N_{Ed} = 124,23 kN/m ≤ N_{Rd} = 373,82 kN/m (η = 0,332) → ZADOVOLJAVA

34.3.4 3.4 Kombinacija K2

$N_{Ed,vrh} = 1{,}35 \cdot 60{,}00 + 1{,}050 \cdot 20{,}00 = 102{,}00$ kN/m

$N_{Ed,sred} = N_{Ed,vrh} + 1{,}35 \cdot 0{,}5 \cdot G_w = 102{,}00 + 6{,}61 = 108{,}61$ kN/m

$N_{Ed,dno} = N_{Ed,vrh} + 1{,}35 \cdot G_w = 102{,}00 + 13{,}23 = 115{,}23$ kN/m

$M_{Ed,vrh} = N_{Ed,vrh} \cdot e_0 = 102{,}00 \cdot 0{,}020 = 2{,}040$ kNm/m

$M_{Ew} = 1{,}50 \cdot w_k \cdot h^2/8 = 1{,}50 \cdot 0{,}80 \cdot 2{,}80^2/8 = 1{,}176$ kNm/m

$M_{Ed,sred} = 0{,}5 \cdot M_{Ed,vrh} + M_{Ew} = 0{,}5 \cdot 2{,}040 + 1{,}176 = 2{,}196$ kNm/m

a) Vrh zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.4 i 6.5):

$e_i = M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init} = 2{,}040/102{,}00 + 0 + 0{,}0047 = 0{,}0247$ m

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0247/0{,}250 = 0{,}803$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}803 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 333{,}39$ kN/m

K2 – vrh zida: N_{Ed} = 102,00 kN/m ≤ N_{Rd} = 333,39 kN/m (η = 0,306) → ZADOVOLJAVA

b) Sredina visine zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.6 – 6.8 i dodatak G):

$e_m = M_{md}/N_{md} + e_{hm} + e_{init} = 1{,}020/108{,}61 + 1{,}176/108{,}61 + 0{,}0047 = 0{,}0249$ m

$h_{ef}/t_{ef} = 8{,}40 \leq 15 \rightarrow e_k = 0$

$e_{mk} = e_m + e_k = 0{,}0249 + 0{,}0000 = 0{,}0249$ m

$A_1 = 1 - 2 \cdot e_{mk}/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0249/0{,}250 = 0{,}801$

$\lambda = (h_{ef}/t_{ef}) \cdot \sqrt{(f_k/E)} = 8{,}40 \cdot \sqrt{(3{,}655/3655)} = 0{,}2656$

$u = (\lambda - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot e_{mk}/t) = (0{,}2656 - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot 0{,}0995) = 0{,}3303$

$\Phi_m = A_1 \cdot \exp(-u^2/2) = 0{,}801 \cdot \exp(-0{,}3303^2/2) = 0{,}758$

$N_{Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0{,}758 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 315{,}01 \text{ kN/m}$

K2 – sredina zida: N_{Ed} = 108,61 kN/m ≤ N_{Rd} = 315,01 kN/m (η = 0,345) → ZADOVOLJAVA

c) Dno zida (moment od ekscentriciteta i vjetra na dnu jednak je nuli):

$e_i = 0 + e_{init} = 0{,}0047 \text{ m}$

$e_i < 0{,}05 \cdot t \rightarrow e_i = 0{,}0125 \text{ m}$

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0125/0{,}250 = 0{,}900$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}900 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 373{,}82 \text{ kN/m}$

K2 – dno zida: N_{Ed} = 115,23 kN/m ≤ N_{Rd} = 373,82 kN/m (η = 0,308) → ZADOVOLJAVA

34.3.5 3.5 Kombinacija K3

$N_{Ed,vrh} = 1{,}00 \cdot 60{,}00 + 0{,}000 \cdot 20{,}00 = 60{,}00 \text{ kN/m}$

$N_{Ed,sred} = N_{Ed,vrh} + 1{,}00 \cdot 0{,}5 \cdot G_w = 60{,}00 + 4{,}90 = 64{,}90 \text{ kN/m}$

$N_{Ed,dno} = N_{Ed,vrh} + 1{,}00 \cdot G_w = 60{,}00 + 9{,}80 = 69{,}80 \text{ kN/m}$

$M_{Ed,vrh} = N_{Ed,vrh} \cdot e_0 = 60{,}00 \cdot 0{,}020 = 1{,}200 \text{ kNm/m}$

$M_{Ew} = 1{,}50 \cdot w_k \cdot h^2/8 = 1{,}50 \cdot 0{,}80 \cdot 2{,}80^2/8 = 1{,}176 \text{ kNm/m}$

$M_{Ed,sred} = 0{,}5 \cdot M_{Ed,vrh} + M_{Ew} = 0{,}5 \cdot 1{,}200 + 1{,}176 = 1{,}776 \text{ kNm/m}$

a) Vrh zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.4 i 6.5):

$e_i = M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init} = 1{,}200/60{,}00 + 0 + 0{,}0047 = 0{,}0247 \text{ m}$

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0247/0{,}250 = 0{,}803$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}803 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 333{,}39 \text{ kN/m}$

K3 – vrh zida: N_{Ed} = 60,00 kN/m ≤ N_{Rd} = 333,39 kN/m (η = 0,180) → ZADOVOLJAVA

b) Sredina visine zida (HRN EN 1996-1-1, izrazi 6.6 – 6.8 i dodatak G):

$e_m = M_{md}/N_{md} + e_{hm} + e_{init} = 0{,}600/64{,}90 + 1{,}176/64{,}90 + 0{,}0047 = 0{,}0320 \text{ m}$

$h_{ef}/t_{ef} = 8{,}40 \leq 15 \rightarrow e_k = 0$

$e_{mk} = e_m + e_k = 0{,}0320 + 0{,}0000 = 0{,}0320 \text{ m}$

$A_1 = 1 - 2 \cdot e_{mk}/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0320/0{,}250 = 0{,}744$

$\lambda = (h_{ef}/t_{ef}) \cdot \sqrt{(f_k/E)} = 8{,}40 \cdot \sqrt{(3{,}655/3655)} = 0{,}2656$

$u = (\lambda - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot e_{mk}/t) = (0{,}2656 - 0{,}063)/(0{,}73 - 1{,}17 \cdot 0{,}1281) = 0{,}3493$

$\Phi_m = A_1 \cdot \exp(-u^2/2) = 0{,}744 \cdot \exp(-0{,}3493^2/2) = 0{,}700$

$N_{Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0{,}700 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 290{,}64 \text{ kN/m}$

K3 – sredina zida: N_{Ed} = 64,90 kN/m ≤ N_{Rd} = 290,64 kN/m (η = 0,223) → ZADOVOLJAVA

c) Dno zida (moment od ekscentriciteta i vjetra na dnu jednak je nuli):

$e_i = 0 + e_{init} = 0{,}0047 \text{ m}$

$e_i < 0{,}05 \cdot t \rightarrow e_i = 0{,}0125 \text{ m}$

$\Phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t = 1 - 2 \cdot 0{,}0125/0{,}250 = 0{,}900$

$N_{Rd} = \Phi_i \cdot t \cdot f_d = 0{,}900 \cdot 0{,}250 \cdot 1{,}661 \cdot 10^3 = 373{,}82 \text{ kN/m}$

K3 – dno zida: N_{Ed} = 69,80 kN/m ≤ N_{Rd} = 373,82 kN/m (η = 0,187) → ZADOVOLJAVA

34.3.6 3.6 Savijanje zida izvan ravnine od djelovanja vjetra

$M_{Ed} = 1{,}5 \cdot w_k \cdot h^2/8 = 1{,}5 \cdot 0{,}80 \cdot 2{,}80^2/8 = 1{,}176 \text{ kNm/m}$

Mjerodavna je kombinacija K3 (minimalna uzdužna sila). Tlačno naprezanje od stalnog opterećenja u sredini visine zida povećava prividnu čvrstoću na savijanje (HRN EN 1996-1-1, 6.3.1(4)); zid nosi vertikalno, ravnina loma paralelna je sljubnicama.

$\sigma_d = (G_k + 0{,}5 \cdot G_w)/t = (60{,}00 + 4{,}90)/(0{,}250 \cdot 10^3) = 0{,}260 \text{ N/mm}^2$

$f_{xd1} = f_{xk1}/\gamma_M = 0{,}100/2{,}20 = 0{,}0455 \text{ N/mm}^2$

$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d = 0{,}0455 + 0{,}260 = 0{,}3051 \text{ N/mm}^2$

$Z = b \cdot t^2/6 = 1{,}0 \cdot 0{,}250^2/6 = 0{,}010417 \text{ m}^3/\text{m}$

$M_{Rd} = f_{xd1,app} \cdot Z = 0{,}3051 \cdot 10^3 \cdot 0{,}010417 = 3{,}178 \text{ kNm/m}$

Savijanje od vjetra (izvan ravnine): M_{Ed} = 1,18 kNm/m ≤ M_{Rd} = 3,18 kNm/m (η = 0,370) → ZADOVOLJAVA

34.4 Provjera na potresno djelovanje u ravnini zida

34.4.1 4.1 Konstrukcijski zahtjevi (HRN EN 1998-1, 9.5 i tablica 9.2)

Minimalna debljina zida: t_{ef} = 0,250 m ≥ $t_{ef,min}$ = 0,24 m → ZADOVOLJAVA

Maksimalna vitkost (potres): h_{ef}/t_{ef} = 8,40 ≤ 12 → ZADOVOLJAVA

Minimalni omjer duljine i visine: L/h = 1,79 ≥ 0,40 → ZADOVOLJAVA

Primjena nearmiranog ziđa (9.3(3)): $a_g \cdot S$ = 0,300 g ≤ $a_{g,urm}$ = 0,20 g (preporučena vrijednost – provjeriti nacionalni dodatak) → NE ZADOVOLJAVA

34.4.2 4.2 Proračunski spektar i ukupna potresna poprečna sila (metoda bočnih sila)

$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 1{,}00 \cdot 0{,}250 = 0{,}250 \text{ g}$

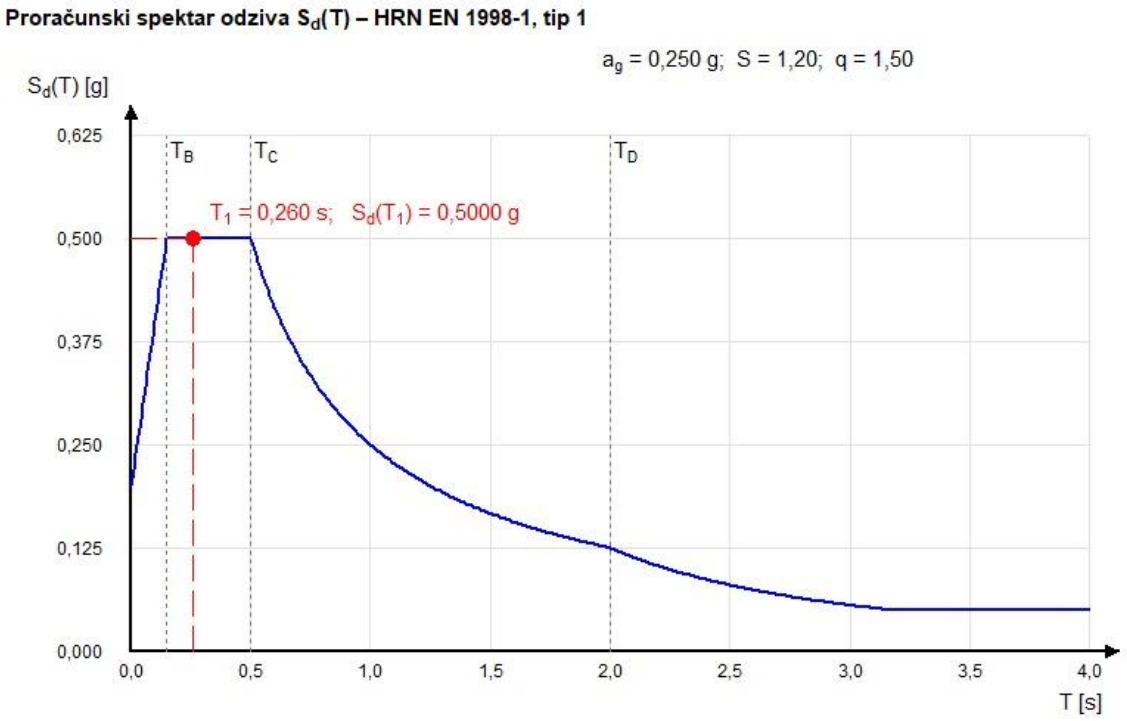
Tlo B: $S = 1{,}20$; $T_B = 0{,}15$ s; $T_C = 0{,}50$ s; $T_D = 2{,}00$ s (HRN EN 1998-1, tablica 3.2)

$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} = 0{,}050 \cdot 9{,}00^{3/4} = 0{,}260$ s (izraz 4.6)

$T_B < T_1 \leq T_C$: $S_d = a_g \cdot S \cdot 2{,}5/q = 0{,}250 \cdot 1{,}20 \cdot 2{,}5/1{,}50 = 0{,}5000 \text{ g}$

$\lambda = 0{,}85$ (0,85 za $T_1 \leq 2 \cdot T_C$ i više od dvije etaže, inače 1,0)

$F_b = S_d(T_1) \cdot \lambda \cdot W = 0{,}5000 \cdot 0{,}85 \cdot 4000 = 1700{,}00 \text{ kN}$ (izraz 4.5)



Slika 3: Proračunski spektar odziva i osnovni period konstrukcije

34.4.3 4.3 Unutarnje sile u zidu (potresna proračunska situacija $G + \psi_2 Q + A_{Ed}$)

$V_{Ed} = \delta \cdot k \cdot F_b = 1{,}10 \cdot 0{,}0800 \cdot 1700{,}00 = 149{,}60$ kN

$h_0 = \alpha_M \cdot h = 0{,}50 \cdot 2{,}80 = 1{,}400$ m

$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot h_0 = 149{,}60 \cdot 1{,}400 = 209{,}44$ kNm

$N_{Ed} = (G_k + \psi_2 \cdot Q_k) \cdot L + G_w \cdot L = (60{,}00 + 0{,}30 \cdot 20{,}00) \cdot 5{,}00 + 9{,}80 \cdot 5{,}00 = 379{,}00$ kN

34.4.4 4.4 Otpornost na posmik u ravnini zida (HRN EN 1996-1-1, 6.2 i 3.6.2)

$e = M_{Ed}/N_{Ed} = 209{,}44/379{,}00 = 0{,}553$ m

$e \leq L/6 = 0{,}833$ m $\rightarrow$ cijeli presjek je tlačen: $l_c = L = 5{,}000$ m

$\sigma_d = N_{Ed}/(t \cdot l_c) = 379{,}00/(0{,}250 \cdot 5{,}000 \cdot 10^3) = 0{,}303$ N/mm²

$f_{vk} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_d = 0{,}200 + 0{,}4 \cdot 0{,}303 = 0{,}321$ N/mm²

$f_{vlt} = 0{,}065 \cdot f_b = 0{,}065 \cdot 10{,}00 = 0{,}650$ N/mm²

$f_{vk} = \min(f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_d;\ f_{vlt}) = 0{,}321$ N/mm²

$f_{vd} = f_{vk}/\gamma_{M,s} = 0{,}321/1{,}50 = 0{,}2142$ N/mm²

$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c = 0{,}2142 \cdot 0{,}250 \cdot 5{,}000 \cdot 10^3 = 267{,}73$ kN (izraz 6.13)

Posmik u ravnini zida: $V_{Ed} = 149{,}60$ kN ≤ $V_{Rd} = 267{,}73$ kN (η = 0,559) → ZADOVOLJAVA

34.4.5 4.5 Otpornost na savijanje s uzdužnom silom u ravnini zida

Otpornost se određuje iz ravnoteže uz pravokutni dijagram tlačnih naprezanja intenziteta $0{,}85 \cdot f_{d,s}$; duljina tlačne zone je $a = N_{Ed}/(0{,}85 \cdot f_{d,s} \cdot t)$, pa je $M_{Rd} = N_{Ed} \cdot (L - a)/2$:

$\nu = N_{Ed}/(L \cdot t \cdot f_{d,s}) = 379{,}00/(5{,}00 \cdot 0{,}250 \cdot 2{,}437 \cdot 10^3) = 0{,}1244$

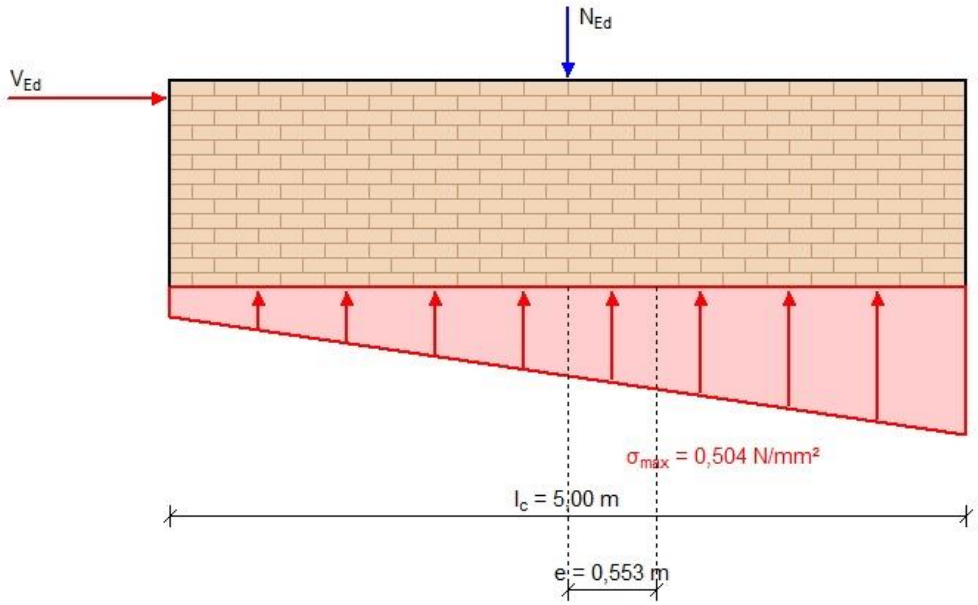
$M_{Rd} = N_{Ed} \cdot L/2 \cdot (1 - \nu/0{,}85) = 379{,}00 \cdot 5{,}00/2 \cdot (1 - 0{,}1244/0{,}85) = 808{,}80$ kNm

Savijanje u ravnini zida: $M_{Ed} = 209{,}44$ kNm ≤ $M_{Rd} = 808{,}80$ kNm (η = 0,259) → ZADOVOLJAVA

Elastična raspodjela naprezanja u dnu zida (za prikaz):

$$\sigma_{max} = 0{,}504\ \mathrm{N/mm^2} \leq f_{d,s} = 2{,}437\ \mathrm{N/mm^2}$$

Naprezanja u dnu zida od N_{Ed} i M_{Ed} (L = 5,00 m)



Slika 4: Raspodjela tlačnih naprezanja u dnu zida i duljina tlačnog dijela l_c

34.5 Sažetak rezultata

Provjera	Vrsta	η	Rezultat
Vitkost zida (EC6, 5.5.1.4)	konstrukcijski	–	ZADOVOLJAVA
K1 – vrh zida	nosivost	0,333	ZADOVOLJAVA
K1 – sredina zida	nosivost	0,334	ZADOVOLJAVA
K1 – dno zida	nosivost	0,332	ZADOVOLJAVA
K2 – vrh zida	nosivost	0,306	ZADOVOLJAVA
K2 – sredina zida	nosivost	0,345	ZADOVOLJAVA
K2 – dno zida	nosivost	0,308	ZADOVOLJAVA
K3 – vrh zida	nosivost	0,180	ZADOVOLJAVA
K3 – sredina zida	nosivost	0,223	ZADOVOLJAVA
K3 – dno zida	nosivost	0,187	ZADOVOLJAVA
Savijanje od vjetra (izvan ravnine)	nosivost	0,370	ZADOVOLJAVA
Minimalna debljina zida	konstrukcijski	–	ZADOVOLJAVA
Maksimalna vitkost (potres)	konstrukcijski	–	ZADOVOLJAVA
Minimalni omjer duljine i visine	konstrukcijski	–	ZADOVOLJAVA
Primjena nearmiranog zida (9.3(3))	konstrukcijski	–	NE ZADOVOLJAVA
Posmik u ravnini zida	nosivost	0,559	ZADOVOLJAVA
Savijanje u ravnini zida	nosivost	0,259	ZADOVOLJAVA

Zid NE zadovoljava sve provjere – potrebno je izmijeniti geometriju, materijal ili armaturu.

34.6 Napomene i pretpostavke

– Vrijednosti parcijalnih koeficijenata, $a_{g,urm}$, f_{vlt} te ograničenja iz tablice 9.2 potrebno je uskladiti s važećim hrvatskim nacionalnim dodacima (HRN EN 1996-1-1/NA, HRN EN 1998-1/NA).
– Potresna sila zida određena je kao udio ukupne poprečne sile zgrade (metoda bočnih sila); udio k treba odrediti iz raspodjele krutosti zidova u promatranom smjeru.
– Moment u ravnini zida određen je kao $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \alpha_M \cdot h$ (α_M = 0,5 za zid upet na oba kraja, 1,0 za konzolni zid).
– Za djelovanje vjetra zid je promatran kao vertikalno nosiva, slobodno oslonjena ploča.
Napomena: Program se koristi na vlastitu odgovornost. Rezultate je potrebno provjeriti prije primjene u projektu.

StructLoad ANALYZER
Load analysis of buildings · EN 1990 – EN 1998

35 Program StructLoad

OPTEREĆENJA

Obiteljska kuća

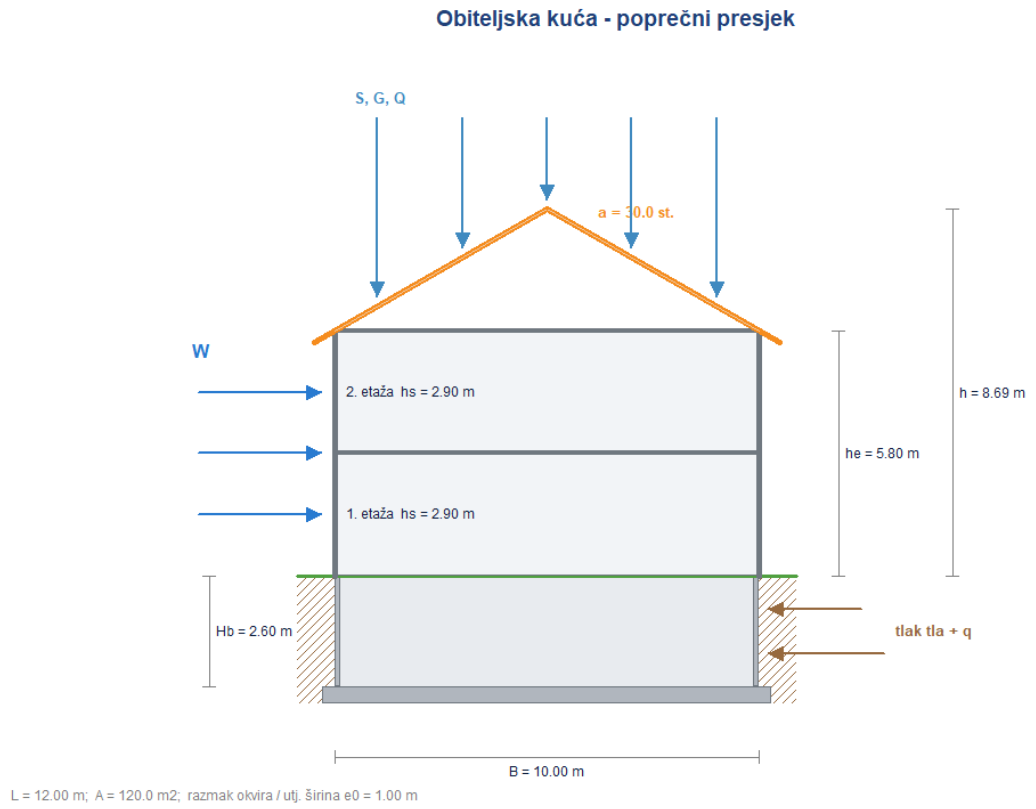
Novi projekt

Podatak	Vrijednost
Građevina	Novi projekt
Lokacija	
Datum	16.11.2026.
Norme	HRN EN 1990, HRN EN 1991-1-1/-1-3/-1-4/-1-5, HRN EN 1997-1, HRN EN 1998-1/-5
Program	StructLoad Analyzer 1.0

35.1 Opći podaci o građevini

Podatak	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Vrsta građevine	-	Obiteljska kuća	-
Lokacija	-		-
Širina (raspon)	B	10.00	m
Duljina	L	12.00	m
Broj nadzemnih etaža	n	2	-

Podatak	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Visina etaže	hs	2.90	m
Oblik krova	-	Dvostrešni krov	-
Nagib krova	α	30.0	°
Visina sljemena (ukupna)	h	8.69	m
Prepust krova	-	0.50	m
Nadmorska visina	A	50	m n.m.
Razmak okvira / utjecajna širina	e0	1.00	m
Podrum - visina zida	Hb	2.60	m
Tlocrtna površina	A = B·L	120.00	m²
Površina krova (s prepustima)	Ak	165.12	m²
Površina pročelja	Az	255.20	m²



Slika 1. Shema građevine - poprečni presjek

35.2 Stalno opterećenje (G), HRN EN 1991-1-1

Vlastite težine slojeva određene su kao g = d · γ (debljina × zapreminska težina, tablice A.1-A.12) ili su zadane izravno po m².

35.2.1 2.1 Krov (po m² kosine krova)

Sloj	d [m]	γ [kN/m³]	g [kN/m²]
Crijep	-	-	0.550
Letve i kontraletve	-	-	0.050
Paropropusna folija	-	-	0.010
Drveni rogovi 10/16 cm, e = 80 cm	-	-	0.120
Mineralna vuna	0.200	1.00	0.200

Sloj	d [m]	γ [kN/m³]	g [kN/m²]
Gips-kartonske ploče na podkonstrukciji	-	-	0.200
UKUPNO			**1.130**

35.2.2 2.2 Međukatna konstrukcija

Sloj	d [m]	γ [kN/m³]	g [kN/m²]
Keramičke pločice u ljepilu	0.015	23.00	0.345
Cementni estrih	0.050	22.00	1.100
Zvučna izolacija (EPS-T)	0.030	0.30	0.009
AB ploča	0.160	25.00	4.000
Žbuka stropa	0.015	18.00	0.270
UKUPNO			**5.724**

35.2.3 2.3 Vanjski zid (pročelje)

Sloj	d [m]	γ [kN/m³]	g [kN/m²]
Unutarnja žbuka	0.020	18.00	0.360
Blok opeka 25 cm	0.250	9.00	2.250
Toplinska izolacija EPS	0.120	0.30	0.036
Fasadna žbuka	0.010	18.00	0.180
UKUPNO			**2.826**

$$g_{k,krov\ (tlocrt)} = g_k / \cos\alpha = 1.130 / \cos 30.0° = 1.305\ kN/m^2$$

Linijsko opterećenje na okvir / gredu (utjecajna širina e0 = 1.00 m):

$$g_{k,krov} \cdot e0 = 1.305 \cdot 1.00 = 1.305\ kN/m$$

$$g_{k,strop} \cdot e0 = 5.724 \cdot 1.00 = 5.724\ kN/m$$

$$g_{k,zid} \cdot hs = 2.826 \cdot 2.90 = 8.195\ kN/m\ (\text{po m duljine zida, jedna etaža})$$

35.3 Uporabno opterećenje (Q), HRN EN 1991-1-1

Kategorija površina: A - stambeni prostori (tablica 6.1, 6.2).

$$q_k = 2.00\ kN/m^2;\quad \text{pregradni zidovi } q_{k,pr} = 0.80\ kN/m^2\ (6.3.1.2)$$

$$q_{k,uk} = 2.80\ kN/m^2;\quad q_{k,uk} \cdot e0 = 2.800\ kN/m$$

Faktori kombinacije (HRN EN 1990, tablica A1.1): ψ0 = 0.7; ψ1 = 0.5; ψ2 = 0.3.

Krov: H - krov nepristupačan (osim održavanja).

$$q_{k,krov} = 0.40\ kN/m^2;\quad Q_k = 1.00\ kN\ (\text{tablica } 6.10)$$

Uporabno opterećenje krova kategorije H ne kombinira se istodobno sa snijegom ni vjetrom (3.3.2(1)).

35.4 Opterećenje snijegom (S), HRN EN 1991-1-3

$$s_k = 0.500\ kN/m^2\ \ (\text{očitano s karte snijega HRN EN 1991-1-3/NA za A} = 50\ \text{m n.m.})$$

Koeficijent izloženosti: normalno (Ce = 1,0); toplinski koeficijent Ct = 1.00.

$$0° \le \alpha \le 30° \rightarrow \mu 1 = 0{,}8 = 0.800\quad (\text{tablica } 5.2)$$

$$s = \mu 1 \cdot Ce \cdot Ct \cdot s_k = 0.800 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.500 = 0.400\ kN/m^2$$

Dvostrešni krov - promatraju se tri rasporeda (slika 5.3):

Slučaj	Lijeva ploha [kN/m²]	Desna ploha [kN/m²]
(i) jednoliko	0.400	0.400
(ii) nanos	0.200	0.400
(iii) nanos	0.400	0.200

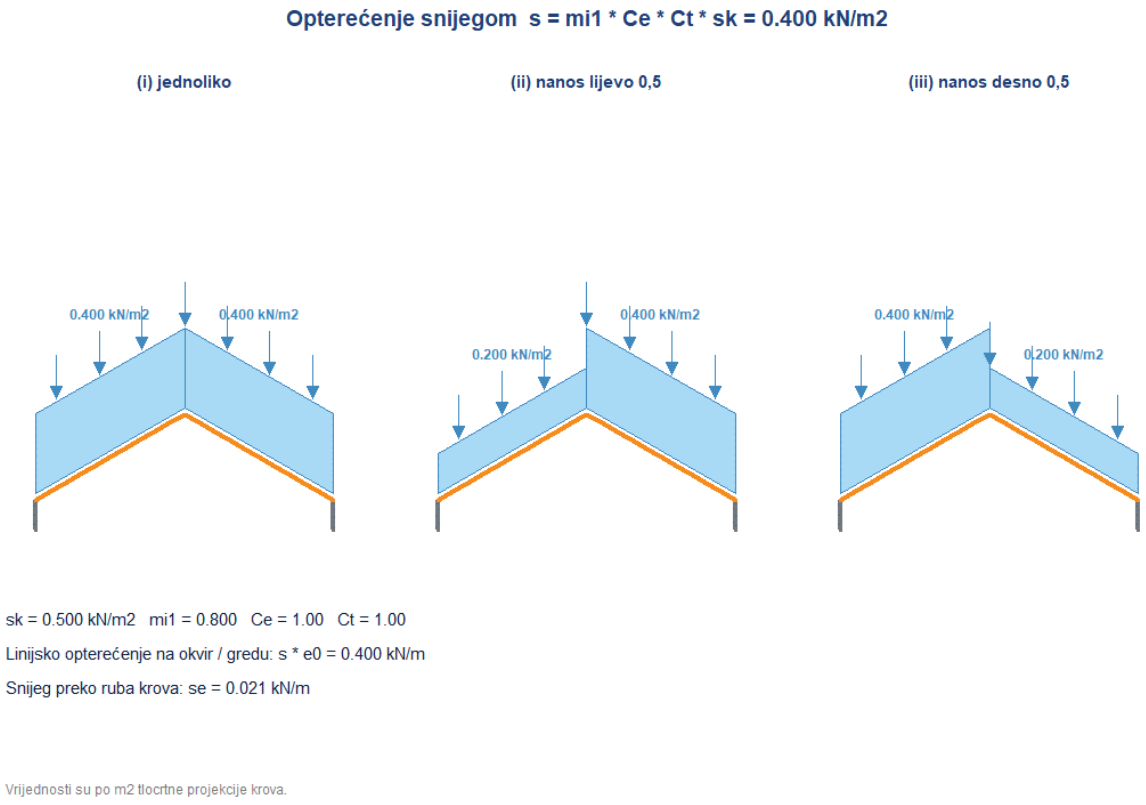
Linijsko opterećenje: $s \cdot e0 = 0.400 \cdot 1.00 = 0.400$ kN/m (tlocrtna projekcija)

Snijeg koji visi preko ruba krova (6.3), γs = 3,0 kN/m³:

$d = s / \gamma s = 0.133$ m; $k = 3/d \leq d \cdot \gamma s \rightarrow k = 0.400$

$se = k \cdot s^2 / \gamma s = 0.400 \cdot 0.400^2 / 3 = 0.021$ kN/m

Faktori kombinacije (A ≤ 1000 m): ψ0 = 0,5; ψ1 = 0,2; ψ2 = 0.



Slika 2. Raspodjela opterećenja snijegom na krovu

35.5 Djelovanje vjetra (W), HRN EN 1991-1-4

35.5.1 5.1 Tlak pri vršnoj brzini

$vb = cdir \cdot cseason \cdot vb,0 = 1.00 \cdot 1.00 \cdot 30.0 = 30.00$ m/s

$qb = ½ \cdot \rho \cdot vb^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30.00^2 = 0.563$ kN/m²

Kategorija terena III: z0 = 0.300 m; zmin = 5 m. Referentna visina ze = h = 8.69 m.

$kr = 0,19 \cdot (z0 / 0,05)^{0,07} = 0.2154$

$cr(ze) = kr \cdot \ln(ze / z0) = 0.2154 \cdot \ln(8.69 / 0.300) = 0.7250$

$vm(ze) = cr \cdot c0 \cdot vb = 0.7250 \cdot 1.00 \cdot 30.00 = 21.75$ m/s

$Iv(ze) = kI / [c0 \cdot \ln(ze / z0)] = 0.2971$

$qp(ze) = [1 + 7 \cdot Iv] \cdot ½ \cdot \rho \cdot vm^2 = 0.910$ kN/m²

35.5.2 5.2 Smjer θ = 0° (vjetar okomito na dulju stranu / sljeme)

$b = 12.00$ m; $d = 10.00$ m; $e = \min(b; 2h) = 12.00$ m; $h/d = 0.869$

Vertikalni zidovi (tablica 7.1):

Zona	Duljina [m]	cpe,10	we = qp · cpe [kN/m²]	we - cpi(+0.2)	we - cpi(-0.3)
A	2.40	-1.20	-1.093	-1.275	-0.819
B	7.60	-0.80	-0.728	-0.910	-0.455
D	12.00	0.78	0.712	0.530	0.986

Zona	Duljina [m]	cpe,10	we = qp · cpe [kN/m²]	we - cpi(+0.2)	we - cpi(-0.3)
E	12.00	-0.46	-0.423	-0.605	-0.150

Krovne plohe:

Zona	Opis	cpe,10 min	cpe,10 max	we,min [kN/m²]	we,max [kN/m²]
F	kut privjetrene strehe e/4 x e/10	-0.50	0.70	-0.455	0.637
G	privjetrena streha, dubina e/10	-0.50	0.70	-0.455	0.637
H	ostatak privjetrene plohe	-0.20	0.40	-0.182	0.364
I	ostatak zavjetrene plohe	-0.40	0.00	-0.364	0.000
J	zavjetrena ploha uz sljeme, e/10	-0.50	0.00	-0.455	0.000

Ukupna sila: $Fw = \rho corr \cdot (cpe,D - cpe,E) \cdot qp \cdot b \cdot he = 0.850 \cdot 1.25 \cdot 0.910 \cdot 12.00 \cdot 5.80 = 67.19$ kN

Moment prevrtanja na razini temelja: $Mw = Fw \cdot he / 2 = 194.86$ kNm

35.5.3 5.3 Smjer θ = 90° (vjetar na zabat, paralelno sa sljemenom)

$b = 10.00$ m; $d = 12.00$ m; $e = \min(b; 2h) = 10.00$ m; $h/d = 0.724$

Vertikalni zidovi (tablica 7.1):

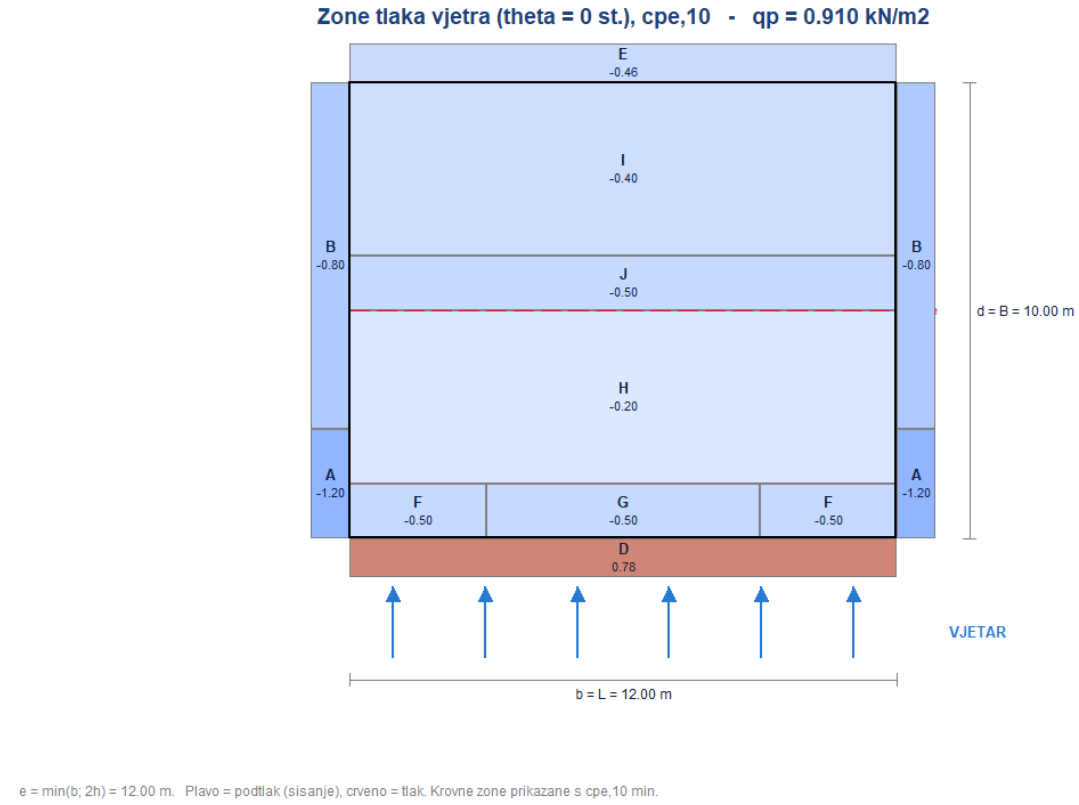
Zona	Duljina [m]	cpe,10	we = qp · cpe [kN/m²]	we - cpi(+0.2)	we - cpi(-0.3)
A	2.00	-1.20	-1.093	-1.275	-0.819
B	8.00	-0.80	-0.728	-0.910	-0.455
C	2.00	-0.50	-0.455	-0.637	-0.182
D	10.00	0.76	0.695	0.513	0.968
E	10.00	-0.43	-0.388	-0.570	-0.115

Krovne plohe:

Zona	Opis	cpe,10 min	cpe,10 max	we,min [kN/m²]	we,max [kN/m²]
F	kut uz zabat e/4 x e/10	-1.10	-1.10	-1.001	-1.001
G	uz zabat, dubina e/10	-1.40	-1.40	-1.275	-1.275
H	od e/10 do e/2	-0.80	-0.80	-0.728	-0.728
I	ostatak krova	-0.50	-0.50	-0.455	-0.455

Ukupna sila: $Fw = \rho corr \cdot (cpe,D - cpe,E) \cdot qp \cdot b \cdot he = 0.850 \cdot 1.19 \cdot 0.910 \cdot 10.00 \cdot 5.80 = 53.39$ kN

Moment prevrtanja na razini temelja: $Mw = Fw \cdot he / 2 = 154.84$ kNm



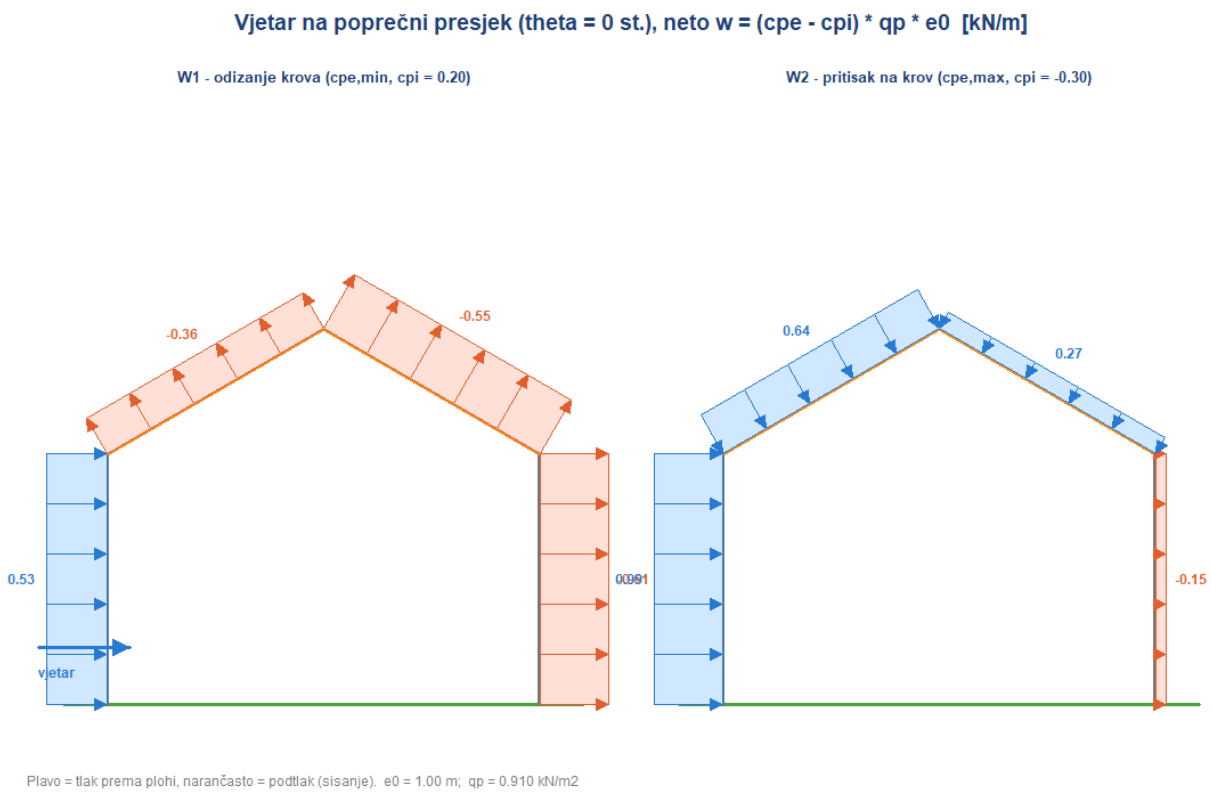
Slika 3. Zone tlaka vjetra na zidovima i krovu (ϑ = 0°)

35.5.4 5.4 Opterećenje okvira / trake širine e0 = 1.00 m (θ = 0°)

Neto opterećenje w = (cpe - cpi) · qp · e0; pozitivno = tlak prema plohi.

Slučaj	Privjetreni zid D [kN/m]	Zavjetreni zid E [kN/m]	Krov ploha 1 [kN/m]	Krov ploha 2 [kN/m]
W1 - odizanje krova (cpe,min, cpi = 0.20)	0.530	-0.605	-0.364	-0.546
W2 - pritisak na krov (cpe,max, cpi = -0.30)	0.986	-0.150	0.637	0.273

Faktori kombinacije: ψ0 = 0,6; ψ1 = 0,2; ψ2 = 0.



Slika 4. Opterećenje vjetrom na poprečni presjek (okvir)

35.6 Temperaturna djelovanja (T), HRN EN 1991-1-5

Materijal: zidano (opeka), αT = 7.0·10^-6 1/K. Površina: svijetlo obojena (T3 = 30 °C).

Tmax = 38.0 °C; Tmin = -10.0 °C (karte izotermi, NA); T0 = 10.0 °C

Ljeto: Tout = Tmax + T3 = 38.0 + 30 = 68.0 °C; Zima: Tout = Tmin = -10.0 °C (tablica 5.2)

Tin,ljeto = 25.0 °C; Tin,zima = 20.0 °C (tablica 5.1)

T,ljeto = (Tin + Tout)/2 = 46.50 °C; T,zima = 5.00 °C

ΔTN,exp = T,ljeto - T0 = 36.50 K; ΔTN,con = T,zima - T0 = -5.00 K

ΔL = αT · ΔT · L: produljenje = 3.1 mm; skraćenje = -0.4 mm (L = 12.0 m)

Gradijent kroz krovnu/vanjsku konstrukciju: ΔTM,ljeto = 43.0 K; ΔTM,zima = -30.0 K

Faktori kombinacije: ψ0 = 0,6; ψ1 = 0,5; ψ2 = 0.

35.7 Potresno djelovanje (AE), HRN EN 1998-1

35.7.1 7.1 Proračunski spektar

Razred važnosti: II - obične zgrade (γI = 1,0). Razred tla B (spektar tipa 1).

ag = γI · agR = 1.00 · 0.220 g = 0.220 g

S = 1.20; TB = 0.15 s; TC = 0.50 s; TD = 2.00 s; q = 1.50; β = 0,2

35.7.2 7.2 Osnovni period i ukupna potresna sila (metoda bočnih sila, 4.3.3.2)

Konstrukcija: ostale konstrukcije, zidane, AB zidovi (Ct = 0,050).

T1 = Ct · H^(3/4) = 0.050 · 5.80^0,75 = 0.187 s

Sd = ag · S · 2,5 / q = 0.4400 g

λ = 1.00 (0,85 ako T1 ≤ 2TC i više od dvije etaže)

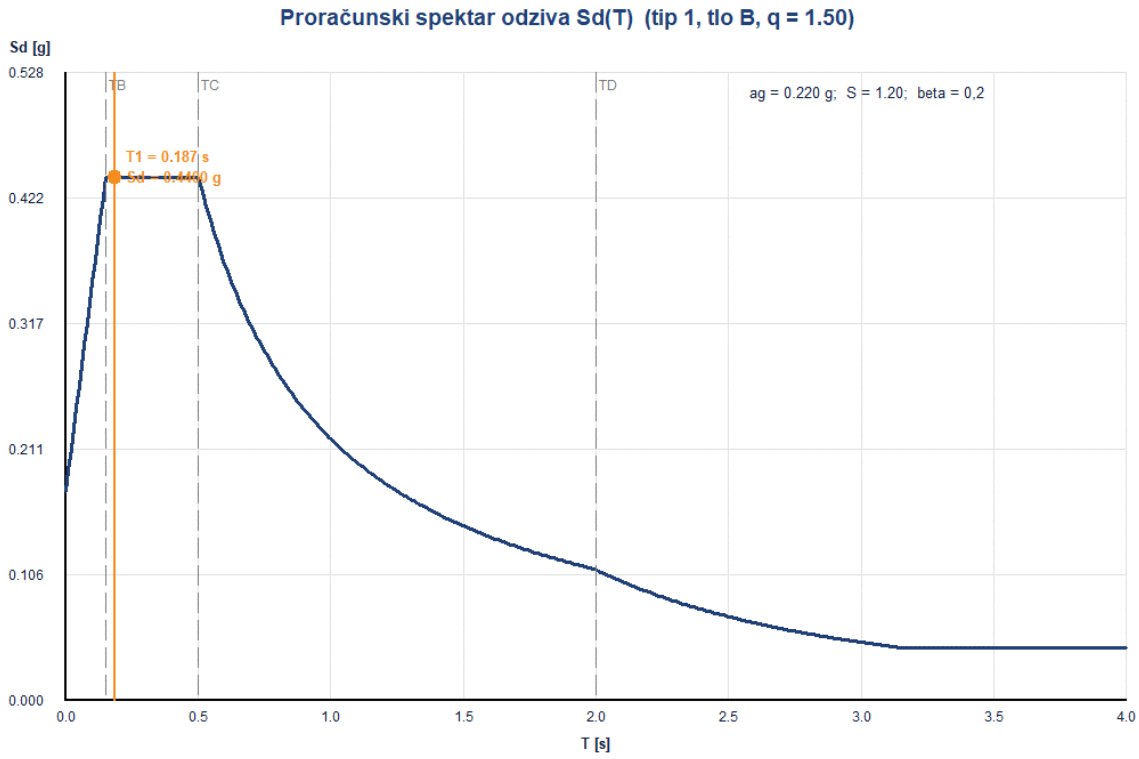
Masa za potresni proračun: Σ Gk,j + Σ ψE,i · Qk,i, ψE = ϕ · ψ2 (ϕ = 0.8 katovi, 1,0 krov; snijeg ψ2 = 0).

Razina	z [m]	Wg [kN]	ψE·Q [kN]	W [kN]	Fi [kN]	Vi [kN]	Mi [kNm]
krov / zadnja razina	5.80	1023.8	28.8	1052.6	624.72	624.72	1811.7
1. strop	2.90	1047.5	80.6	1128.1	334.78	959.50	4594.2
UKUPNO				**2180.7**	**959.50**		

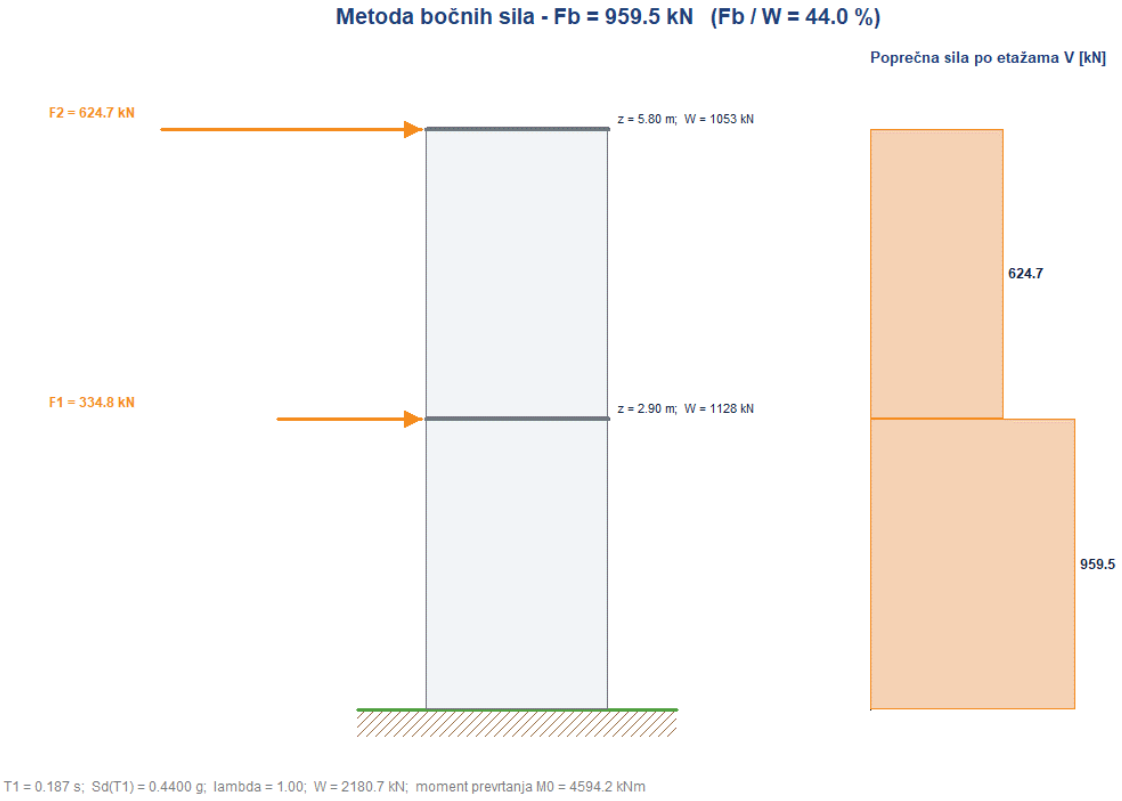
$Fb = Sd(T1) \cdot m \cdot \lambda = 0.4400 \cdot 2180.7 \cdot 1.00 = 959.50$ kN

$Fi = Fb \cdot zi \cdot mi / \Sigma(zj \cdot mj)$ (4.11)

Odnos $Fb / W = 44.00$ %; za usporedbu: vjetar $Fw(\theta=0) = 67.19$ kN, $Fw(\theta=90) = 53.39$ kN



Slika 5. Proračunski spektar odziva i osnovni period T1



Slika 6. Raspodjela potresnih sila i poprečnih sila po visini

35.8 Tlak tla i uporabno opterećenje na podrumski zid, HRN EN 1997-1 / 1998-5

Podrumski zid pridržan je stropnom pločom na vrhu i upet u temelj; zid se ne pomiče pa je mjerodavan tlak mirovanja.

$$K0 = 1 - \sin\varphi' = 1 - \sin 30.0° = 0.500; \quad Ka = \tan^2(45° - \varphi'/2) = 0.333$$

Usvojeno: K = 0.500 (tlak mirovanja K0); γ = 19.0 kN/m³; Hb = 2.60 m.

$$e_{h,G}(Hb) = K \cdot \gamma \cdot Hb = 24.70 \text{ kPa}; \quad E_{h,G} = 32.11 \text{ kN/m}$$

Podzemna voda ispod razine temelja - hidrostatski tlak ne djeluje.

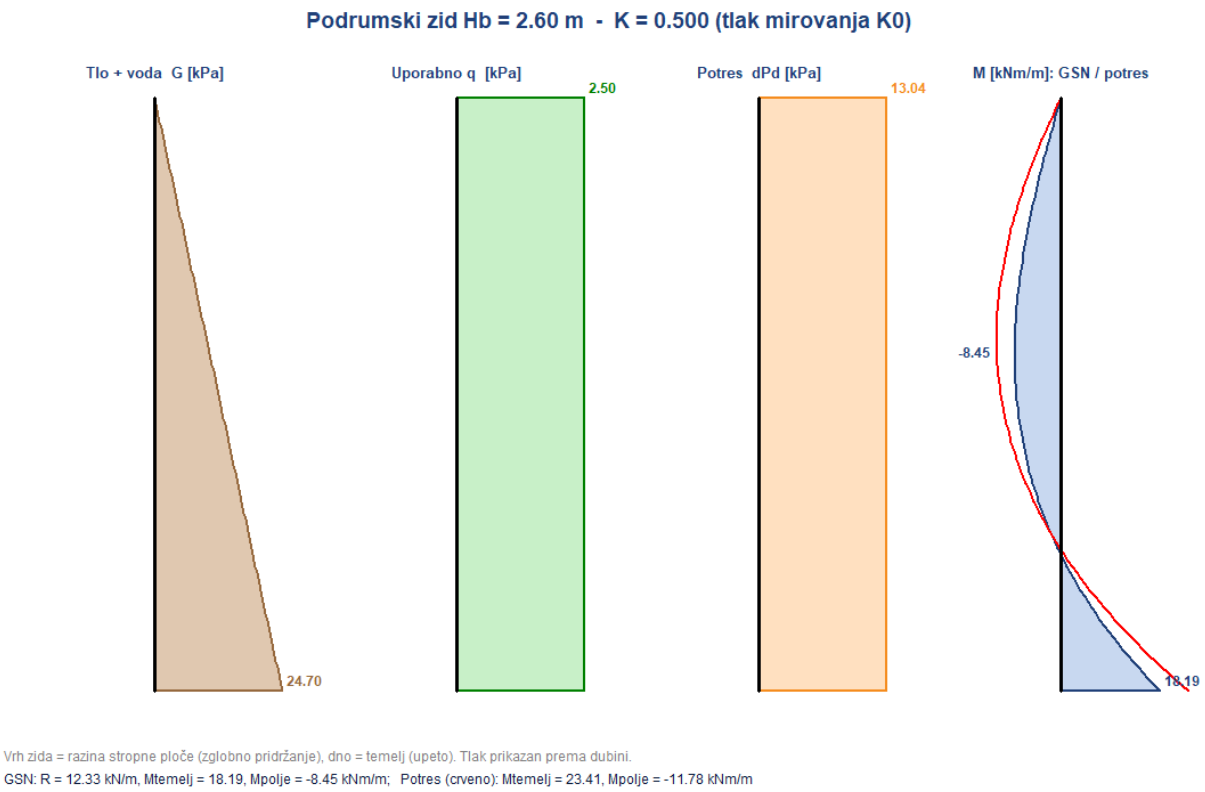
Uporabno na terenu $q = 5.00$ kN/m²: $e_{h,Q} = K \cdot q = 2.50$ kPa; $E_{h,Q} = 6.50$ kN/m

Potres (krut zid, EN 1998-5 E.9): $\Delta P_d = a_g \cdot S \cdot \gamma \cdot Hb^2 = 0.220 \cdot 1.20 \cdot 19.0 \cdot 2.60^2 = 33.91$ kN/m → $\Delta e_h = 13.04$ kPa

Utjecaji u traci zida 1,0 m (sustav: upeto na temelju, zglobno pridržano pločom):

Kombinacija	R ploča [kN/m]	M temelj [kNm/m]	M polje [kNm/m]
GSN: 1,35 (G + U) + 1,50 Q	12.33	18.19	-8.45
Potres: G + U + 0,6 Q + AE	20.60	23.41	-11.78

Predznak: pozitivan moment - vlak na strani tla (uz temelj); negativan - vlak na unutarnjem licu (polje).



Slika 7. Tlakovi na podrumski zid i momenti savijanja

35.9 Pregled opterećenja i kombinacije, HRN EN 1990

Djelovanje	Oznaka	Karakteristična vrijednost	Jedinica	ψ0 / ψ1 / ψ2
Stalno - krov (tlocrt)	G	1.305	kN/m²	-
Stalno - međukatna konstr.	G	5.724	kN/m²	-
Stalno - vanjski zid	G	2.826	kN/m²	-
Uporabno - katovi	Q	2.80	kN/m²	0.7 / 0.5 / 0.3
Uporabno - krov H	Q	0.40	kN/m²	0 / 0 / 0
Snijeg na krovu	S	0.400	kN/m²	0,5 / 0,2 / 0
Vjetar - vršni tlak	qp	0.910	kN/m²	0,6 / 0,2 / 0
Vjetar - privjetreni zid D	we	0.712	kN/m²	0,6 / 0,2 / 0
Vjetar - krov (odizanje)	we	-0.182	kN/m²	0,6 / 0,2 / 0
Temperatura	ΔTN	+36.5 / -5.0	K	0,6 / 0,5 / 0
Potres - ukupna sila	Fb	959.50	kN	-
Tlak tla na podr. zid	Eh	32.11	kN/m	-

Karakteristične kombinacije za dimenzioniranje (po m² tlocrta):

Krov, GSN (6.10), snijeg vodeći: $1{,}35\ G + 1{,}50\ S + 1{,}50 \cdot 0{,}6\ W+ = 2.935\ kN/m^2$

Krov, GSN, odizanje vjetrom: $1{,}00\ G + 1{,}50\ W- = 0.759\ kN/m^2$

Krov, GSU karakteristična: $G + S = 1.705\ kN/m^2$

Međukatna konstrukcija, GSN: $1{,}35\ G + 1{,}50\ Q = 11.927\ kN/m^2$

Međukatna konstrukcija, GSU: $G + Q = 8.524\ kN/m^2$

Ukupno vertikalno na temelje: $Gk = 2071.2\ kN;\ Qk = 336.0\ kN;\ Sk = 48.0\ kN$

NEd $(1{,}35\ Gk + 1{,}50\ Qk + 0{,}75\ Sk) = 3336.2\ kN$

Napomena: vrijednosti sk, vb,0, agR, Tmax i Tmin potrebno je očitati s karata hrvatskih nacionalnih dodataka za lokaciju građevine. Rezultati su pomoć pri izradi projekta i potrebno ih je provjeriti.

Izradio:

_____

36 Program UValuePro

U-Value Pro
THERMAL TRANSMITTANCE CALCULATOR

PRORAČUN KOEFICIJENTA PROLASKA TOPLINE U

Vanjski zid - Vanjski zid VZ1

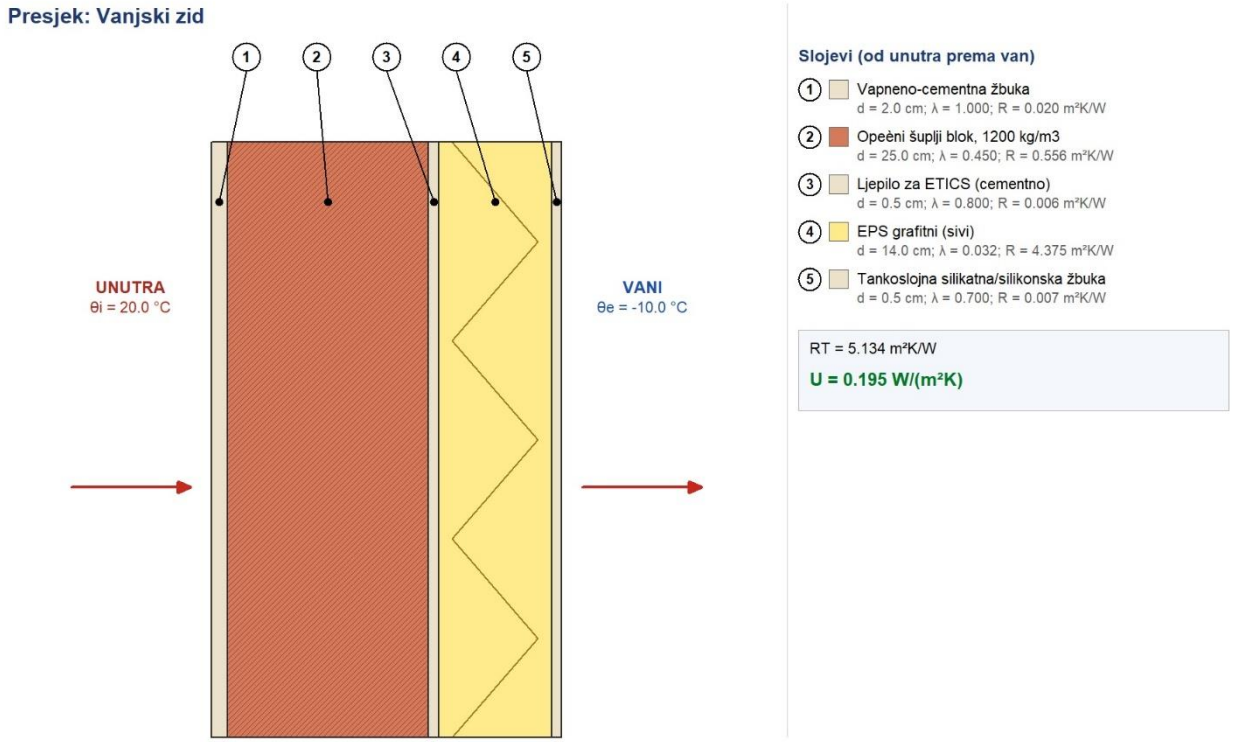
prema HRN EN ISO 6946 (metoda za toplinski homogene slojeve)

36.1 Opći podaci

Projekt	
Građevina	
Građevni dio	Vanjski zid VZ1
Vrsta konstrukcije	Vanjski zid
Klimatska zona	Kontinentalna Hrvatska (te,mj,min <= 3 °C)
Projektant	
Datum izrade	16.11.2026.

36.2 Sastav konstrukcije

Slojevi su navedeni redom od unutarnje prema vanjskoj strani konstrukcije.



Slika 1. Presjek konstrukcije s oznakama slojeva

Rb.	Materijal	d [cm]	λ [W/(mK)]	R = d/λ [m²K/W]	Napomena
1	Vapneno-cementna žbuka	2.0	1.000	0.020	
2	Opeèni šuplji blok, 1200 kg/m3	25.0	0.450	0.556	
3	Ljepilo za ETICS (cementno)	0.5	0.800	0.006	
4	EPS grafitni (sivi)	14.0	0.032	4.375	
5	Tankoslojna silikatna/silikonska žbuka	0.5	0.700	0.007	
	Ukupno	**42.0**		**ΣR = 4.964**	

36.3 Proračun toplinskog otpora i koeficijenta prolaska topline

Smjer toplinskog toka: horizontalni. Plošni otpori prijelaza topline prema HRN EN ISO 6946:

$$R_{si} = 0.13\ m^2K/W; \quad R_{se} = 0.04\ m^2K/W$$

Toplinski otpor homogenog sloja:

$$R_i = d_i / \lambda_i \quad [m^2K/W]$$

Ukupni toplinski otpor:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se}$$

$$\mathbf{R_T = 0.130 + 4.964 + 0.040 = 5.134\ m^2K/W}$$

Koeficijent prolaska topline:

$$U = 1 / R_T = 1 / 5.134 = 0.195 \ W/(m^2K)$$

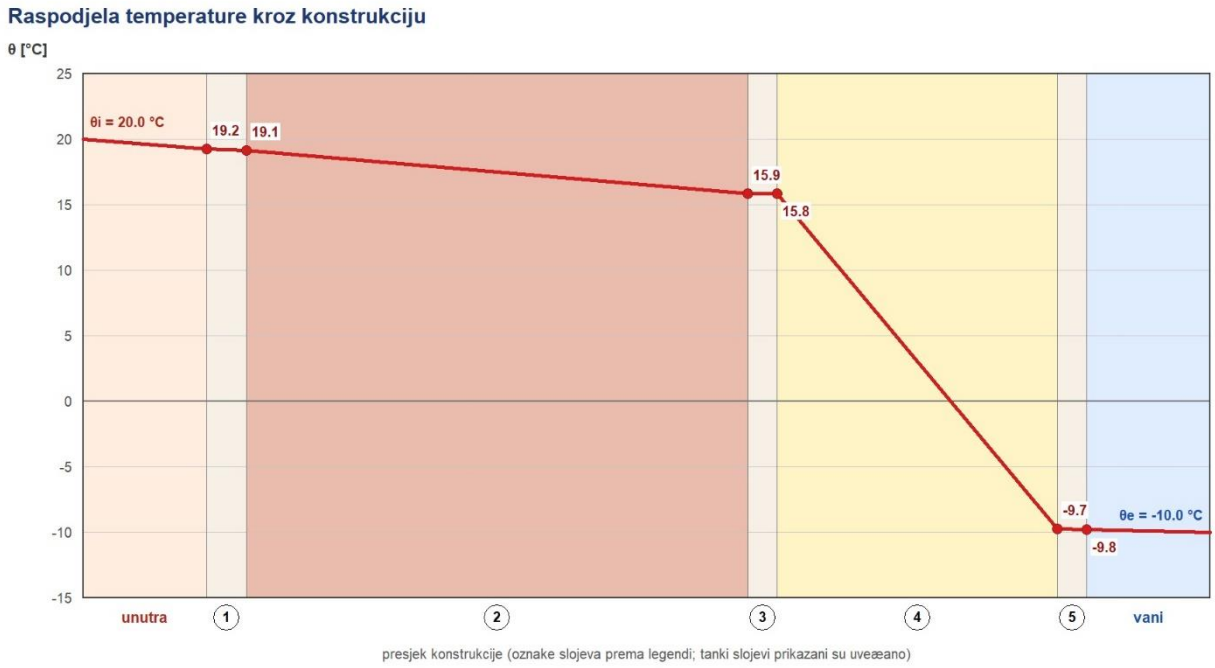
36.4 Raspodjela temperature

Proraèunske temperature: θ_i = 20.0 °C (unutra), θ_e = -10.0 °C (vani).

$$q = (\theta_i - \theta_e) / R_T = (20.0 - (-10.0)) / 5.134 = 5.84 \ W/m^2$$

$$\theta_{si} = \theta_i - q \cdot R_{si} = 20.0 - 5.84 \cdot 0.13 = 19.24 \ °C$$

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) = 0.975$$



Slika 2. Raspodjela temperature kroz konstrukciju (stacionarno stanje)

Položaj	Temperatura [°C]
Unutarnji zrak (θi)	20.00
Unutarnja površina (θsi)	19.24
Granica slojeva 1 / 2	19.12
Granica slojeva 2 / 3	15.88
Granica slojeva 3 / 4	15.84
Granica slojeva 4 / 5	-9.72
Vanjska površina (θse)	-9.77
Vanjski zrak (θe)	-10.00

36.5 Zaključak

$$U = 0.195 \ W/(m^2K) \ \leq \ U_{max} = 0.30 \ W/(m^2K)$$

Konstrukcija ZADOVOLJAVA zahtjev za najveæi dopušteni koeficijent prolaska topline.

U_{max} je zadan za klimatsku zonu: Kontinentalna Hrvatska (te,mj,min <= 3 °C), prema Tehnièkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Prije predaje dokumentacije provjerite vrijednost prema važeæoj verziji propisa.

Proraèun vrijedi za konstrukcije od toplinski homogenih slojeva. Nehomogeni slojevi (npr. rogovi između toplinske izolacije), toplinski mostovi i prièvrsnice mogu se obuhvatiti korekcijom ΔU.