

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij gradbeništva,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Miha Pirih

**PROJEKTIRANJE BETONSKIH
KONSTRUKCIJ S POMOČJO MODELA Z
VEZMI IN RAZPORAMI**

Diplomska naloga št.: 3120

Mentor:
doc. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani MIHA PIRIH izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»PROJEKTIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ S POMOČJO MODELA Z VEZMI IN
RAZPORAMI«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 16.6.2010

Podpis: _____

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si pogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.012.4(043.2)
Avtor: Miha Pirih
Mentor: doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.
Naslov: Projektiranje betonskih konstrukcij s pomočjo modela z vezmi in razporami
Obseg in oprema: 113 str., 4 pregl., 85 sl., 96en.
Ključne besede: razpore, vezi, vozlišča, palični mehanizem, območja diskontinuitet, stenasti nosilci

Izvleček

V nalogi obravnavam dimenzioniranje stenastih nosilcev z modelom z vezmi in razporami, ki temelji na analogiji paličja. Oblikovanje modela je detajlno predstavljeno z opisi razpor, vezi in z vozlišči, s pravili tvorjenja paličnega mehanizma ter merodajnimi kontrolami, ki jih določa SIST EN 1992-1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe. Obremenitvi pripadajoč potek napetosti po prerezu, dobljen z linearno elastično analizo, s programskim paketom »Sofistik«, uporabim za formiranje in dimenzioniranje merodajnih razpor in vezi, ki se stikujejo v vozliščih. Kadar je element obremenjen z linijsko obtežbo, je veliko težje izdelati mehanizem, ki čim boljše opisuje naravo odziva konstrukcije, kot pa v primeru točkovne obtežbe, kjer je mehanizem prenosa obtežbe največkrat očiten glede na potek napetosti po prerezu do podpor oziroma v območje elementa izven »D – območij«, zato so elementi v računskih primerih obremenjeni z zvezno linijsko obtežbo. Pri tako obremenjenem elementu je najprimernejši mehanizem prenosa obtežbe, kot kažejo tudi številni eksperimenti trapezne oblike s stabilizacijskimi diagonalami, le-te pa v večini primerov niso prikazane saj za dimenzioniranje niso merodajne, vendar pa so potrebne za doseganje statične določenosti paličnega mehanizma. V nadaljevanju sta predstavljena dva načina tvorjenja mehanizma, kjer je izbran tisti, ki se z višino paličja čim bolj približa Leonhardtovi in/ali Sofistikovi ročici ter dolžini armiranja levo in desno od vmesne podpore glede na momentno linijo in priporočili Leonhardta. Postopek je detajlno prikazan in z enačbami konkretiziran na šestih računskih primerih.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.012.4(043.2)
Author: Miha Pirih
Supervisor: dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad. assist. prof.
Title: Design of concrete structures using the strut and tie model
Notes: 113 p., 4 tab., 85 fig., 96eq.
Key words: strut, tie, node, truss mechanism, discontinuity/disturbed areas, deep beam

Abstract

My diploma focuses on deep beam dimensioning according to strut and tie model which is based on truss analogy. The model of strut and tie in detail describes struts, ties and nodes, introduces the instructions on mechanism design and checking according to SIST EN 1992-1-1: General rules and rules for buildings. Load-related stress distribution along the cross-section, which is obtained from linear elastic analysis and by using “Sofistik” software, is set as a tool for dimensioning crucial strut and ties joined in nodes. When an element bears the uniform distributed load, it is much harder to design a mechanism which would most accurately describe the deformation nature of construction than in the case of point load where the truss mechanism tends to stand out the moste when considering stress distribution along the cross-section to the support or area outside “D (discontinuity/disturbed) – regions”, resulting in computational examples displaying uniform distributed load. Deep beams with this kind of load distribution supported by numerous experiments call for the truss mechanism of trapezoid shapes with stabilization elements which are not displayed in most cases and this is mainly so because they are not crucial, but only used to reach the state of static determinacy of truss mechanism. Further on the two ways of mechanism design are presented in which case we choose the one with the truss altitude that comes closest possible to Leonhardt and/or Sofistik lever arm as well as to the reinforcement length left and right from intermediate support based on bending moment line and according to Leonhardt’s recommendations. The process is introduced with emphasis on detail and supported by equations from three computational examples.

ZAHVALA

*Prisrčno bi se zahvalil mojemu mentorju doc. dr. Jožetu Lopatiču
za ogromno podporo, pomoč in veliko koristnih napotkov
pri izdelavi diplomske naloge.*

KAZALO VSEBINE

1	TEORETIČNE PODLAGE PROJEKTIRANJA Z MODELOM Z VEZMI IN RAZPORAMI	1
1.1	Predstavitev metode z vezmi in razporami	1
1.2	Definicija in splošne lastnosti »D – območij« in »B – območij«	4
1.2.1	»D – območja«	7
1.2.2	Pregled projektiranja »D – območij«	8
1.3	Zagotavljanje nosilnosti modela z vezmi in razporami in s tem »D – območij«	10
2	DVA PRISTOPA ANALIZE FORMIRANJA MODELA PALIČJA	13
2.1	Dimenzioniranje »D – območij« z metodo končnih elementov	13
2.2	Projektiranje stenastih nosilcev in ostalih diskontinuitet z metodo z vezmi in razporami	15
2.2.1	Osnove metode	15
2.2.2	Izdelava in razvoj paličnega mehanizma z vezmi in razporami	16
2.2.3	Splošna pravila in nasveti za modeliranje paličnega mehanizma	17
2.2.4	Rezultante sil na meji »D – območij«	20
2.2.5	Različni modeli oblikovanja paličja prikazani na primeru stenastega nosilca	21
2.2.6	Različne metode modeliranja paličnega mehanizma	26
2.2.6.1	Modeliranje »D – območij« z metodo sledljivosti obtežbe	26
2.2.6.2	Izdelava modela na podlagi linearno elastične analize	28
2.2.6.3	Tipični modeli	29
2.2.7	Točnost in optimizacija modela z vezmi in razporami	32
2.2.8	Realna ocena nosilnosti modela z vezmi in razporami	33
3	OSNOVNI ELEMENTI PALIČNEGA MEHANIZMA	37
3.1	Vezi	37
3.2	Tlačne razpore	38

3.2.1	Splošno	38
3.2.2	Opis oblik razpor	39
3.2.3	Kontrola razpor po standardu	41
3.3	Vozlišča	43
3.3.1	Predstavitev	43
3.3.2	Schlaichovo vozlišče	45
3.3.3	Detajlna analiza vozlišča z modelom z vezmi in razporami	48
3.3.4	Računske kontrole posameznih vozlišč in sidrišč	50
3.3.4.1	Splošno	50
3.3.4.2	Smernice pri dimenzioniranju vozlišč	50
3.3.4.3	Načini zagotavljanja odpornosti vozlišč in sidrišč	52
3.3.5	Klasična vozlišča	53
3.3.5.1	Ravninska tlačna vozlišča	53
3.3.5.2	Ravninska tlačno – natezno obremenjena vozlišča	57
3.3.5.2.1	Splošno	57
3.3.5.2.2	Vozlišče z natezno armaturo v eni smeri	57
3.3.5.3	Tlačno – natezna vozlišča z ukrivljenimi palicami	62
3.3.5.4	Tipična vozlišča z vezmi v dveh pravokotnih smereh	63
3.3.6	Vozlišča z reducirano širino podpore in ostala tridimenzionalna vozlišča	64
3.4	Sklep	66
3.4.1	Izbira dimenzij razpor in območja vozlišč	66
3.4.2	Dimenzioniranje vezi in sidrišč	68
3.4.3	Dimenzioniranje detajlov in minimalna uporabljena armatura	69
4	STENASTI NOSILCI	71
4.1	Splošno	71
4.2	Modeliranje nosilcev	71
4.2.1	Modeliranje podpor	71
4.2.2	Vpliv podpor na konstrukcijo	72
4.2.3	Modeliranje podpor z vzmetmi	73
4.2.4	Modeliranje podpor s stebri	75
4.3	Armiranje	77

4.4	Kontrole povezane z betonom	82
4.5	Opis postopka reševanja računskih primerov	82
4.5.1	Določitev naklonskega kota diagonalne razpore za enostavne primere stanastih nosilcev	82
4.5.1.1	Uvod	82
4.5.1.2	Potek določevanja enačb za kot med pomembno vezjo in poševno razporo	83
4.5.1.3	Prikaz rezultatov	86
4.5.1.3.1	Stenast nosilec čez eno polje	86
4.5.1.3.2	Stenast nosilec čez dve polji	87
4.5.1.3.3	Stenast nosilec čez tri polja	90
4.5.2	Tvorjenje mehanizma paličja	96
4.5.2.1	Splošno	96
4.5.2.2	Opis postopka	96
4.5.2.3	Analiza nosilca	97
4.5.2.4	Primerjava rezultatov	101
4.5.2.5	Primerjava paličnih mehanizmov	102
5	ZAKLJUČEK	109
	VIRI	111
	PRILOGE	113
	PRILOGA 1: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ ENO POLJE; l = 18m, h = 9m, l/h = 2	
	PRILOGA 2: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ DVE POLJI; l = 18m, h = 9m, l/h = 2	
	PRILOGA 3: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ TRI POLJA; l = 18m, h = 9m, l/h = 2	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Tabelarični prikaz statičnih količin in procentualno izražena napaka rezultatov v primerjavi z referenčnim primerom a)	101
Preglednica 2:	Tabelarični prikaz rezultant (dvojica sil) normalnih tlačnih in nateznih napetosti vzdolž elementa in procentualno izražena napaka rezultatov v primerjavi z referenčnim primerom a)	101
Preglednica 3:	Primerjava višin korigiranega paličja glede na postavitev točkovnih obremenitev in primerjava ročic z Leonhardtom	107
Preglednica 4:	Primerjava višin paličja med računskimi primeri, predstavljeni v »Prilogi« po načinu c), glede na višine paličja po načinu b) ter glede na odčitek ročic iz programskega paketa »Sofistik« in ročic po Leonhardtu	107

KAZALO SLIK

Slika 1: Nelinearen potek vzdolžnih napetosti po izbranih prerezih stenastega nosilca v odvisnosti od razmerja l/h	3
Slika 2: Diskontinuiteta geometrije	
Slika 3: Diskontinuiteta geometrije	5
Slika 4: Diskontinuiteta geometrije	
Slika 5: Diskontinuiteta geometrije	5
Slika 6: Diskontinuiteta geometrije	
Slika 7: Diskontinuiteta geometrije	5
Slika 8: Diskontinuiteta obtežbe	
Slika 9: Diskontinuiteta obtežbe	6
Slika 10: Diskontinuiteta obtežbe	
Slika 11: Diskontinuiteta obtežbe	6
Slika 12: Diskontinuiteta obtežbe	
Slika 13: Diskontinuiteta obtežbe	6
Slika 14: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe	
Slika 15: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe	7
Slika 16: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe	7
Slika 17: Primerjava trajektorij glavnih napetosti v »B – območjih« in »D – območjih«	8
Slika 18: Območja singularnosti pri stenastih nosilcih	14
Slika 19: Naklon razpor v tlačno – nateznem vozlišču in pripadajoča armatura	18
Slika 20: Načini prenosa obtežbe	19
Slika 21: Stenast nosilec z računsko nadomestno obtežbo na desni strani	21
Slika 22: Nadomestna obtežba stika prečka - steber na desni strani	21
Slika 23: Prikaz mehanizma paličja	22
Slika 24: Prikaz oblike razpor	23
Slika 25: Obremenitev stenastega nosilca	23
Slika 26: Preferenčni model paličja	24
Slika 27: Neučinkovit prenos obtežbe	25
Slika 28: Neprimeren prenos obtežbe	25

Slika 29: Razpoke v razpori zaradi prečne natezne sile	40
Slika 30: Prikaz vozlišč (I in II) pod koncentrirano obremenitvijo kot posledica deformabilnosti razpore	44
Slika 31: Najmanj tri delujoče sile potrebne za klasifikacijo vozlišča	
Slika 32: Geometrija vozlišča	44
Slika 33: Združevanje sil v poligonalno obliko	46
Slika 34: Oblika vozlišča enaka obliki poligonu sil, kjer se sile ne stikujejo v skupno točko	46
Slika 35: Združevanje parov sil v rezultanto do delujočih treh sil na vozlišče	47
Slika 36: Dokaz momentnega ravnotežja na točko E	47
Slika 37: Prikaz različnih primerov sidranja armature v natezno – tlačnem vozlišču	49
Slika 38: Model z vezmi in razporami glede na način sidranja vzdolžne armature	49
Slika 39: Prečna armatura, ki ustreza zgornjima primeroma (npr. del stremenske armature)	49
Slika 40: Tlačna vozlišča	54
Slika 41: Delitev območja vozlišča na podobmočja	55
Slika 42: Primerna aplikacija trikotnih pravokotnih tlačnih vozlišč	55
Slika 43: Združevanje sil v vozlišču	56
Slika 44: Klasično vozlišče s petimi razporami	56
Slika 45: Idealiziran prikaz vozlišča z armaturo v eni vrsti in sidranjem za vozliščem	58
Slika 46: Potek trajektorij tlačnih napetosti pri armiranju vezi v večih slojih	58
Slika 47: Idealiziran model zgornjega vozlišča	59
Slika 48: Sidrana dolžina sega za vozlišče	
Slika 49: Podaljšano vozlišče za sidranje armaturnih palic	59
Slika 50: Tlačno – natezno vozlišče, kjer se palice sidrajo/končajo znotraj vozlišča	61
Slika 51: Detajl vozlišča z ukrivljenimi armaturnimi palicami	62
Slika 52: Tipična vozlišča z vezmi v dveh ortogonalnih smereh	63
Slika 53: Sidrna dolžina armaturnih palic z upoštevanjem podaljšanja vozlišča	63
Slika 54: Prikaz vozlišča v prečni smeri nad reducirano podporo in prenos lokalnih tlakov	65
Slika 55: Primerjava poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri $[N/mm^2]$, pri enakomerni obtežbi na zgornjem robu po elementu glede na način podpiranja	73
Slika 56: Prikaz reakcij pri različnih načinih podpiranja nosilcev $[kN]$	75
Slika 57: Prikaz normalnih napetosti v vzdolžni smeri $[N/mm^2]$, pri različnih načinih podpiranja nosilcev	76

Slika 58: Prikaz upogibnih momentov pri različnih načinih podpiranja nosilcev [kNm]	76
Slika 59: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu, za stenast preko enega polja, obremenjen z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino	79
Slika 60: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu za stenast nosilec preko dveh polj, obremenjenim z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino	80
Slika 61: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu za stenast nosilec preko treh polj, obremenjenim z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino	81
Slika 62: Prikaz rezultatov analize 28 primerov stenastih nosilcev	84
Slika 63: Ujemanje polinomske funkcije »Trendline«, ki opisuje z upoštevanimi diskretnimi vrednostmi naklonski kot tlačne razpore za razmerje $1 \leq l/h \leq 2$	85
Slika 64: Primerjava diskretnih vrednosti rezultatov kota naklona tlačne razpore in rezultante dobljene s programskim paketom »Sofistik« in s »Trendline« funkcijo.	85
Slika 65: Nosilec čez eno polje	86
Slika 66: Nosilec čez dve polji z obtežbo po celotni dolžini	87
Slika 67: Nosilec čez dve polji obtežen preko enega polja	89
Slika 68: Nosilec čez tri polja obremenjen po celotni dolžini	90
Slika 69: Nosilec čez tri polja obtežen na krajnih dveh poljih	92
Slika 70: Nosilec čez tri polja obtežen na vmesnem polju	93
Slika 71: Nosilec čez tri polja z obtežbo preko dveh polj	94
Slika 72: Geometrija analiziranega nosilca	97
Slika 73: Nosilec preko treh polj obremenjen z linijsko obtežbo [kN/m]	98
Slika 74: Prikaz reakcij [kN]	98
Slika 75: Upogibni moment [kNm]	98
Slika 76: Nosilec preko treh polj obremenjen s točkovno obtežbo [kN]	99
Slika 77: Prikaz reakcij [kN]	99
Slika 78: Upogibni moment [kNm]	99
Slika 79: Nosilec čez tri polja obremenjen s točkovno obtežbo [kN]	100
Slika 80: Prikaz reakcij [kN]	100
Slika 81: Upogibni moment [kNm]	100

Slika 82: Različne višine presečišč točkovnih sil in diagonalnih razpor, ki ponazarjajo oddaljenostmi med zgornjim in spodnjim pasom	104
Slika 83: Korekcija paličja glede na najmanjšo razdaljo med pasovoma paličja	104
Slika 84: Različne višine presečišč točkovnih sil in diagonalnih razpor, ki ponazarjajo oddaljenostmi med zgornjim in spodnjim pasom	105
Slika 85: Korekcija paličja glede na najmanjšo višino/razdaljo med pasovoma paličja	106

1 TEORETIČNE PODLAGE PROJEKTIRANJA Z MODELOM Z VEZMI IN RAZPORAMI

1.1 Predstavitev metode z vezmi in razporami

Metoda razpor in vezi predstavlja sistematski pristop, s katerim lahko istočasno upoštevamo vse učinke obtežbe, tako posamezne upogibne, osne, prečne in torzijske učinke, kakor tudi različne medsebojne kombinacije le – teh. Metoda se je razvila v eno najbolj uporabnih metod projektiranja betonskih konstrukcij za strižno obremenjene in ostale konstrukcije z območji diskontinuitete¹ geometrije in/ali obtežbe. Model, ki temelji na analogiji paličja zagotovi smotrni pristop k prevedbi kompleksnih nosilnih elementov na primeren poenostavljen palični mehanizem imenovan »Model z vezmi in razporami«. Je mehanski model, ki deli enoten, kontinuiran element na diskretne podelemente in predstavlja notranji mehanizem prenosa sil in celotno deformabilnost konstrukcije. Prednost tega modela je v tem, da nam pomaga razumeti način prenosa obtežbe po elementu. Različni načini deformiranja se modelirajo z metodo z vezmi in razporami, ki prevzemajo tlačne in natezne obremenitve. Palični model zagotavlja kompatibilnost deformacij in statično ravnotežje. S tem pristopom ne dobimo enovitega možnega mehanizma, teh je več za vsak primer konstrukcije. Obstajajo načini pravilnega tvorjenja mehanizma in pravila, ki pomagajo projektantu izbrati najbolj primeren palični sistem. Koncept modela z vezmi in razporami temelji na ideji prenosa tlačnih obremenitev preko razpor in natezних obremenitev preko vezi, oboji pa se stikujejo v vozliščih. Tako lahko definiramo tri območja: tlačno, natezno in strižno. Nosilnost tlačne cone določata tlačna trdnost betona in tlačne armaturne palice, nosilnost natezne cone predstavljata natezna armatura in območje betona med razpokami (ki se pri dimenzioniranju po SIST EN 1992-1-1 zanemarijo) ter nosilnost strižnega območja pa definirajo stremenska armatura in betonske razpore.

¹ diskontinuiteta (t.j. mejna ploskev, točka, črta, kjer se skokoma spremeni prerez, obtežba in potek napetosti)

Obstaja domneva, da je beneški arhitekt Andrea Palladio (1518 – 1580) prvi opisal obliko konstrukcije, ki jo danes imenujemo paličje. Nadomestno paličje ali model z vezmi in razporami je že od 19. stoletja uspešno uporabljen pri nosilcih, kasneje tudi za kratke konzole in ostale posebne primere armiranih betonskih konstrukcij. Omenjeno metodo sta Ritter (1899) in Morsch (1902) uporabila v smislu razumevanja prenosa sil pri obremenitvi s prečno silo, ki ga omogoča palični mehanizem. Podrobno so švicarski in skandinavski inženirji preiščeno zasnovali »fan-shaped« t.j. pahljačasto obliko napetostnega polja za pojasnjevanje dejanskega obnašanja obtežnega vpliva armirano betonskih konstrukcij po teoriji plastičnosti [Muttoni/Schwartz/Thuerlimann (1997)]. V smislu definiranja metode in konkretiziranja z enačbami je potrebno omeniti Martija in Schlaicha, kjer v nadaljevanju Schlaich s sodelavci omejeno metodo posploši, izboljša in izpopolni za vse tipe armirano betonskih konstrukcij. Model je omenjen je tudi v besedilih Collinsa in Mitchella (1991) ter MacGregorja (1992). Metoda z vezmi in razporami je predstavljena v AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) LRFD (Load and Resistance Factor Design) Specification first edition (1994) in pozneje vključena v ameriški standard ACI (American Concrete Institute) 318-02 Appendix A; model omenjajo tudi v slovenskem standardu SIST EN 1992-1-1 za projektiranje betonskih konstrukcij.

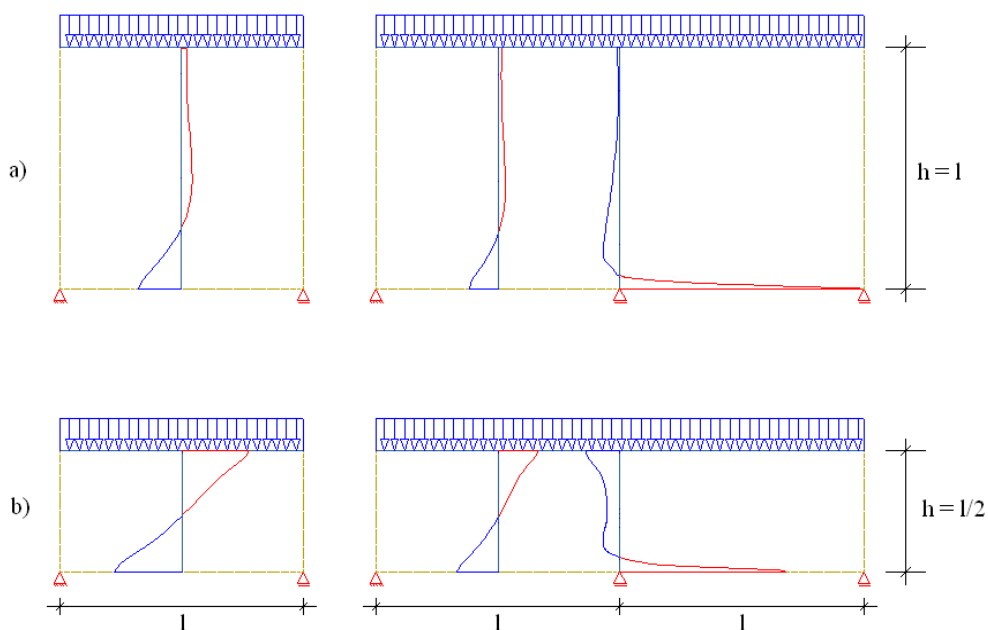
Dimenzioniranje temelji na zagotavljanju ravnotežja, izpolnjevanju kompatibilnostnih pogojev in konstitutivnih enačbah materiala, pri armirano betonskih konstrukcijah gre za jeklo in beton. Po Bernoullijevi hipotezi se pri upogibnih elementih predpostavi linearen potek napetosti po prerezu, zato ravna ploskev tudi po upogibu ostane ravna, pomeni da so napetosti nad in pod nevtralno osjo proporcionalne razdalji od nevtralne osi, torej prerezi, ki so ravni in pravokotni na težiščno os pred obremenitvijo ostanejo približno ravni in pravokotni na upognjeno težiščno os tudi po obremenitvi oziroma deformiranju.

Območja veljavnosti te predpostavke opiše Saint-Venant, ki pravi, da lokalne napetosti povzročene zaradi zunanje obtežbe in/ali spremembe geometrije disipirajo ali se enakomerno porazdelijo le v območja, ki so dovolj oddaljena od mesta delovanja zunanje obtežbe. Pri tem točno določi, da motnja napetosti, ki jih povzroči nezveznost oziroma diskontinuiteta obtežbe ali spremenljiv prečni prerez vzdolž elementa ne upoštevamo na razdalji, ki je od točke delovanja obtežbe oddaljena več kot znaša največja dimenzija prečnega prereza, kar pomeni,

da tam dimenzioniranje lahko opišemo po teoriji upogibnih nosilcev. Tega principa ni možno uporabiti na območjih, ki so bližje kot je največja dimenzija prečnega prereza od diskontinuitet obtežbe in/ali geometrije, zato tam uporabimo model z vezmi in razporami.

Bernoullijeva predpostavka linearnega poteka napetosti po prerezu je osnova standardnih metod dimenzioniranja nosilcev, stebrov in plošč. Kakorkoli, Bernoullijeva hipoteza v splošnem ni veljavna za projektiranje stenastih nosilcev, kar prikazuje slika 1, na kateri je podan potek vzdolžnih napetosti iz linearno elastične analize. Razmerje med razponom in višino, kjer Bernoullijeva hipoteza precej dobro ustreza se lahko zanaša na prereze z geometrijskimi mejnimi pogoji (prostoležeč nosilec, kontinuirani nosilec, plošča) in glede na vrsto obtežbe (zvezna oziroma točkovna obtežba).

Žal, napetosti v stenastih nosilcih (slika 1) ne moremo zasledovati prerez za prerezom samo glede na velikosti upogibnih momentov »M«, osnih sil »N« in prečnih sil »V«, kot pri običajnih linijskih elementih, kjer je njihova višina majhna v primerjavi z razponom. Enako velja tudi za tista območja v nosilcih in ostalih elementih, kjer je regularen enakomeren potek napetosti po prerezu prekinjen zaradi diskontinuitet povzročenih zaradi geometrije in/ali obtežbe. Pojem diskontinuitete je razložen in slikovno predstavljen v nadaljevanju.



Slika 1: Nelinearen potek vzdolžnih napetosti po izbranih prerezih stenastega nosilca v odvisnosti od razmerja l/h

1.2 Definicija in splošne lastnosti »D – območij« in »B – območij«

Znotraj armirano betonskih elementov lahko definiramo območja diskontinuitet blizu koncentriranih obtežb, odprtih in/ali spremenljivih prečnih prereзов. V območja diskontinuitete, se zaradi geometrije uvrščajo tudi celotni stenasti nosilci. Potemtakem lahko armirano betonske elemente razdelimo na dve območji, imenovani »B – območja« in »D – območja«. Če se »D – območja« prekrivajo se jih lahko obravnava kot eno območje.

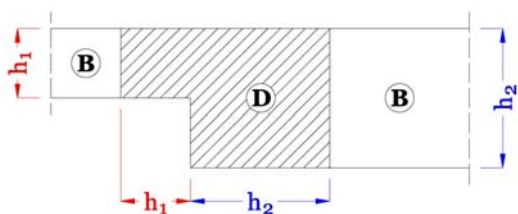
S simbolom črke »D« poimenujemo oziroma povezujemo naslednja območja:

- diskontinuitetna (»Discontinuity«) območja, zaradi geometrije in obtežbe,
- stenaste nosilce (»Deep beams«),
- območja motenj (»Disturbed region«),
- območja detajliranja.

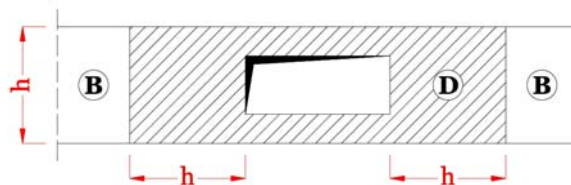
S simbolom črke »B« poimenujemo oziroma povezujemo naslednja območja:

- območja, kjer velja Bernoullijeva hipoteza,
- nosilce (»Beam theory«),
- upogibne elemente (»Bending members«).

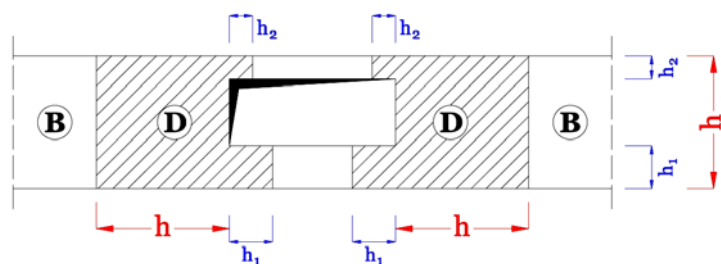
Projektiranje »B – območij« je dobro poznano in celotno nosilnost določimo z enostavnim izračunom (z omejevanjem napetosti v betonu in jeklu po priročniku za dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj). Vendar tudi za najbolj enostavne primere »D – območij«, kot so kratke konzole in stenasti nosilci, mora biti projektant sposoben predvideti nosilnost s tradicionalnimi metodami, kot naprimer z empiričnimi (izkustvenimi) ali pa z analizo končnih elementov. Metoda z vezmi in razporami zapolni vrzel med dimenzioniranjem elementov na podlagi Bernoullijeve hipoteze in dimenzioniranjem na podlagi empirike, testov in metodo končnih elementov ter ponuja projektantu razvoj mehanizma brez sofisticiranih programov. Na slikah od 2 do 16 je prikazanih je nekaj primerov delitve elementov na »B – območja« in »D – območja«:



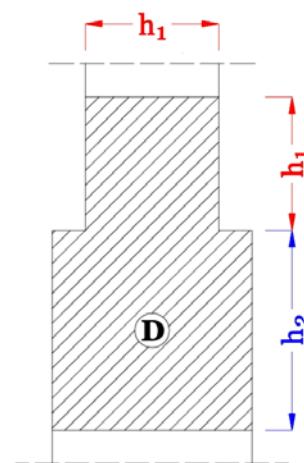
Slika 2: Diskontinuiteta geometrije



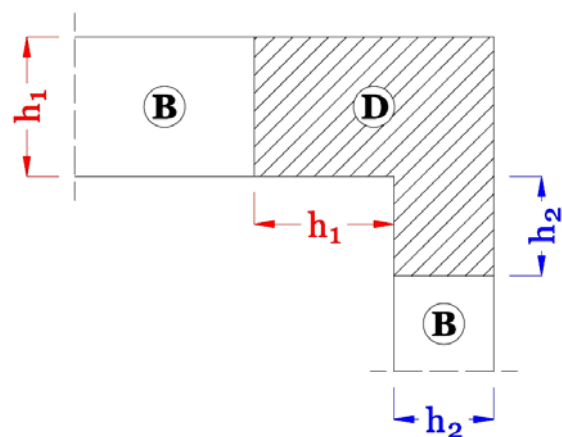
Slika 3: Diskontinuiteta geometrije



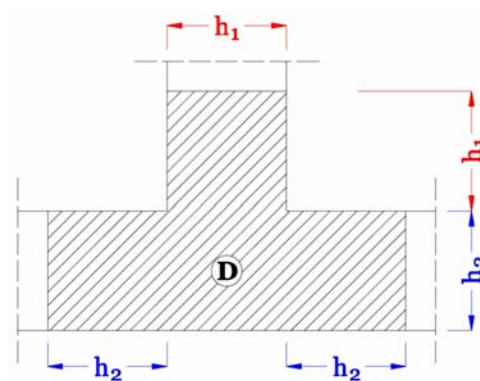
Slika 4: Diskontinuiteta geometrije



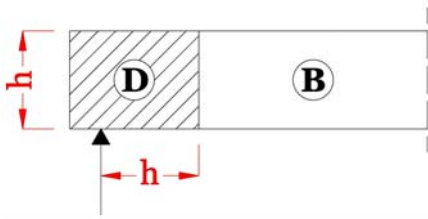
Slika 5: Diskontinuiteta geometrije



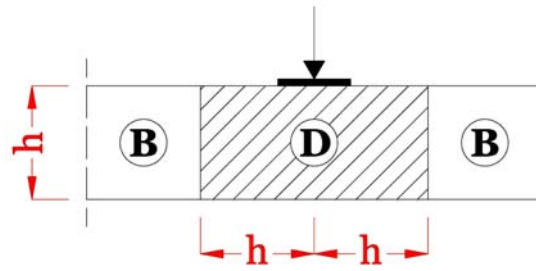
Slika 6: Diskontinuiteta geometrije



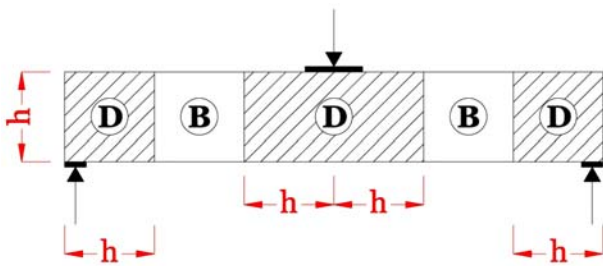
Slika 7: Diskontinuiteta geometrije



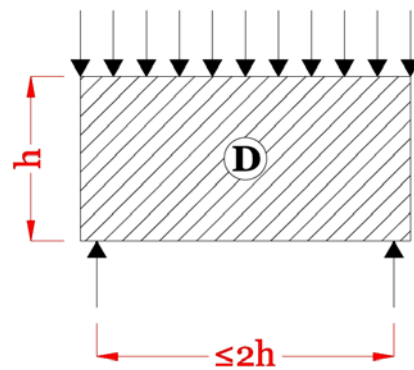
Slika 8: Diskontinuiteta obtežbe



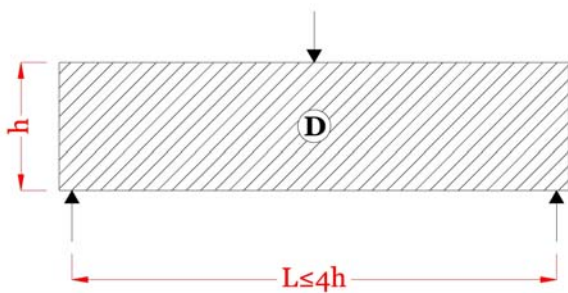
Slika 9: Diskontinuiteta obtežbe



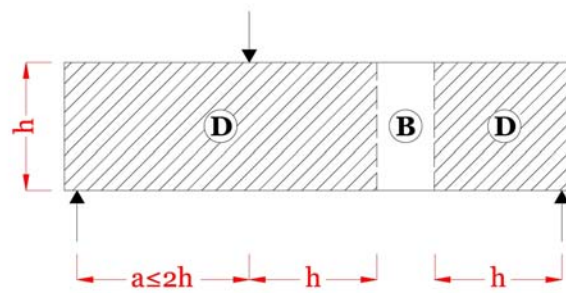
Slika 10: Diskontinuiteta obtežbe



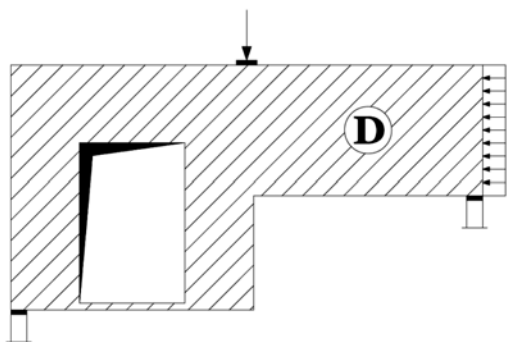
Slika 11: Diskontinuiteta obtežbe



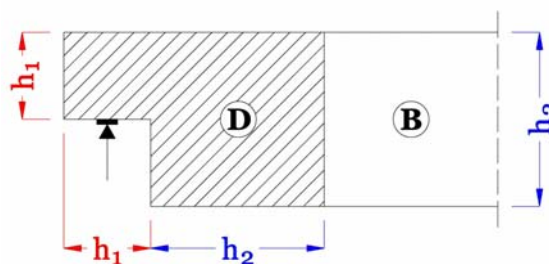
Slika 12: Diskontinuiteta obtežbe



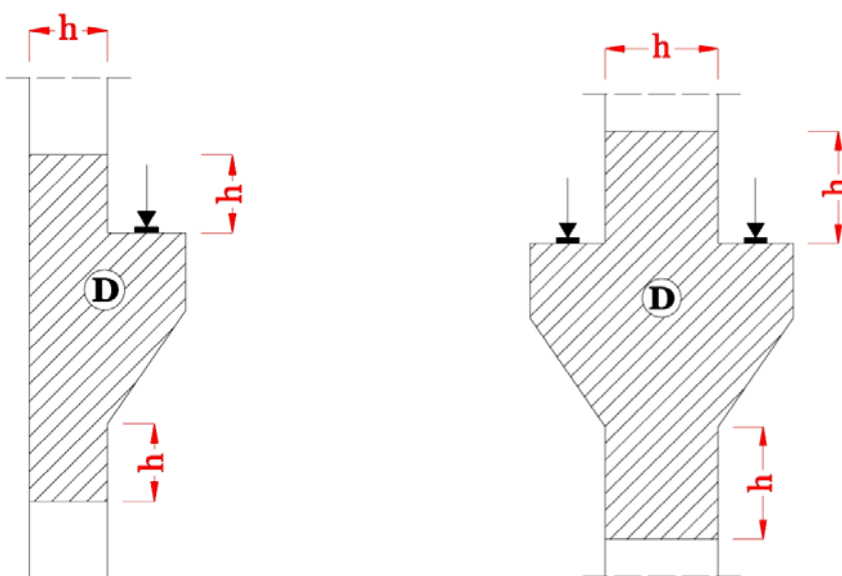
Slika 13: Diskontinuiteta obtežbe



Slika 14: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe



Slika 15: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe

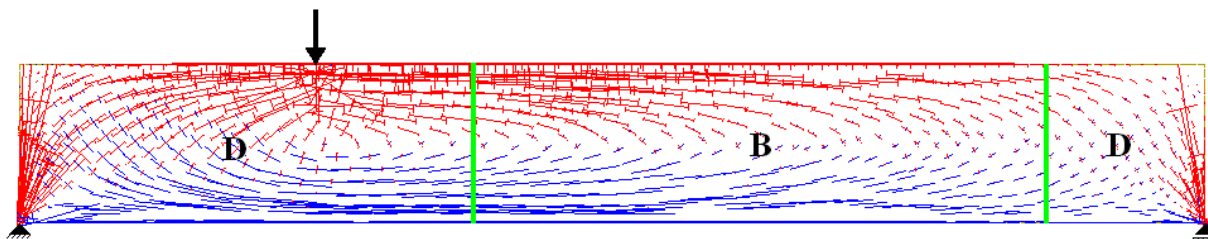


Slika 16: Diskontinuiteta geometrije in obtežbe

1.2.1 »D – območja«

V primerjavi z »B – območji« napetosti oziroma njihove trajektorije kažejo precej enakomerno sliko v primerjavi z neenakomernostjo poteka v območjih diskontinuitete (slika 17). Intenziteta napetosti hitro pada z oddaljevanjem od območja diskontinuitete geometrije in/ali obtežbe. Tako obnašanje nam omogoča dovolj dobro aproksimacijo razmejitev »B – območij« in »D – območij« v elementih oziroma konstrukciji, ki sledi naslednjemu pravilu:

»D – območje« je omejeno s površino, ki se razteza od izvora motnje do razdalje, ki je enaka višini (oziroma debelini v prečnem pogledu) elementa. Če je element spremenljive višine potem je tudi »D – območje« na obeh koncih motnje različno dolgo.



Slika 17: Primerjava trajektorij glavnih napetosti v »B – območjih« in »D – območjih«

Zgornje pravilo temelji na že omenjenem Saint-Venantovem principu, zato ni natančno. Vendar pa velika natančnost ni potrebna, saj služi samo kot kvalitetno pomagalo za identifikacijo območij z neenakomernim potekom napetosti in za formiranje nadomestnega paličja. Razumevanje poteka prenosa sil in s tem napetosti po elementu je zelo pomembno za formiranje »B – območij« in »D – območij«. Prav tako je jasno, da količnik razmerja razpona z višino ni zadosten za razvrščanje elementov med nosilce, dolge/kratke konzole in stenaste nosilce. Primerna klasifikacija elementov zahteva ob upoštevanju mehanskega obnašanja in geometrije tudi upoštevanje načina obremenitve.

1.2.2 Pregled projektiranja »D – območij«

Navadno se »D – območja« raziskujejo kot obremenjena območja znotraj elementa. Če je potek sil v »D – območju«, v osnovi tridimenzionalen, je ustrezno raziskovati telo v večih ravninah kot dvodimenzionalno konstrukcijo z delujočimi merodajnimi obremenitvami. Zvezo med modeli v različnih ravninah moramo upoštevati, zaradi medsebojnih delovanj sil ali napetosti in mejne odpornosti betona pri prostorskem napetostnem stanju.

Občasno potrebujemo boljši vpogled v določene predele konstrukcije, kar dosežemo z lokalnimi modeli kot so naprimer območja stikovanja oziroma vozlišč.

Dokler »D – območje« ostane nerazpokano, ga lahko brez težav analizirana z linearno elastičnimi metodami, naprimer z uporabo računalniškega programa, ki temelji na MKE. Ko se pojavijo razpoke nastopi prerazporeditev napetosti, natezne sile se v prerezu prenesejo na armaturo, ki je iz praktičnih razlogov običajno položena paralelno in ortogonalno na robove elementov. Zaradi omejene širine elementa in velikih nateznih sil, pogosto polagamo armaturo v večih plasteh. S tem oziroma na ta način, se tok notranjih sil močno spremeni in linearno elastična analiza odpove. Če bi hoteli upoštevati nelinearne efekte čim bolj realno, bi bile računalniške analize neekonomične in rezultati bi bili močno odvisni od izkušenj projektanta in vhodnih parametrov.

Konvencionalno analiziranje »D – območji«, ki je povezano z določitvijo mej na podlagi preteklih izkušenj ali »dobre prakse«, ne more biti vselej vsesplošno zadovoljivo in je eden od pomembnejših razlogov za slabo obnašanje in celo porušitev armirano betonskih elementov.

Pri dimenzioniranju znotraj »D – območji«, v razpokanem stanju, morajo biti notranje sile glede na obtežbo, prednapetje in/ali vsiljene deformacije, določene in preverjene na mejno nosilnost betona in ojačilne armature.

Na konceptualni ravni, skice različnih modelov lahko vodijo k različnemu ali podobnemu obnašanju konstrukcije pod obremenitvijo, izbrati pa je potrebno tak model, ki je najboljši približek naravi odziva oziroma deformiranja konstrukcije, saj le tako lahko zagotovimo ustrezen potek sil do podpore, temeljev ali prenos sil v že zgoraj omenjeno »B – območje«.

Uporaba metode z vezmi in razporami je dobrodošla tudi pri detajliranju posebnih ojačitvenih konfiguracij elementov, kot sta kratka konzola in različni načini temeljenja/podpiranja (pilotne glave, grede in blazine) kot tudi modeliranje drugih detajlov.

Nosilnost mora biti večja ali enaka projektnim obremenitvam v mejnem stanju nosilnosti, v mejnem stanju uporabnosti pa kontroliramo razmake med vezmi oziroma armaturnimi palicami glede razpok in širine razpok v nateznih conah. Kontrola pomikov oziroma povosov elementa je realnejša z MKE analizo kot pri računu na modelu paličja.

1.3 Zagotavljanje nosilnosti modela z vezmi in razporami in s tem »D – območij«

Model z vezmi in razporami temelji na teoriji plastičnosti, predvsem na teoremu spodnje meje (spodnji statični teorem), ki pravi, da je obtežba, ki povzroči katerokoli možno razporeditev notranjih sil po elementu v ravnotežju in hkrati napetosti povzročene zaradi zunanje obtežbe ne presežejo dopustnih napetosti na meji tečenja materiala.

Obremenitve, pri katerih je zadoščeno ravnotežju in nikjer ne presežejo napetosti tečenja predstavljajo spodnjo mejo idealno elasto – plastičnega materiala. To pomeni, da porušitev po betonu (razpore in vozlišča) ne nastopi pred plastifikacijo armature (vezi in stremen).

Velja omeniti še dva teorema plastične analize:

a) kinematični teorem (upper bound teorem):

Obtežba, ki povzroči katerikoli kinematični možni porušni mehanizem (glede na kinematične robne pogoje – kompatibilnostni pogoji), je večja ali enaka pravi porušni obtežbi. Pri n – krat statično nedoločeni konstrukciji je potreben $n + 1$ plastični členek za nastanek mehanizma, t.j. zaporedno tvorjenje plastičnih členkov.

b) Teorem o enoličnosti rešitve:

Prava mejna obtežba je tista, pri kateri sta hkrati izpolnjena oba teorema (statični in kinematični):

- ravnotežje notranjih sil (momentov) in
- razvoj kinematičnega porušnega mehanizma (možnega).

Velja izrek o virtualnem delu: $\delta W_n = \delta W_z$

Dodatna pogoja:

- duktilnost materiala in
- zagotavljanje stabilnosti: preprečitev lokalnega izbočenja, uklona oziroma bočne zvrnitve.

Rotacijska kapaciteta je lastnost:

- prečnega prereza in

- sposobnost prereza, da prevzame polno – plastični moment pri znatnih plastičnih deformacijah in zasukih.

Iz tega naslova lahko modeliramo več različnih modelov paličja za enak obtežni primer, dokler so zagotovljene vse potrebne rotacijske kapacitete z rezervo nosilnosti zaradi duktilnosti in so notranje sile v ravnotežju z zunanji obremenitvami.

Postopek oblikovanja paličja je sledeč:

1. definirati in izločiti »D – območja«,
2. izračun notranjih statičnih količin oziroma določitev poteka napetosti po prerezu za vsako »D – območje« posebej,
3. smiselna izbira paličnega modela za prenos sil znotraj »D – območja« ,
4. določitev dimenzij območja vozlišč izbranega paličnega modela,
5. kontrola nosilnosti razpore na sredini dolžine in ob vozlišču,
6. dimenzioniranje nateznih vezi in določitev sidrne dolžine,
7. iterativen, parametričen postopek izbire nosilnega mehanizma, kjer bo zadoščeno vsem kontrolam ob hkrati minimalno potrebni armaturi.

Po teoriji spodnje meje plastičnosti se predpostavi, da beton lahko vzdržuje plastične deformacije in da je idealno elasto – plastičen material, kar pa ni povsem res. Največje tlačne napetosti v razpori ne smejo presegati tlačne trdnosti betona. Predpogoji za takšne predpostavke so:

- metoda razpor in vezi temelji na kontrolah mejnega stanja nosilnosti (kontrole mejnega stanja uporabnosti so težje izvedljive),
- ohranjanje ravnotežja,
- natezna trdnost betona je zanemarjena,
- sile v razporah in vezeh ustrezajo enoosnemu napetostnemu stanju,
- zunanje obremenitve delujejo v vozliščih,
- prednapetje je definirano kot obtežba,
- zagotovljeno je primerno sidranje armature.

V paličju iz vezi in razpor je potrebno glede prvih dveh kriterijev izpolniti ravnotežne enačbe na osnovi plastifikacije. Z upoštevanjem plastičnega obnašanja materiala in nelinearne razporeditve napetosti po prerezu, se približamo bolj realističnemu obnašanju elementov in s tem konstrukcije. Zato se pri tako priročni metodi, večkrat pojavljajo vprašanja:

- Kako formulirati model z vezmi in razporami?
- Če lahko formiramo paličje ali je izbran palični mehanizem primeren ali obstaja boljši?
- Če obstaja več možnih paličnih modelov, katero med njimi je primernejše?

Obstaja več izkustvenih pravil:

- pri elastični analizi lahko s pomočjo metode končnih elementov prikažemo trajektorije napetosti, ki nam pomagajo pri formiranju paličja,
- cilj predstavlja preprost palični mehanizem z najmanj vezmi. Prenos obtežbe temelji na energijskem kriteriju. Ker so vezi bolj deformabilne od razpor pomeni, da je model s krajšimi vezmi in manjšim številom vezi običajno primernejše,
- k izbiri mehanizma pripomore tudi pojav razpok. MacGregor (1997) opisuje, na podlagi testov, da se mehanizem z razporami paralelnimi s smermi nastalih razpok obnaša zelo dobro,
- ostala pravila, ki niso izkustvena so podana s standardi, ki se razlikujejo glede na državo in nacionalne dodatke.

2 DVA PRISTOPA ANALIZE FORMIRANJA MODELA PALIČJA

V praksi se uporabljata dva načina reševanja oziroma formiranja paličnega mehanizma in sicer metoda z vezmi in razporami in le-ta v kombinaciji z računalniško analizo, ki temelji na analizi po MKE, kjer je slednja največkrat uporabljena. Metoda razpor in vezi je uporabljena za dimenzioniranje vseh »D – območij«, velikokrat brez pomoči računalniških programov, zlasti v primerih, kjer je mehanizem prenosa obtežbe očiten in pri tipičnih primerih »D – območij« (kratka konzola, nosilec z reduciranim ležiščem, stik prečka – steber). Računalniški programi, ki temeljijo na MKE analizi so uporabljeni pri zahtevnejših primerih dimenzioniranja kot so območja odprtih, nestandardne oblike elementov, saj služijo za prikaz poteka napetosti po elementu na podlagi katerih prevzemamo natezne obremenitve z vezmi in tlačne z razporami. Dimenzioniranje določenih »D – območji« z MKE analizo je lahko pri določevanju računsko potrebne armature napačno (območja točkovnih podpor) in dimenzioniranje »B – območji« ob predpostavki smiselno izbranih prereзов in obtežbe, kar privzamemo.

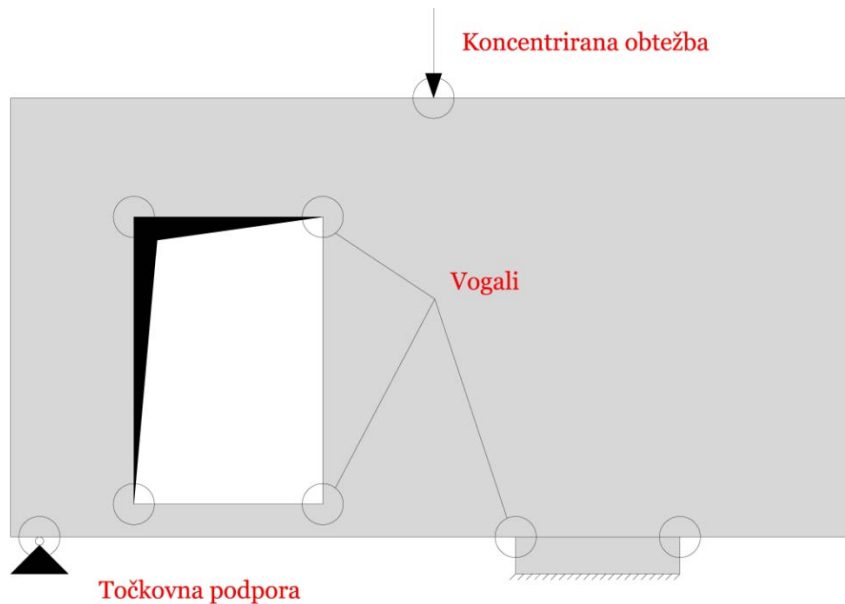
2.1 Dimenzioniranje »D – območij« z metodo končnih elementov

Napetosti v mreži končnih elementov so analizirane na osnovi linearnega obnašanja materiala, takoj ko podamo specifikacije elementa in obtežbe. Procesirani rezultati podajo osnovne napetosti in potrebno ojačitveno armaturo v ortogonalnih smereh za izbran koordinatni sistem.

V bližini singularnosti (točkovne sile, vogali), konvergenca ne more biti dosežena, ko se teoretične vrednosti približujejo neskončnosti. Velikost končnih elementov je odvisna od geometrije in obtežbe obravnavane konstrukcije.

Vprašanje se postavlja tudi pri poenostavitvah podpiranja v analizi po MKE. Rezultati se precej razlikujejo v okolici podpore, če je le ta predstavljena ali kot točkovna podpora ali kot kratka linijska podpora ali kot več točkovnih podpor na manjših medsebojnih razdaljah ali če je majhen podporni element dodan konstrukciji z namenom enakomernosti rezultatov v

konstrukciji (Rueckert 1992). Po MKE analizi nastanejo problemi singularnosti in rezultati take analize v singularnih območjih za razpokane prereze niso merodajni.



Slika 18: Območja singularnosti pri stenastih nosilcih

V analizi v okviru mejnih stanj nosilnosti (MSN) se uporablja za dimenzioniranje ojačilne armature projektna vrednost meje plastičnosti f_{yd} . Beton v nateznem območju razpoka in to nas pripelje do prerazporeditve notranjih sil v prerezu, ki se razlikujejo od poteka napetosti dobljenih z analizo po MKE. Kljub vsemu je konstrukcija varno projektirana, saj upoštevamo spodnji statični teorem plastifikacije in izkušnje.

Dimenzioniranje »D – območij« z metodo z vezmi in razporami na podlagi analize po MKE prikažemo potek napetosti po elementu in s tem položaj natezne armature v območjih nategov. Problem se pojavi pri interpretaciji rezultatov, računa zadostne armature in pravilnega armiranja. Če analiziramo velik stenasti nosilec, se armatura dokaj enakomerno razporedi po licu elementa, za katero se reprezentativno vrednost za zadostno armiranje privzame iz MKE analize. Vendar pa je v splošnem boljše skoncentrirati armaturo v bližini robov konstrukcije, že zavrlo nastanka razpok, površinskih obremenitev ali zaradi ostalih neanaliziranih učinkov. Taka razporeditev armature glede na potek napetosti iz linearno elastične analize, je statično bolj učinkovita. Velikim razlikam lociranja armature po prerezu iz MKE analize se moramo izogniti, ker težko predvidimo posledice.

Naslednji problem je sidranje armature za katerega analiza po MKE po linearno elastični analizi ne more posredovati smernic, saj armatura ni niti modelirana. Lahko je zelo nevarno določiti sile sidranja in kakršnokoli potrebno armaturo v bližini podpor ali ostalih območjih diskontinuitet iz linearne analize po MKE. Primer stenastega nosilca čez eno polje glede na analizo po MKE, zaradi konic napetosti v okolici točkovnih podpor nakazuje na večjo količino potrebne armature kot pa v polju.

2.2 Projektiranje stenastih nosilcev in ostalih diskontinuitet z metodo z vezmi in razporami

2.2.1 Osnove metode

Potek napetosti ali notranjih sil po konstrukciji lahko prikažemo s pomočjo oblik trajektorij. Vzorci trajektorij, ki potekajo od prijemališča obtežbe do podpor so zelo koristna orodja za razumevanje prenosa sil oziroma njihovega poteka skozi konstrukcijo. V splošnem so ti vzorci precej komplicirani in razpoložljivi samo za linearno elastično obnašanje materiala. Za doseg bolj praktičnega modela konstrukcije, trajektorije glavnih napetosti oziroma naravni tok tlačnih sil lahko preučimo in uredimo v obliko razpore paličnega modela in sile vzporedne z ojačitveno armaturo idealiziramo v obliko vezi in celoten sistem imenujemo »Model z vezmi in razporami«.

Dopolnjevanje metode predstavlja kontrola razpok ali dodana armatura za zagotavljanje duktilosti. Varnost konstrukcije dimenzionirane z metodo z vezmi in razporami temelji na spodnjem statičnem teoremu plastičnosti. Kontrola kompatibilnosti se ne izvaja.

V izogib velikim nekompatibilnostim med betonom in jeklom moramo razumno izbrati model paličja iz vezi in razpor, ki naj nakazuje čim bolj realističen odziv konstrukcije, kjer se formiranje razpor in vezi orientira glede na potek sil iz linearno elastične analize. Omenjeno analizo se izvaja pri ne zelo majhni mreži končnih elementov, saj območja singularnosti

(programi se lahko z numeriko temu sami izognejo) obravnavamo ločeno, ko dimenzioniramo vozlišča.

Pred porušitvijo se bo konstrukcija prilagodila izbranemu mehanizmu razpor in vezi, ki utrpi plastične deformacije, zato je kvalitetna izbira modela zelo pomembna. Ojačilna armatura lahko vzdrži znatne plastične deformacije brez izgube nosilnosti zaradi duktilnosti, hkrati pa je duktilnost betona omejena.

Če je model z vezmi in razporami orientiran smiselno v elastičnem območju obnašanja materiala, bo material lažje prenesel plastične deformacije potrebne za prerazporeditev napetosti. V tem primeru so plastične deformacije pri enakih velikostih obremenitev, na katere smo formirali model paličja z vezmi in razporami v linearno elastični analizi. Pomeni, če upogibni moment iz linearno elastične analize prevzamemo z upogibno armaturo dimenzionirano na plastične karakteristike materiala, pomeni da smo avtomatsko linearno elastični upogibni moment pretvorili v plastičnega. Če izberemo slab model paličja nas ta pripelje v prezgodnjo porušitev dela ali konstrukcije kot celote, še predno razpore in vezi dosežejo svojo projektno napetost oziroma prevzamejo predvidene računske obremenitve. Še več, paličja, ki niso oblikovana glede na linearno elastično obnašanje materiala so občutljiva, dovzetna na velike razpoke v mejnem stanju uporabnosti. Za preprečitev takih napak obstajajo pravila formiranja paličja za različne tipe konstrukcij oziroma elementov.

2.2.2 Izdelava in razvoj paličnega mehanizma z vezmi in razporami

Izdelava primerne modela paličja znotraj »D – območij« je zelo poučna, vendar za razliko od ostalih postopkov projektiranja, zahteva precej vaj in izkušenj. V nadaljevanju je predstavljeno vodilo za modeliranje paličja, vključno z opozorili na pogoste napake. Hitro in površno narejeni mehanizmi velikokrat ne izpolnijo ravnotežnih pogojev kot tudi ne kompatibilnostnih pogojev. Sistematičnost pristopa je strogo priporočljiva.

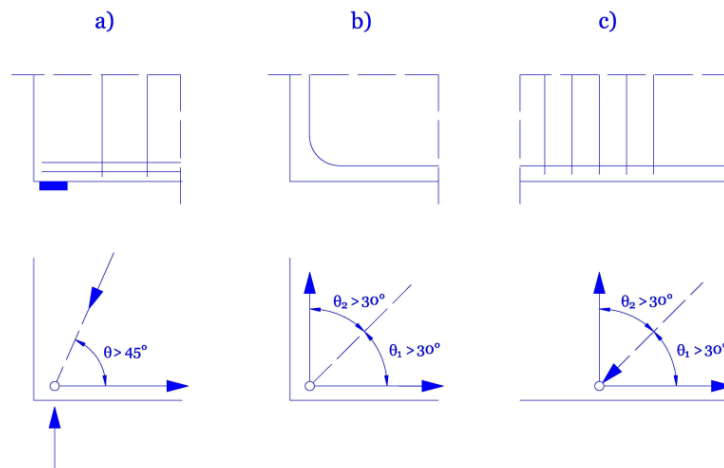
Poznamo tri metode modeliranja, ki jih med seboj lahko tudi združujemo. Najbolj poučna je metoda sledenja poti obtežbe, ki pa ni mogoča v vseh primerih. Deluje natančno za primere,

kjer sta obremenitev in način podpiranja navpični, kot pri stenastih nosilcih. Vedno uporabna, velikokrat obvezna je metoda formiranja paličja na podlagi napetosti iz rezultatov analize po linearni teoriji elastičnosti. In zadnja, najhitrejša metoda, je izbira podobnega mehanizma, če sta problema sorodna.

2.2.3 Splošna pravila in nasveti za modeliranje paličnega mehanizma

Priporočila CEB – FIPa in kontrole napetosti po SIST EN 1992-1-1:

- a) Priporočeno je iskanje precej enostavnih modelov z majhnim številom vezi in razpor. Po potrebi model izboljšamo v nadaljevanju modeliranja.
- b) Formiranje modela na podlagi elastičnega obnašanja, pomeni prilagoditi paličje glede na potek pomembnih, za dimenzioniranje merodajnih sil po telesu in ne perfektnega prikaza elastičnega obnašanja. Posamezne pozicije in smeri razpore sledijo večjim, važnejšim potekom glavnih sil. Napetostna območja z majhno intenziteto so lahko predstavljena bolj svobodno.
- c) Vezi so uporabljene za prikaz načrtovanja (količina, lega) ojačilne armature z ozirom na naravo obnašanja konstrukcije in efektivne izkoriščenosti armature. Prednost imajo modeli z ravnimi palicami z maloštevilnimi ukrivljenimi zaključki, postavljenimi vzporedno ali pravokotno glede na robove elementa. Armatura naj bo postavljena čim bližje zunanjim robovom in zunanjim površinam zaradi omejevanja prevelike širine razpok. V paličnem modelu lahko ena sama natezna vez predstavlja več slojev vzporednih armaturnih palic, s prijemališčem sile je v težišču palic.
- d) Kot θ med razporo in vezjo v vozlišču naj znaša vsaj 45° , če je to mogoče (glej sliko 27). Izjeme glede na zgornje pravilo, se pogosto pojavijo tam, kjer se tlačna diagonala stika z dvema vezema, ki sta druga na drugo pravokotni. V takem primeru reduciramo tlačno trdnost betona na $0,75 \cdot f_{cd}$ (SIST EN 1992-1-1) v območju vozlišča. Koti manjši od 30° so nerealni in vodijo do velikih nekompatibilnosti med betonom in jeklom.

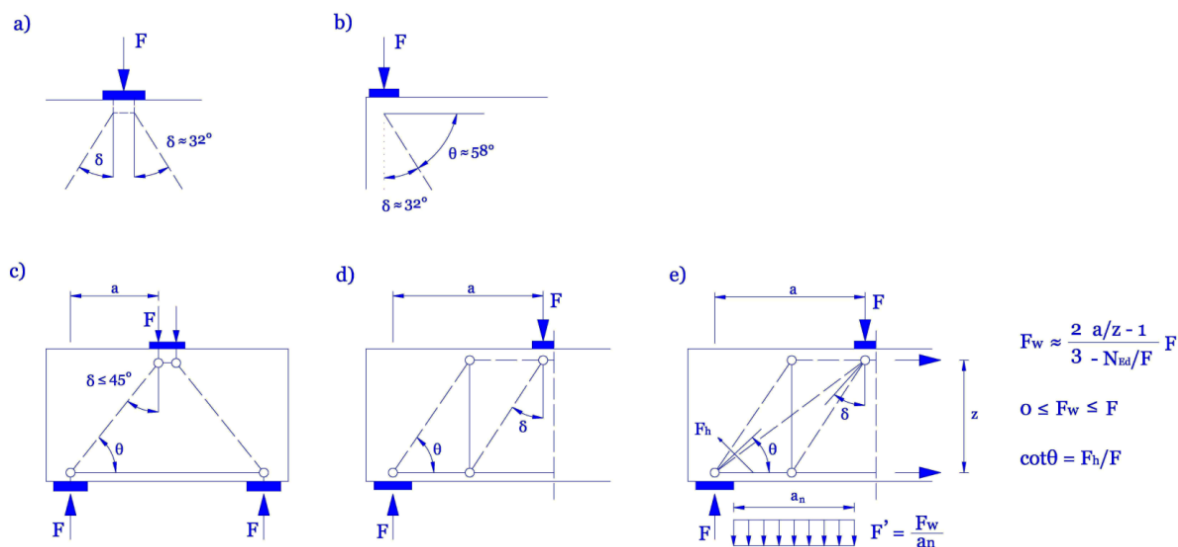


Slika 19: Naklon razpor v tlačno – nateznem vozlišču in pripadajoča armatura

- nateg v eni smeri
- nateg v pravokotnih smereh
- nateg v pravokotnih smereh

- Če koncentrirane sile kot so točkovne sile, podporne sile in sile v sidriščih delujejo na robovih in vogalih elementa se njihov vpliv širi v notranjost elementa, kot je prikazano na slikah 20a in 20b.
- Odvisno od oblike in postavljenih mej celotnega »D – območja«, odklon kota δ rezultant napetosti narašča ali pada z razdaljo od prijema sile in model z vezmi in razporami je lahko primerno lociran. V primeru stenastega nosilca s slike 28c, lahko izberemo večji kot δ (do 45°) glede na zahtevan naklon razpore $\theta > 45^\circ$ pri vozlišču. Za večja razmerja med razponom in višino (glej sliko 20d), z vmesno vertikalno vezjo dobimo ugodnejši naklon razpore. Seveda lahko oba načina združimo kot kaže slika 20e. Predstavljen je standardni model, ki je uporaben v različnih primerih vnosa koncentriranih sil na nosilcu, v bližini podpor, kratkih konzolah in stikih prečka-steber. Sila v statično nedoločenem sistemu v (vertikalni vezi – streme) vezi F_w je lahko določena z izrazom prikazanim na sliki 20e. Enačba predstavlja interpolacijo rezultatov za različne oddaljenosti sile od podpore:
 - $F_w = 0$ za $a < z / 2$ in
 - $F_w = F$ za $a > 2z$.

Enačba upošteva tudi vpliv (natezne) osne sile N_{Ed} , katera na sliki ni prikazana.



Slika 20: Načini prenosa obtežbe

- delitev obtežbe »F« za prikaz prenosa poteka napetosti po prerezu
- prenos obtežbe delujoče na vogalu s primernimi koti odklona
- večji kot razpore glede na obliko elementa in prenosa obtežbe
- vertikalna natezne vez zagotavlja primeren naklonov razpor
- kombinacija predhodnih dveh modelov c) in d)

g) Tlačna razpora z upoštevanjo primerno širino predstavlja območje tlačnih napetosti, zato moramo upoštevati primerno oddaljenost razpore od zunanjih robov. Enako velja za natezno vez, ki predstavlja razporeditev in količino armature po prerezu. Nadalje, vozlišče zahteva minimalno oddaljenost modelirane vezi od roba elementa.

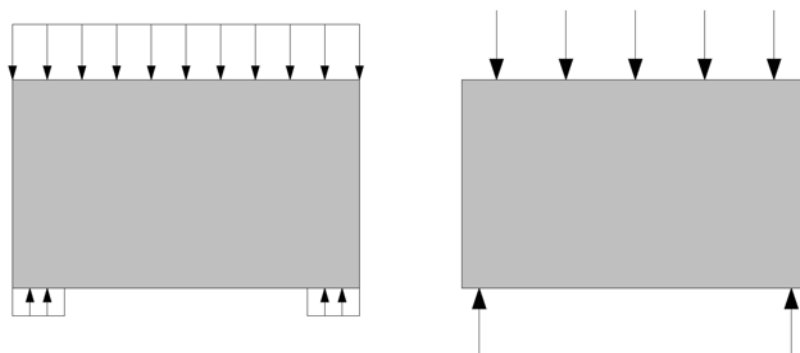
h) Velikokrat je lahko model z vezmi in razporami navidezno statično predoločen mehanizem, kar pa v konkretnem primeru ne pomeni, da ni stabilen. Slednje ne pomeni, da palični model ne zadošča stabilitetnim pogojem, če le element zagotovi zadostno duktilnost. Že manjši premiki četverkotnega paličnega panela aktivirajo diagonalne tlačne sile v betonu za stabilizacijo konstrukcije. Zato lahko tvorimo toliko dodatnih diagonalnih tlačnih razpor v paličnem modelu, dokler ne dobimo statično določenega sistema. Omenjene tlačne razpore imenujemo »zero« (nične) elemente paličja, ker ne prenašajo za dimenzioniranje merodajnih tlačnih obremenitev in hkrati ne vplivajo na potek sil po elementu in zagotavljajo primeren kinematični model.

- i) Modeli se oblikujejo za vsak posamezen obtežni primer posebej. Zato je potrebno oblikovat tak palični mehaničen, ki ustreza specifičnemu obtežnemu primeru. Na obliko paličnega modela vplivajo tudi ravnotežni pogoji v vozlišču po tem ko smo določili nekaj razpor in vezi.
- j) Statično določen palični sistem bo prenašal in obsegal različne obtežne primere, čeprav je samoumevno, da ne more zadostiti vsem v enaki meri; zaradi različnih potekov sil po prerezu.
- k) Za čim boljšo oceno realnega poteka sil po elementu je včasih boljše uporabiti dva ločena modela, pri čemer mora vsak od njiju vzpostaviti ravnotežje z določeno obremenitvijo. Pojavi se svoboda po razporeditvi obtežb na individualne modele, z usmeritvijo pozornosti na odpornost konstrukcije in omejevanje pojava razpok. Razporeditev napetosti po prerezu vpliva na določitev sil v paličju.
- l) Zapletene statično nedoločene sisteme je potrebno optimirati. Določiti moramo prereze paličja, saj se obtežba deli v razmerju togosti ter ga analizirati z upoštevanjem nelinearnega obnašanja materiala.

2.2.4 Rezultante sil na meji »D – območij«

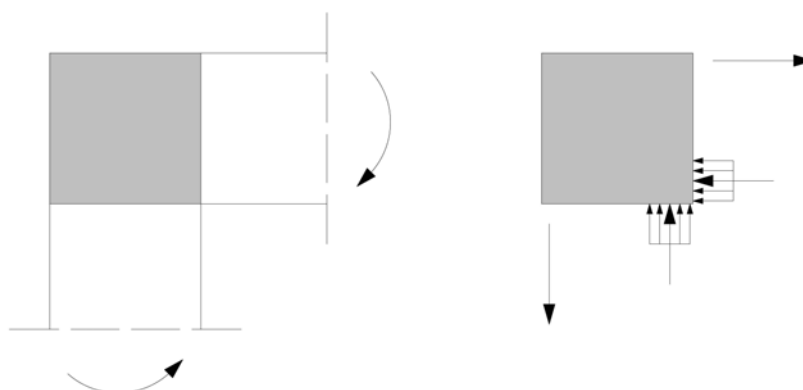
Ko smo definirali in izločili »D – območje«, določimo velikost, pozicijo in smer rezultirajočih sil, ki delujejo na njenih mejah. Delujoče sile povzročijo napetosti znotraj »D – območij«, ki jih prevzemamo z nateznimi vezmi in tlačnimi razporami, ki se uravnovežijo v vozlišču. Tak sistem imenujemo model z vezmi in razporami.

Spodaj sta prikazana dva primera definiranja »D – območja«, kjer je na sliki 18 stenast nosilec obremenjen z zvezno linijsko obtežbo in na sliki 19 momentni stik prečka-steber. V obeh primerih je priporočljivo poiskati tako nadomestno obtežbo, da bomo z njo zajeli podoben vpliv na element kot ga ima dejanska obtežba in hkrati formirali paličje z vezmi in razporami glede na potek napetosti po elementu.



Slika 21: Stenast nosilec z računsko nadomestno obtežbo na desni strani

Slika 18 ponazarja prevedbo zvezne linijske obtežbe na zgornjem robu stenastega nosilca, na nekaj točkovnih sil. Število nadomestnih točkovnih sil je tolikšno, da z njimi še vedno zajamemo podoben vpliv linijske obtežbe (za zgornji primer sta potrebni dve sili). Linijska obtežba na območju reakcij pa je nadomeščena z reakcijsko silo.



Slika 22: Nadomestna obtežba stika prečka - steber na desni strani

Slika 19 prikazuje momentno obremenitev stika prečka-steber. Nadomestno obtežbo momenta predstavlja dvojica sil, tako da ena od sil deluje tlačno in druga natezno na prerez.

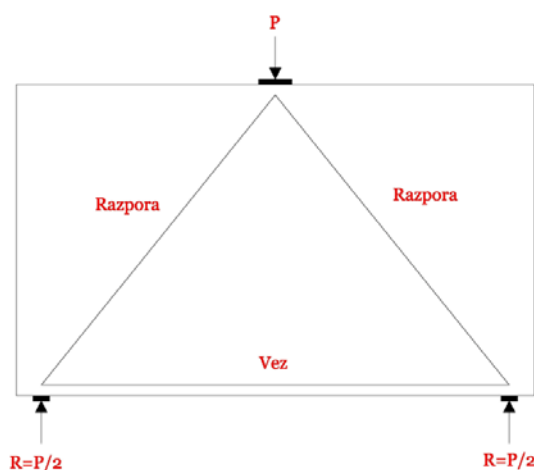
2.2.5 Različni modeli oblikovanja paličja prikazani na primeru stenastega nosilca

Nadomestno paličje, ki predstavlja model z vezmi in razporami leži znotraj »D – območja«. Izbira modela paličja je rezultat preudarnosti projektanta, zato ni vedno mogoča samo ena rešitev. Načrtovanje paličja je pogojeno z geometrijo v tem smislu, da poteka razpora obvezno

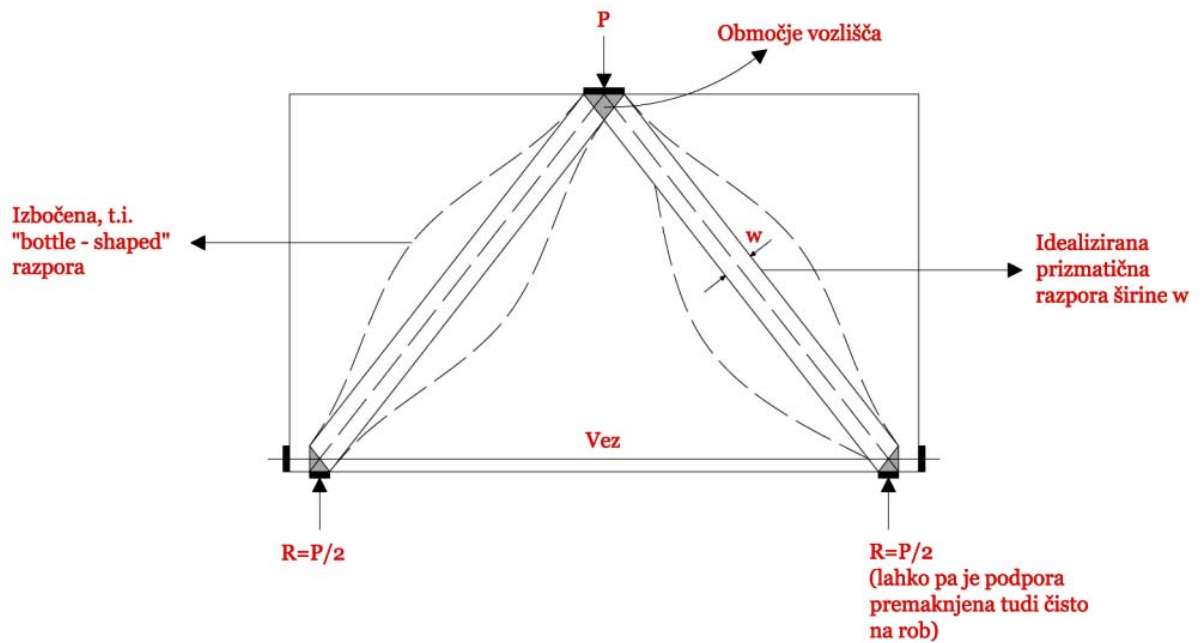
v smeri povezave med dvema vozliščema medtem, ko vez lahko seka razpore. Efektiven model prenosa sil je tisti, pri katerem je potrebna najmanjša energija za prenos obtežbe. Ker pa se ta prenaša v razmerju togosti, smer prehoda sil določa najbolj toga povezava do podpore, temelja ali prehoda v »B – območje«. Ker je razpora bolj toga od vezi, ima v splošnem, ni pa nujno, pri izbiri modela prednost tisti, ki ima manjše število vezi.

Pri majhnih napetostih, ko je beton v elastičnem območju in še nerazpokan, lahko »D – območja« analiziramo z metodo končnih elementov po teoriji linearne elastičnosti. Ko beton razpoka je linearen (elastičen) potek napetosti prekinjen, kar povzroči prerazporeditev notranjih sil. Pri takem pojavu, lahko zajamemo notranje sile/napetosti v območja diskontinuitete ali »D – območja« in tvorimo statično določen sistem nadomestnega paličja. Metoda nam omogoča prevedbo še tako kompleksnih problemov dimenzioniranja na zelo enostavne modele v smislu statike. Z modelom, natančneje vozlišči, zagotavljamo prenos obtežbe do podpor ali zagotavljamo prenos obtežbe v »B – območja«.

Na naslednjih dveh slikah so dimenzije prerezov razpor in vezi določene z debelino »b« in širino »w«. Debelina »b« je dimenzija pravokotna na paličje (npr. širina nosilca) in širina »w« pa je izmerjena na modelu paličja kot kaže slika 21.

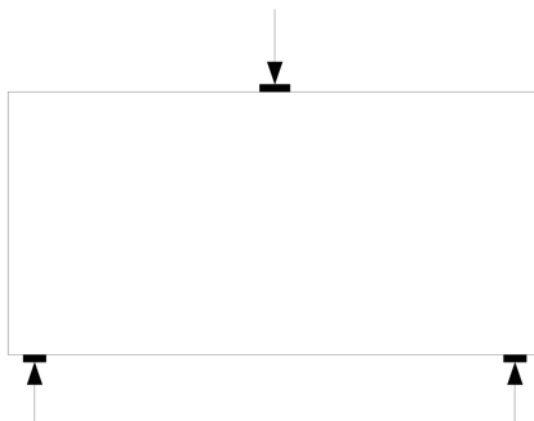


Slika 23: Prikaz mehanizma paličja

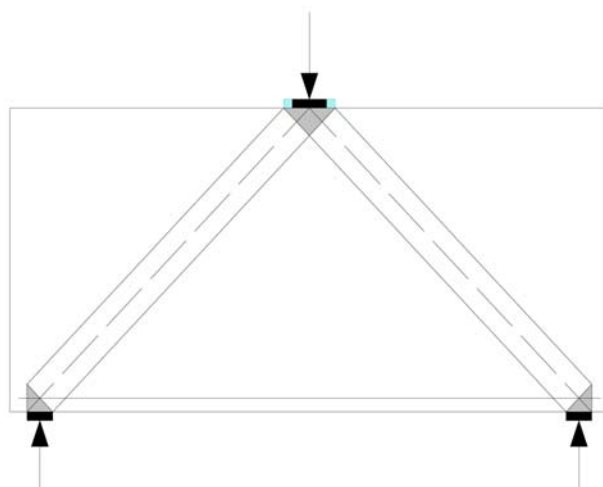


Slika 24: Prikaz oblike razpor

Na naslednjih štirih slikah (25-28) je prikazanih več možnih paličnih modelov za stenast nosilec, obremenjen s točkovno silo na sredini, podani pa so še ustrezni komentarji.



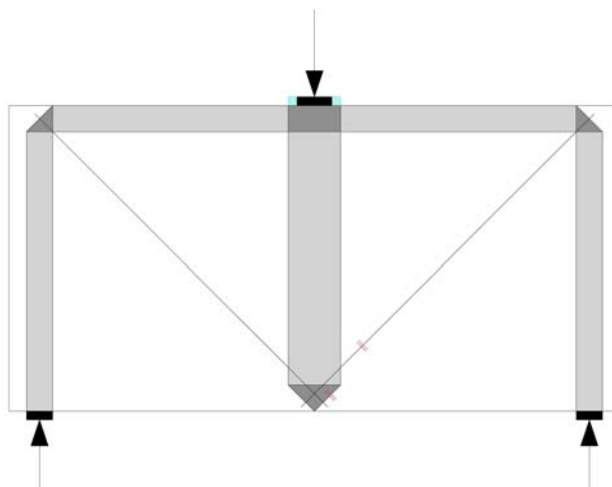
Slika 25: Obremenitev stenastega nosilca



Slika 26: Preferenčni model paličja

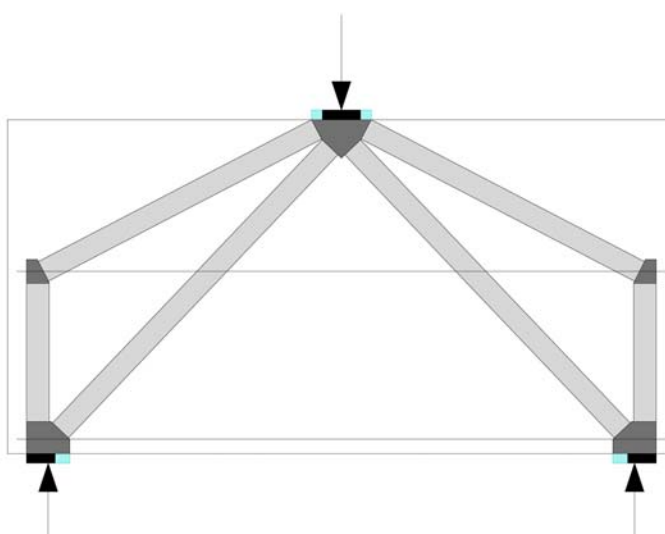
Slika 26 podaja najbolj učinkovit prenos obtežbe, kjer se obtežba preko razpor direktno prenaša v območje vozlišč nad podporo, ki sta povezana z natezno vezjo. Dimenzije razpor določa vozlišče, ki je na spodnjem robu odvisno od načina armiranja (sloji armaturnih palic), širine podpornega elementa in naklona stikovane diagonale (razpore) ter na zgornjem robu pa od širine ležišča in naklona razpore.

Širina razpore določena iz geometrije spodnjega vozlišča je širša, kot če bi razporo formirali iz vozlišča prijemališča točkovne sile. Razliko širine razpore predstavlja svetleje šrafiran del pri prijemališču točkovne sile, ki je projeciran na zgornji rob elementa. Seveda je v takšnem primeru merodajna kontrola razpore formirana iz zgornjega vozlišča medtem ko se nosilnost vozlišč kontrolira vsako zase. Razširitev ležišča ni potrebna, če je računsko nosilnost dokazana. In obratno, širina razpore določena na podlagi zgornjega vozlišča ne potrebuje tolikšne širine podpornega elementa. Sledi, da je potrebno kontrolirati vsako vozlišče in pripadajoče razpore zase tako, da se pomikamo od vozlišča do vozlišča, ker bomo le tako lahko zagotovili ustrezno nosilnost elementa oziroma konstrukcije.



Slika 27: Neučinkovit prenos obtežbe

Slika 27 kaže na neučinkovit prenos obtežbe, kjer ena razpora prenaša obtežbo navpično navzdol, podprto čez dve poševni natezni vezi, ki prenašata obtežbo preko tlačnih vertikal na robovih elementa navpično navzdol do podpor. V tem primeru je število vozlišč in vezi večje od prilagodljivosti paličja na prenos obtežbe – ni statično določen ampak predoločen sistem (pomeni nestabilen, saj je več enačb kakor neznan; $n_{ps} = 3 * 7 - 3 - 2 (3 - 1) * 4 = 21 - 19 = 2$). Sicer bi lahko za doseg statične določenosti in s tem stabilnosti sistema dodali dva horizontalna elementa na spodnji rob nosilca, vendar bi bili zaradi načina prenosa obtežbe, vrednosti enaki nič. Obremenitev je najbolje čim hitreje prenesti do podpor.



Slika 28: Neprimeren prenos obtežbe

Slika 28 prikazuje model z večimi vezmi in razporami in je kot tak neprimeren in zapleteno zasnovan model paličja z dodatno natezno vezjo, ki bo izkoriščena le v primeru, ko bo dosežena meja tečenja in morebiti presežena nosilnost oziroma porušitev spodnje vezi.

Za nekatere primere lahko teoretično obstaja tak palični mehanizem pri katerem bi bila porabljena najmanjša možna energija za prenos obtežbe, vendar pa je v praksi vsak model, ki zadosti ravnotežnim enačbam, ob raznosu obtežbe v razmerju togosti pri upoštevanju pravil tvorjenja nadomestnega paličja priznan kot primeren.

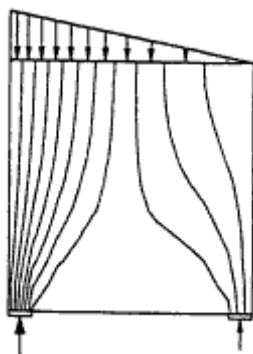
Z zgoraj omenjenim pristopom lahko projektant izbere mehanizem, s katerim učinkovito izkoristi natezne vezi in hkrati minimizira morebiten pojav prekomernih razpok. Z metodo končnih elementov in rešitvami, ki temeljijo na teoriji elastičnosti lahko poiščemo mesta maksimalnih napetosti. Glede na potek napetosti tvorimo mehanizem razpor na mestih največjih tlačnih napetosti in vezi na mestih največjih nateznih napetosti in s tem zagotovimo učinkovit prenos obtežbe.

2.2.6 Različne metode modeliranja paličnega mehanizma

- Metoda sledljivosti obtežbe
- Izdelava modela na podlagi elastične analize
- Tipični modeli

2.2.6.1 Modeliranje »D – območij« z metodo sledljivosti obtežbe

Metoda sledljivosti obtežbe temelji na podobnosti med tokom napetosti obtežbe in stacionarnim tokom tekočin. Pot obtežbe predstavlja linijo po kateri se sile (ali njihove vertikalne komponente) prenašajo skozi element od njihovega prijemališča do podpor.



Prikaz prenosa obtežbe do podpor

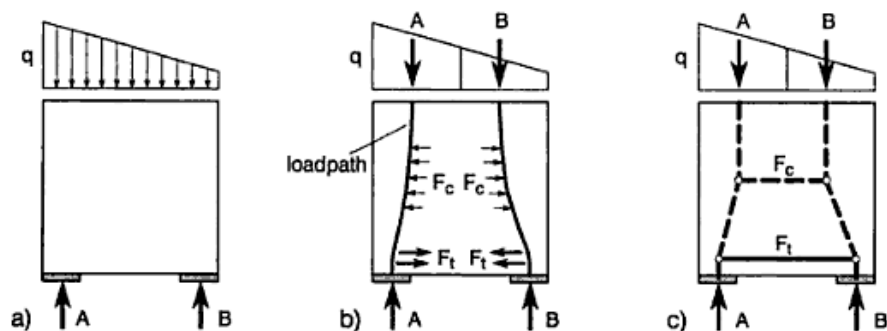
(Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str: 151.)

»D – območje« prikazano na spodnji sliki je obteženo s trapezno asimetrično linijsko obtežbo »q«, ki se prenaša iz »B – območja«. Obtežbi pripadajoč diagram napetosti je take oblike, da je diagramu pripadajoča obtežba na zgornjem delu elementa nasprotno enaka diagramu pripadajoči obtežbi na spodnjem delu elementa. Črta, ki povezuje rezultirajoči sili imenujemo pot obtežbe.

Obtežbene poti se ne sekajo in se začnejo ter končajo v težišču diagrama napetosti, kjer imajo smeri enake smerem obtežbe ali smerem reakcij. Obtežbena pot predstavlja najkrajšo možno razdaljo med prijemališčem sile in podpore.

Če upoštevamo, da se koncentrirane sile nagibajo k čimprejšnji porazdelitvi napetosti po elementu, nam potek napetosti pokaže pot po kateri se obtežba prenaša do podpor. Kjer je obtežbena pot ukrivljena, lahko pričakujemo koncentracije napetosti.

Na mestih, kjer obtežbena pot ni ukrivljena oziroma ima smer enako smeri delovanja obtežbe je njena vrednost vertikalne komponente nasprotno enaka vrednosti reakcije, zato je ravnotežju zadoščeno. Na mestih ukrivljene obtežbene poti pa se poleg vertikalne komponente obtežbe pojavijo tudi horizontalne odklonske sile, na spodnji sliki označene kot F_c in F_t . Horizontalne sile kot posledica poteka napetosti po prerezu, ki jo narekuje obtežbena pot, nadomestimo z razporo F_c in vezjo F_t . Tako je obtežbena pot nadomeščena s poligonom sil, katerega prelomne točke predstavljajo vozlišča delujočih sil.



Prikaz metode sledljivosti obtežbe

- geometrija in obtežba
- pot obtežbe, prikaz tlačnih in nateznih sil potrebnih za ravnotežje
- model z vezmi in razporami

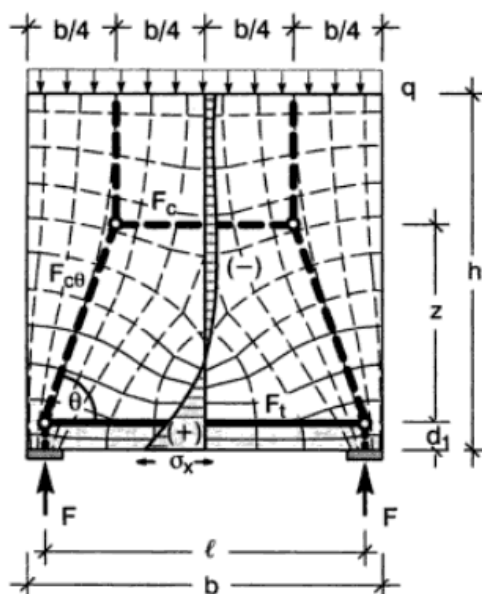
(Vir: Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str. 151.)

Tako oblikovan nosilni mehanizem predstavlja obtežno pot od mesta delovanja obremenitve do podpor in način prenosa obtežbe po konstrukciji. Vozlišča elementov niso pravi členki ampak območja, kjer notranje sile spremenijo smer ali pa predstavljajo sidrišča.

2.2.6.2 Izdelava modela na podlagi linearno elastične analize

Na podlagi linearno elastične analize s pomočjo računalniških programov prikažemo potek napetosti po elementu. Glede na potek napetosti po prerezu tvorimo mehanizem prenosa tlačnih obremenitev preko razpor in nateznih preko vezi. Navadno je prikaz glavnih napetosti zadosten za orientacijo glavnih razpor in v nadaljevanju se model formira glede na pravila tvorjenja mehanizma.

Razporeditev napetosti po prerezu nam omogoča locirati pomembne tlačne razpore, kot je F_{c0} viden na spodnji sliki. Poleg tega, bo majhno povečanje notranje ročice »z« prikazalo obnašanje modela bolj realistično in s tem ekonomično, pomeni da določitev točne lege rezultante tlačnega dela diagrama napetosti ni zahtevana oziroma lahko odstopa.



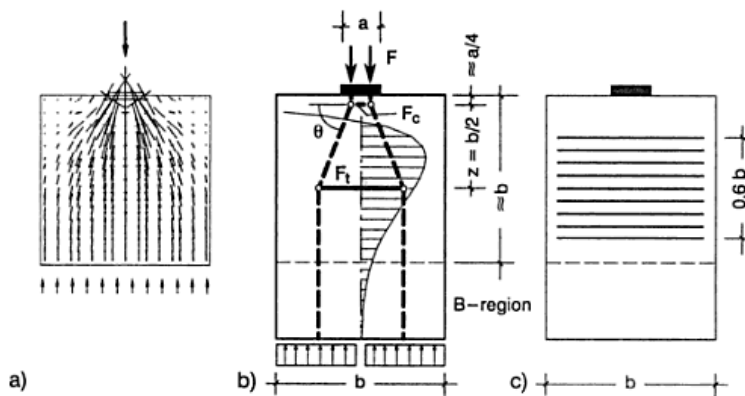
Orientacija modela z vezmi in razporami stenastega nosilca po linearno elastični analizi, prikazuje ujemanje poteka trajektorij napetosti z modelom.

(Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str. 153.)

2.2.6.3 Tipični modeli

Vsakdo, ki je le za trenutek poskušal formirati paličje z vezmi in razporami, lahko opazi določene ponavljajoče primere območij diskontinuitet. Med najbolj pogosta »D – območja« lahko uvrstimo kratke konzole, nosilce z reduciranim ležiščem, obremenitve s točkovno silo, Vierenndel nosilce, preprostejša detajliranja in nekatere načine temeljenja. Razlog za ta pojav je redko število diskontinuitet z različnimi vzorci trajektorij napetosti. Ponavljajoči primeri so prilagodljivi za spreminjanje proporcionalnosti geometrije v odvisnosti od geometrije elementa. To je upoštevanja vredna, poučna in praktična informacija za razvoj paličnega modela, ki bo prikazan na nekaterih primerih.

Spodnja slika prikazuje tipično razporeditev napetosti, ki je velikokrat prisotna pod vplivom točkovnih sil na ploščo, visok nosilec ali steber. Sili razdelimo tako, da na vsako stran od mesta obremenitve obtežbe deluje točkovna sila, ki povzroči prečno natezno napetost, ki je običajno imenovana kot cepilna.

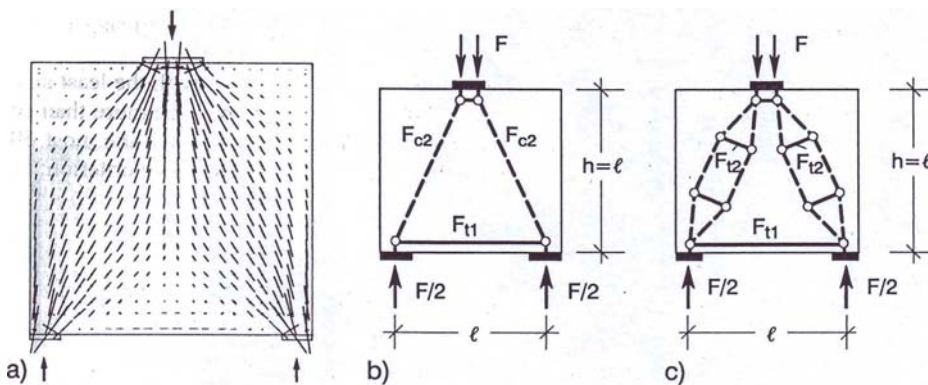


Vpliv točkovne sile na razporeditev napetosti

- potek napetosti po elementu
- model z vezmi in razporami
- prikaz ustreznega armiranja za prevzem natezne sile

(Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str: 154.)

Naslednja slika prikazuje poleg formiranja paličnega modela za prenos točkovne sile do podpor, tudi modeliranje posamezne razpore z metodo z vezmi in razporami, kjer kontroliramo prečno natezno silo.

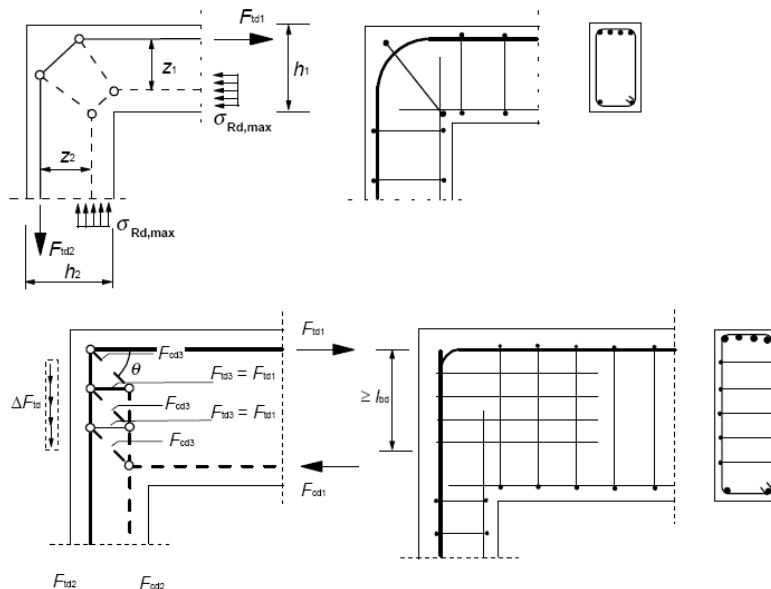


Vpliv točkovne sile na razporeditev napetosti pri stenastem nosilcu

- potek napetosti po prerezu
- model z vezmi in razporami
- stekleničasta oblika razpor

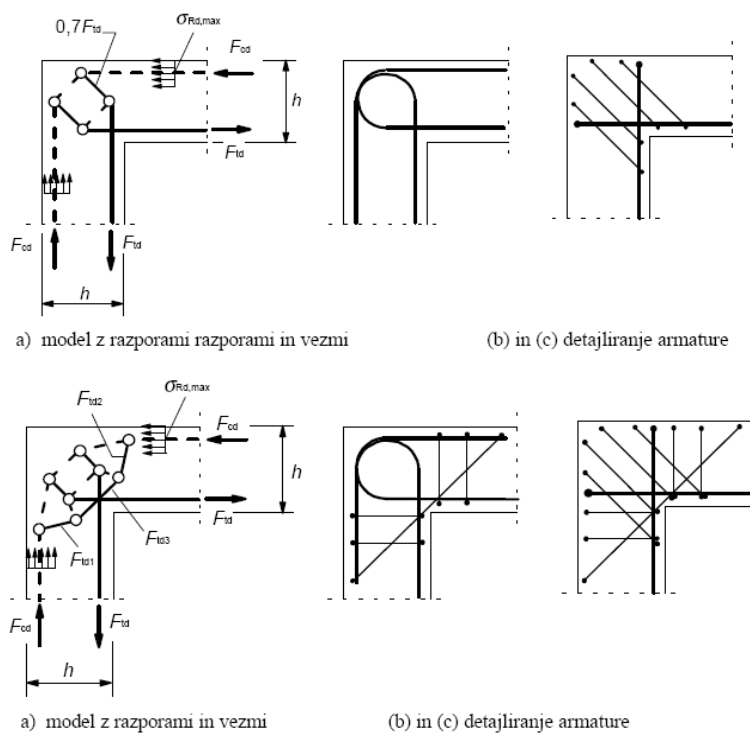
(Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str: 155.)

Prikazanih je še nekaj primerov ponavljajočih, tipičnih mehanizmov, ki so najpogostejši pri stiku nosilca s stebrom, pri nosilcu z reduciranim ležiščem in pri kratkih konzolah.



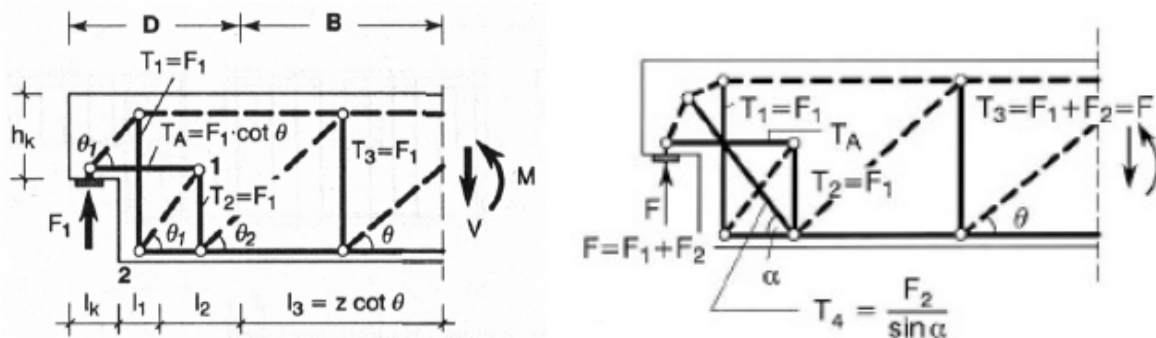
Tipični prikaz modela z vezmi in razporami, ki prikazuje stika nosilca in stebra za različne višine prereza nosilca, pri momentu, ki zapira vogal

(Vir: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: str.: 229)



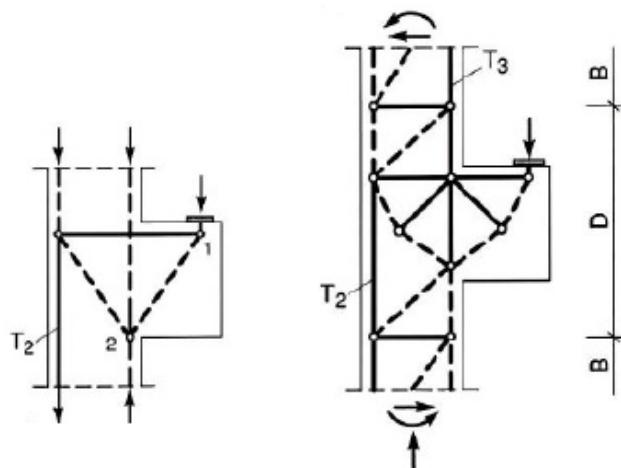
Tipični prikaz modela z vezmi in razporami, ki prikazuje stik nosilca in stebra za različne višine prereza nosilca, pri momentu, ki odpira vogal

(Vir: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: str.: 230)



Primeri paličja za nosilec z reduciranim ležiščem

(Vir: Beton Kalender 1993: Taschenbuch für Beton-Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer, Teil II. Berlin, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften: str.: 418)



Primeri paličja pri kratkih konzolah

(Vir: Beton Kalender 1993: Taschenbuch für Beton-Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer, Teil II. Berlin, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften: str.: 437)

2.2.7 Točnost in optimizacija modela z vezmi in razporami

Postopki formiranja modela ne vodijo do enolične rešitve teh je vedno lahko več za enak primer. Vzroki zato so v naravnih značilnostih in karakteristikah betona samega in načina odziva prenašanja obtežbe, ki v veliki meri vpliva na pravilno postavitev armature v prerezu. To dejstvo lahko izkoristimo za doseganje čim večje izkoriščenosti prereza glede na pričakovane obremenitve v smislu geometrije elementa, uporabe in izkoriščenosti materiala. Naslednji vzrok se nahaja v metodi, ki predstavlja le dober približek dejanskemu obnašanju konstrukcije. Upravičeno je pričakovati, da omenjena metoda uporabljena pri zahtevnejših

primerih ne more biti tako točna kot metoda, ki je razvita tako da ustreza točno določenim specifičnim primerom in je kalibrirana s pomočjo rezultatov iz obsežnih eksperimentalnih preizkusov. Vendar bo tudi bolj groba metoda dimenzioniranja konsistentno zajela različne načine prenosa obtežbe in bo brez dvoma zagotovila ustrezno varnost dimenzioniranja »D – območij«. Čeprav se na prvi pogled morda ne zdi pomembno, nam razvoj modela razkrije šibka območja v elementu in posledično pripomore k izboljšanju konstruiranja detajla, naprimer dodajanja ojačilne armature na mesta, ki bi bila sicer prezrta.

Namen vsake konstrukcije je čim bolj učinkovito prenašati obremenitve ob čim manjših deformacijah. Ker se ojačilna armatura veliko bolj deformira v nategu, od betona v tlaku, pomeni, da je razpora načeloma bolj toga od vezi, se model s krajšimi in manjšim številom armaturnih palic smatra za primernejšega. To lahko zapišemo s poenostavljenim izrazom, da naj bo vsota produktov pripadajočih sil in vezi čim manjša:

$$\sum F_i l_i = \min. \quad (2.1)$$

V primerih, kjer razpore prenašajo velike tlačne obremenitve po vsej dolžini (ne samo v vozliščih) so le-te podvržene velikim deformacijam podobnim kot armatura in jih je potrebno optimizirati po naslednji formuli:

$$\sum F_i l_i \varepsilon_{mi} = \min. \quad (2.2)$$

kjer so: F_i = sila v i-ti razpori ali vezi,

l_i = dolžina i-tega element in

ε_{mi} = specifična deformacija i-tega elementa.

Tak pristop ima za rezultat majhne deformacije armature v redko razpokanem ali nerazpokanem betonskem prerezu. V zgornjih dveh enačbah (2.1 in 2.2) je nekaj podobnosti s principom o minimalni deformacijski energiji.

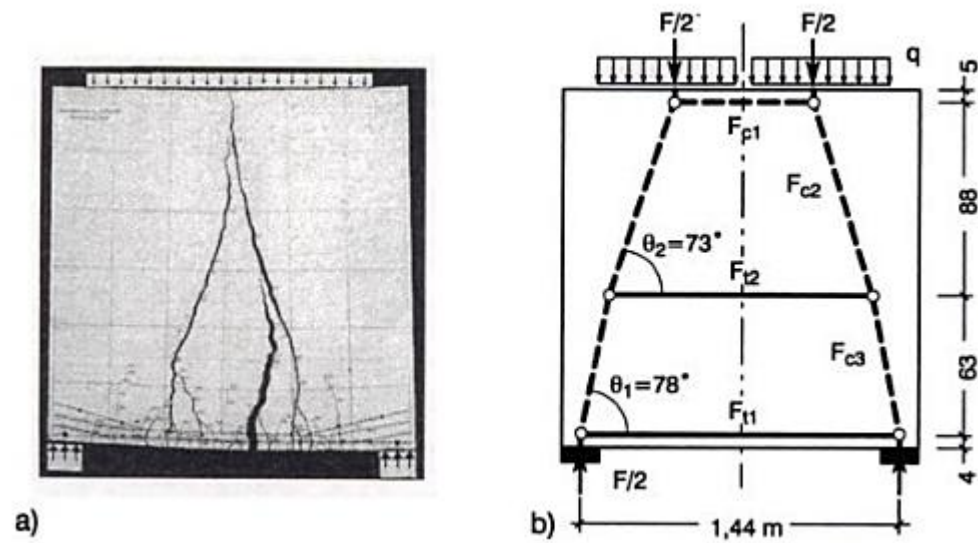
2.2.8 Realna ocena nosilnosti modela z vezmi in razporami

Model formiran glede na rezultate iz linearne elastične analize ob upoštevanju pravil tvorjenja paličja, bo pri doseženi računski obremenitvi oblikoval predpostavljen palični mehanizem. S

povečevanjem obtežbe do porušnih vrednosti, se pri običajnih stenastih nosilcih pomika zgornji pas paličja proti zgornjemu robu (s tem se povečujemo naklon razpore). Če je kot razpore večji od kota pri modelu po elastični analizi, smo bližje plastični analizi in s tem posledično razpokanosti prereza v mejnem stanju uporabnost. Z večanjem kota naklona razpore se zmanjšuje natezna sila v polju in s tem potrebna kvadratura armature.

CEB-FIP opisuje, da so eksperimentalne preiskave pokazale, da z modelom, ki temelji na linearno elastični analizi dosežemo 40% dejanske porušne obtežbe. Na podlagi pojava razpok in rotacijske kapacitete je priporočljivo, da se ne oddaljimo preveč od elastičnega obnašanja. Model z vezmi in razporami, prikazan na strani 37, je prilagojen na 94% porušne obtežbe, pri tem je dodana vez skoraj na polovici višine.

Vprašamo se, zakaj ne formiramo paličja glede na plastično analizo, saj lahko uporabimo enako količino armature kot pri elastični analizi in računsko prenesemo 2x večjo obtežbo oziroma pri enaki obremenitvi potrebujemo za polovico manj vgrajene armature. Formiranje mehanizma glede na plastično analizo je lahko zelo nevarno, to lahko vodi v prezgodnjo porušitev dela ali celote, pri čemer računski obremenitev še sploh ni dosežena. Zaradi znatne razpokanosti elementa že v mejnem stanju uporabnosti je potrebno dodati vezi za omejevanje razpok (dodana zgornja vez na sliki, na strani 37). Lahko se zgodi, da se bo zgornja vez na polovici višine aktivirala šele, ko se bo spodnja popolnoma plastificirala oziroma pretrgala. Pri AB elementih lahko samo pri enostavnih primerih dovolj dobro predvidimo pojav in lokacijo prve razpoke, njeno širjenje in končno stabilizacijo ter prerazporeditev sil po prerezu po nastanku prve razpoke ($\sigma > f_{ctm}$). Zato že pri dimenzioniranju po elastični analizi tlake prevzamemo z betonom in natege z armaturo in s tem deloma kontroliramo prehod iz elastičnega v plastično obnašanje materiala, kjer so tudi količine povezane z dimenzioniranjem, določene na podlagi plastičnih karakteristik materiala. Mehanizem tvorjen direktno iz plastične analize lahko privede do velikih razpok v mejnem stanju uporabnosti in s tem vpliva na spremembo mehanizma paličja. Če je model z vezmi in razporami orientiran smiselno glede na v elastično območje obnašanja materiala, so za prerazporeditev notranjih sil potrebne plastične deformacije, ki jih material lažje prenese.



Preizkušeni stenasti nosilec

- a) potek razpok po elementu pred poružitvijo
- b) pripadajoč model z vezmi in razporami

(Vir: Structural Concrete, Textbook on behaviour, Design and performance, Updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990, Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Maintenance, Assessment and Repair – Practical aspects. 1999. str: 157.)

3 OSNOVNI ELEMENTI PALIČNEGA MEHANIZMA

3.1 Vezi

Vež je natezni element. Sestoji iz armature, ki je lahko tudi prednapeta in pripadajočega koncentričnega del betona v okolici, ki obdaja osi natezne vezi, s svojo natezno trdnostjo betona. Potrebno količino armiranja za mejno stanje nosilnosti dobimo z upoštevanjem projektne natezne sile F_{td} in projektno mejo tečenja jekla f_{yd} . Poudariti je potrebno, da težišče in smer armature sovpadata z osjo vezi oziroma sile v modelu.

Beton, ki obdaja vež določa območje vezi (sprijemnost betona in armature) in cono v kateri lahko vež sidramo. *Pri dimenzioniranju vezi v mejnem stanju nosilnosti na razpokanem območju, natezno silo pripišemo v celoti armaturi.* Kljub temu, da natezno trdnost betona v nategu zanemarimo, pomaga pri zmanjševanju deformacij v vezi pod vplivom zunanje obremenitve tako v mejnem stanju uporabnosti kot tudi mejnem stanju nosilnosti.

Če je določena dolžina razpokanega elementa upoštevana, potem se na tem območju nahajajo tako razpokane kot tudi nerazpokane cone med razpokami, kjer odpornost betona ni zanemarljiva. Natezne napetosti prevzete na račun natezne trdnosti betona prispevajo k togosti natezne vezi, pojav se imenuje »tension – stiffening effect«. Le-ta je izrazitejši pred tečenjem armature in ima večji vpliv na deformiranje konstrukcije, bistveno manjši pa je ta vpliv, ko armatura steče. Zato ima ta pojav večji vpliv pri močnem armiranju vezi, ker se armatura kasneje (pomeni, da se plastificira vendar pri večji sili; $N_{pl} = A_s \cdot f_y$) plastificira kot pri manj armiranih elementih. Modeliranje obnašanja vezi predpisuje standard SIST EN 1992-1-1 z diagramom sovisnosti med napetostjo in deformacijo.

Za boljšo oziroma enakomernejšo razporeditev razpok moramo armaturo razporediti po vsej širini elementa v natezni coni, ki je v modelu predstavljena z vežjo. Če so v modelu elementi primerno orientirani glede na elastično analizo, se potrebna armatura glede kontrole razpok v večini primerov ujema z računsko potrebno armaturo za mejno stanje nosilnosti in minimalno potrebno površinsko (na licu elementa) armaturo v stenastih nosilcih ali ostalih

elementih po zahtevah standardov. V primeru dvoma glede pojava prevelike širine razpok se kontrolira širino razpoke najbolj obremenjene natezne vezi. Za kontrolo mejnega stanja uporabnosti razpok so rezultati napetosti iz linearne analize po MKE celotnega elementa veliko bolj primerni kot rezultati določeni na paličnem modelu z vezmi in razporami.

Pozornost glede širine razpok, je pomembna, ko se razpoka začne v vogalu ali v okolici točkovne obtežbe in seka armaturo (pri nosilcih stremena, pri stenastih nosilcih Q – mreža ob površini) pod ostrim kotom. Zato je priporočljivo, da izberemo tak model paličja, kjer je lega armature na razpoko čim bližje 90° ali pa dodamo diagonalno armaturo, ki jo v modelu zanemarimo zaradi poenostavitve.

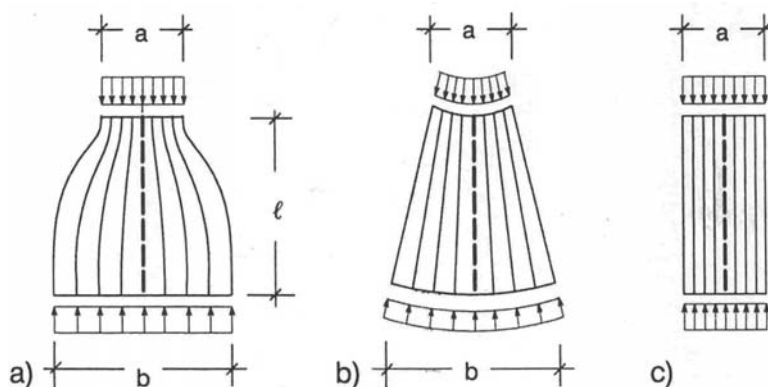
3.2 Tlačne razpore

3.2.1 Splošno

Nosilnost razpore je odvisna od tlačne trdnosti betona. To je notranji tlačni element, ki je lahko sestavljen iz enega elementa, paralelnih elementov (razporejenih po debelini prereza) ali pa je v obliki pahljače »fan-shaped«, pomeni, da se več razpor pod različnimi nakloni stika v eno točko (vozlišče). V smeri dolžine je oblika razpore pravokotna, pomeni prizmatične oblike, lahko pa je tudi izbočena, v obliki steklenice (»bottle – shaped«). Pri dimenzioniranju se razporo privzame kot idealno prizmatično telo med sosednjima vozliščema. Dimenzije prereza razpore določa območje kontaktnih napetosti med razporo in vozliščem.

Torej lahko oblike razpor razdelimo v tri skupine:

- a) razpora v obliki steklenice (»bottle shaped strut«)
- b) razpora v obliki pahljače (»fan-shaped strut«)
- c) prizmatična razpora (»prismatic strut«)

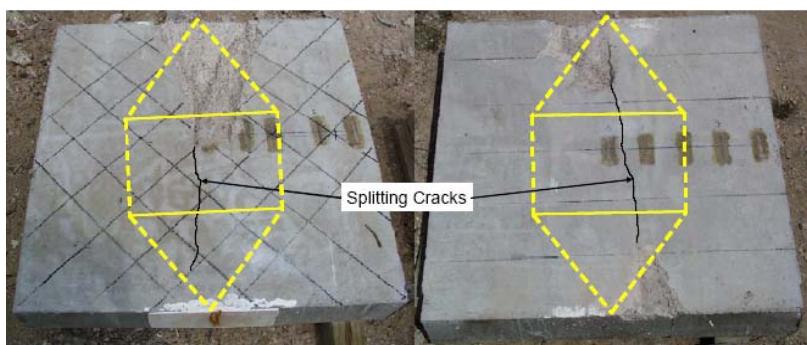


Prikaz različnih oblik razpor

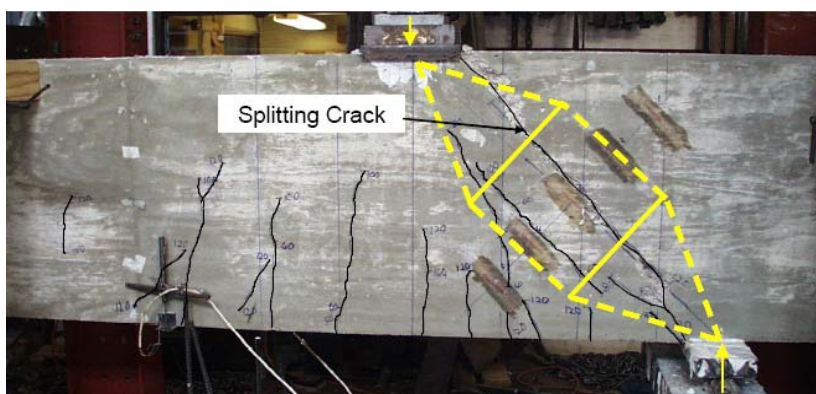
(Vir: Beton Kalender 1993: Taschenbuch für Beton-Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer, Teil II. Berlin, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften: str.: 375)

3.2.2 Opis oblik razpor

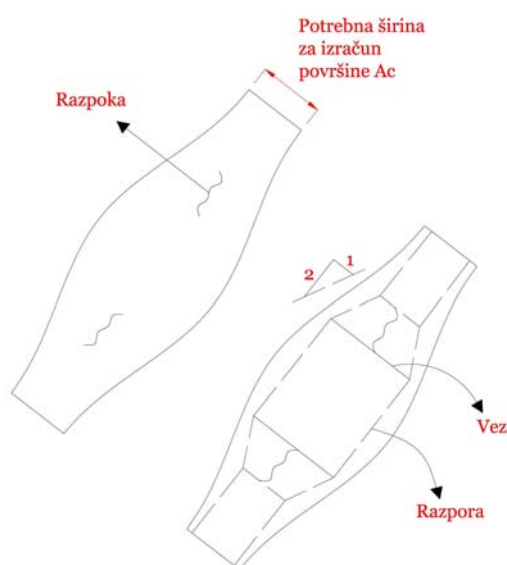
Največkrat se v »D – območjih« formirajo »bottle shaped« oblikovane razpore, kjer se vrat te stekleničaste oblike od mesta delovanja točkovne sile, ki lahko predstavlja obtežbo ali podporni element, razširi v nasprotnih smereh v smeri dolžine razpore ter se lahko ponovno zoži na mestu točkovne sile. Če se razpora na nasprotnem koncu ni zožena, kot prikazuje zgornja slika na primeru a), pomeni da je element podprt po celotni širini razpore ali pa je oblika posledica vpliva linijske obtežbe. V primeru tako oblikovanega poteka napetosti po elementu, se pravokotno na silo v razpori pojavi prečna natezna (cepilna) sila, ki jo določimo v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1. Vpliv omenjene natezne sile povzroči pojav razpok, ki zmanjšujejo nosilnost tlačnega elementa in katerih smer je pravokotna na smer delovanja te sile oziroma so razpoke vzporedne smeri sile v razpori. Če ima razpora na obeh straneh obliko vratu steklenice se pravokotna natezna sila pojavi dvakrat. Območje cepilnih napetosti, ki ga pokrivamo z armiranjem je lahko enako dolžini razpore med obema vratovoma ali pa se armatura vgrajuje samo na mestih vratov, kjer so prisotne največje koncentracije napetosti. Napetosti v razpori take oblike kontroliramo na prečni prerez, ki ga določa vozlišče, pomeni da pri kontroli napetosti v razpori privzamemo prizmatično obliko. Omenjena poenostavitev zoži prerez razpore, kar vodi v vzdrževanje večjih napetosti kot sicer, ki pa so nasploh enake tistim napetostim v razpori tik ob vozlišču. Določitev potrebne armature zaradi delovanja prečne natezne sile, kontrolira velikost razpok in jo lahko opišemo z modelom z vezmi in razporami znotraj razpore, kot predstavljata spodnji sliki in slika 29.



Prikaz razpoke v smeri razpore kot posledica prečnih nategov zaradi velikih tlakov
(Vir: Project Summary Report 0-4371-S, Project 0-4371: Examination of the AASHTO LRFD Strut-and-Tie Specifications, Authors: M. D. Brown and O. Bayrak, August 2005, str.:2)



Prikaz razpoke v smeri razpore kot posledica prečnih nategov zaradi velikih tlakov
(Vir: Project Summary Report 0-4371-S, Project 0-4371: Examination of the AASHTO LRFD Strut-and-Tie Specifications, Authors: M. D. Brown and O. Bayrak, August 2005, str.:2)



Slika 29: Razpoke v razpori zaradi prečne natezne sile

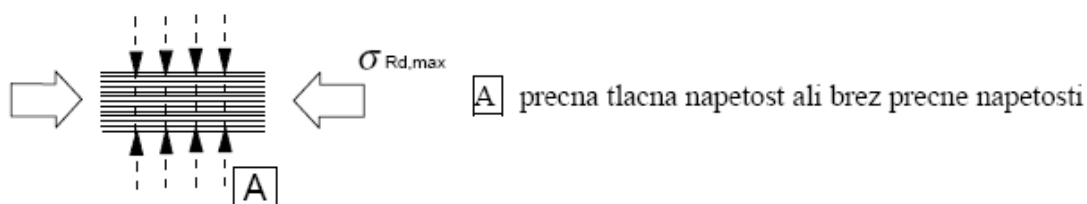
»Fan-shaped«, pahljačasta oblika razpore omogoča boljši približek realnemu stanju, kjer več razpor deluje na volišče, ki jih po potrebi združujemo v rezultante in so pogosto uporabljene v teoriji plastičnosti. Prečna armatura za omejevanje razpok je potrebna tudi v tem primeru, saj so dejanske trajektorije ukrivljene.

Prizmatična razpora je tipična v »B – območjih« in jo dimenzioniramo kot steber (uklonsko nevaren element) ali pa kot tlačno diagonalo upogibnih nosilcev. Z izjemo prizmatičnega napetostnega stanja se ostala napetostna stanja zelo redko kontrolirajo v praksi. Razlog za to je, da se tlačna trdnost betona doseže v območjih koncentriranih vozlišč, ki mejijo na »bottle neck« obliko in so preverjena že na nivoju vozlišč. Nadalje so napetostna polja v »B – območjih« so prekontrolirana s standardnimi metodami za obremenitev z upogibnim momentom, osno silo in prečno silo. Te standardne metode lahko apliciramo tudi v praksi za pogoste primere »D – območij« za nosilce, okvirje in ostale linijske elemente.

3.2.3 Kontrola razpor po standardu

Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij-Del 1-1: splošna pravila in pravila za stavbe

1. Največja projektno napetost betonske razpore $\sigma_{Rd,max}$ v območju s tlačnimi prečnimi napetostmi ali brez prečnih napetosti je določena z izrazom (3.1):



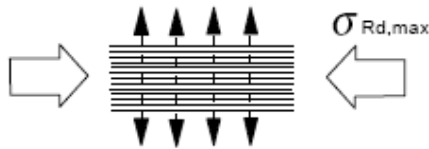
Tlačna razpora s prečnimi tlaki ali brez njih

(Vir: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: str.: 113)

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (3.1)$$

V območjih s tlačnimi napetostmi v večih oseh je lahko primerno privzeti višjo projektno trdnost.

2. V razpokanih tlačnih področjih je potrebno največjo projektno napetost betonskih razpor zmanjšati, če ne uporabimo bolj strogega ukrepa jo lahko izračunamo z izrazom (3.2):



Tlačna razpora s prečnimi nategi

(Vir: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: str.: 114)

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 * v' * f_{cd} \quad \text{in} \quad v' = 1 - f_{ck} [MPa] / 250 \quad (3.2)$$

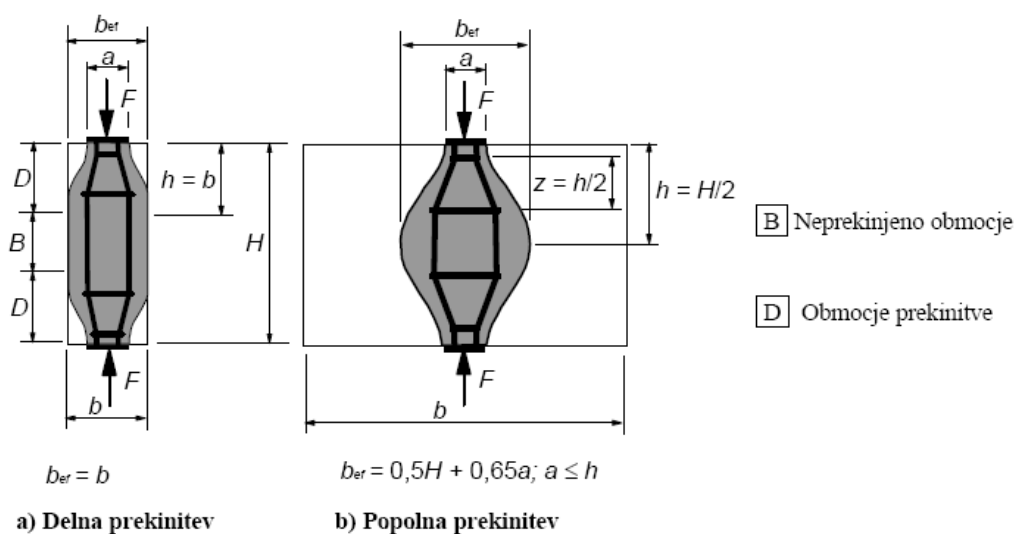
3. Določitev velikosti prečne natezne sile v razpori, glede na trajektorije napetosti:

- a) za območja z delno prekinitvijo ($b \leq H/2$), s spodnje slike:

$$T = \frac{1}{4} * \frac{b-a}{b} * F \quad (3.3)$$

- b) za območja s popolno prekinitvijo ($b > H/2$), s spodnje slike:

$$T = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 \frac{a}{h} \right) * F \quad (3.4)$$



Parametri za določitev prečne natezne sile v tlačnem polju z razmazano armaturo

(Vir: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: str.: 115f)

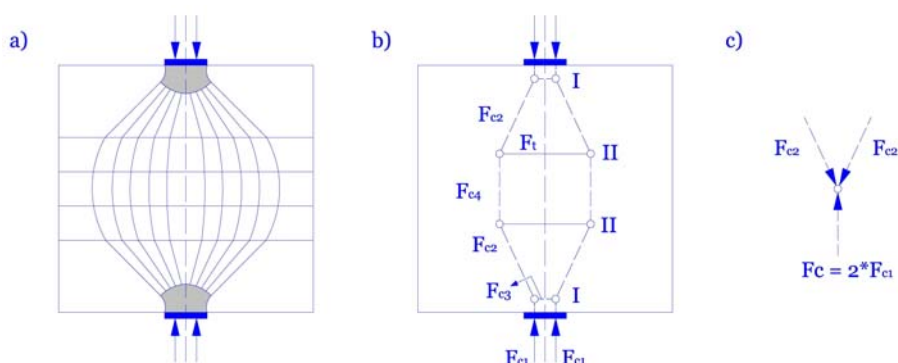
3.3 Vozlišča

3.3.1 Predstavitev

Model z vezmi in razporami je sestavljen iz osno obremenjenih elementov, ki se stikujejo v vozliščih. Tak sistem imenujemo paličje. Območje vozlišča predstavlja beton, v katerem se sile različnih predznakov in pod različnimi nakloni stikajo in uravnovežijo. Pri analizi ga smatramo kot posebno območje, ki ga lahko razdelimo na manjša podobmočja, s katerimi zagotavljamo ravnotežje sil v celotnem vozlišču. V vozliščih delujejo naslednje sile:

- tlačne sile betonskih razpor,
- natezne sile v ojačilni armaturi, ki je sidrana ali ukrivljena v ali za območjem vozlišča in
- zunanje sile, kot so reakcije podpor in obtežbe v obliki koncentriranih sil.

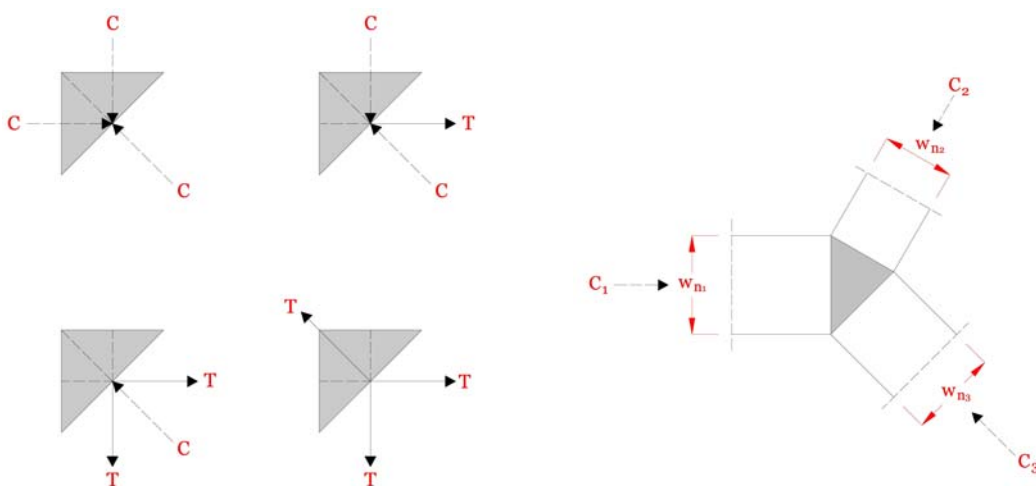
V vozliščih se pojavijo velike koncentracije napetosti, tlačne zaradi razpor in natezne zaradi sidranja vezi. Te napetosti se nahajajo pri tako imenovanih vratovih stekleničasto oblikovanih razpor, ki so zelo pogoste pri dimenzioniranju elementov. Slabo dimenzioniranje vozlišč je pogost vzrok doseganja premajhne nosilnosti glede na dejanske obremenitve. Na podlagi koncentracij napetosti lahko klasificiramo posamezna vozlišča na območjih podpor, na območjih vnosa koncentriranih sil in območju sidrišč s podložno pločevino, kot tudi na območju sidranja armature. Poleg omenjenih vozlišč, se vozlišča nahajajo tudi pri spremembi smeri sile, ki se naprimer odkloni od svoje začrtane poti kot prikazuje slika 30. Slika 30 ponazarja stekleničasto oblikovano razporo med dvema vozliščema, ki jo lahko opišemo z metodo z vezmi in razporami. Zaradi prečnih nategov v razpori se tlačna sila odkloni in spremembo smeri sile v razpori prikazujeta vozlišči I in II na sliki 30b. V primeru zagotavljanja zadostne dolžine sidranja vezi, ki prevzemajo prečne natege, taka vozlišča niso kritična.



Slika 30: Prikaz vozlišč (I in II) pod koncentrirano obremenitvijo kot posledica deformabilnosti razpore

- napetostno polje in prečna armatura
- model z vezmi in razporami
- prikaz poenostavitve tlačnega vozlišča (I)

Za zagotavljanje ravnotežja so v splošnem potrebne vsaj tri sile, ki delujejo na vozlišče. Slika 31 ponazarja možne medsebojne kombinacije pri delovanju treh sil na vozlišče. Na sliki 31 oznaka C pomeni tlačno silo (compression force) in oznaka T natezno silo (tension force):



Slika 31: Najmanj tri delujoče sile potrebne za klasifikacijo vozlišča

Slika 32: Geometrija vozlišča

- tlačna sila (C) – tlačna sila (C) – tlačna sila (C),
- tlačna sila (C) – tlačna sila (C) – natezna sila (T),
- natezna sila (T) – natezna sila (T) – tlačna sila (C); v tej kombinaciji je vozlišče tlačno, ker se natezna sila smatra kot, da potuje skozi vozlišče, kjer spremeni predznak oziroma se vez sidra.
- natezna sila (T) – natezna sila (T) – natezna sila (T).

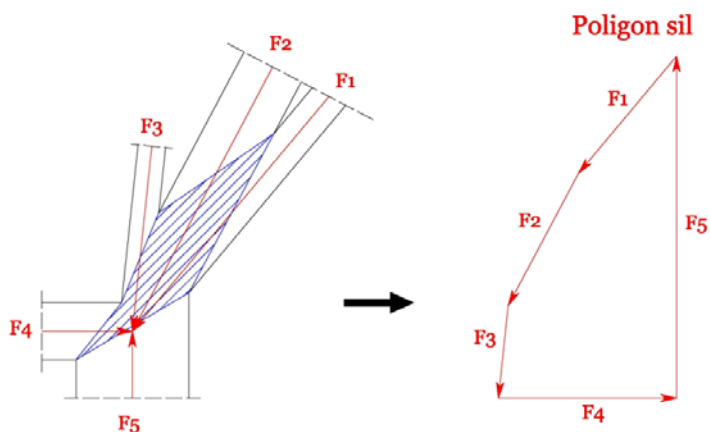
Območja vozlišča – vplivne širine (w_{n1} , w_{n2} , w_{n3} ; slika 32) so proporcionalne velikostim obremenitev. Velikokrat se zgodi, da je dimenzija na enem delu vozlišča določena z dimenzijami prečnega prereza stebra ali s širino prečno usmerjenega nosilca, stene ali zidu, tako da je izpolnjena kontrola kontaktnih napetosti bodisi s zadostno površino prečnega prereza elementa bodisi z dodatno tlačno armaturo. Dimenzije na ostalih delih vozlišča pa so določene, tako da prevzamejo ostale obremenitve katerim je vozlišče izpostavljeno. S tem, ko izberemo dimenzije vozlišča tako, da so proporcionalne obtežbi zagotovimo ravnotežje v vozlišču.

Vozlišča se kontrolira oziroma dimenzionira v ravnini, kjer sta dve dimenziji veliko večji od tretje (ravninsko napetostno stanje). Napetosti v tretji smeri kontroliramo izjemoma oziroma pri detajlnih analizah. Znotraj vozlišča so napetosti prisotne v vseh treh smereh.

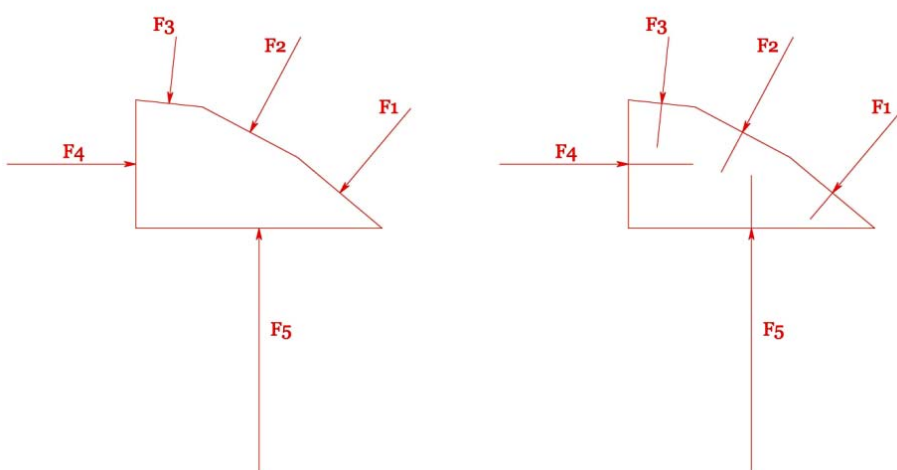
3.3.2 Schlaichovo vozlišče

Vozlišča, ki uravnotežijo več kot tri nanj delujoče sile, imenujemo kompleksna Schlaichova vozlišča. Značilnost teh vozlišč se kaže v tem, da delujoče sile na vozlišču nimajo stičišča v skupni točki, dokler vozlišča tako ne oblikujemo.

Vozlišče oblikujemo tako, da na začetku povežemo vsa oglišča, ki predstavljajo stičišča zunanjih mej razpor. Dobljeni lik predstavlja šrafirano območje, ki ne more biti vozlišče, saj ne moremo vzpostaviti ravnotežja v vozlišču. Delujoče sile na vozlišče povežemo v poligon sil ter poligon sil zasučemo, za ta primer, sournu za 90° . Tako zasukan poligon sil nam nakazuje obliko vozlišča, na katerega na vsako stranico poligonalno oblikovanega vozlišča deluje sila, ki je enako velika kot stranica poligona na katerega deluje v pravokotni smeri. Tako usmerjene sile se ne stikujejo v isti točki. Omenjeno ponazarjata sliki 33 in 34.

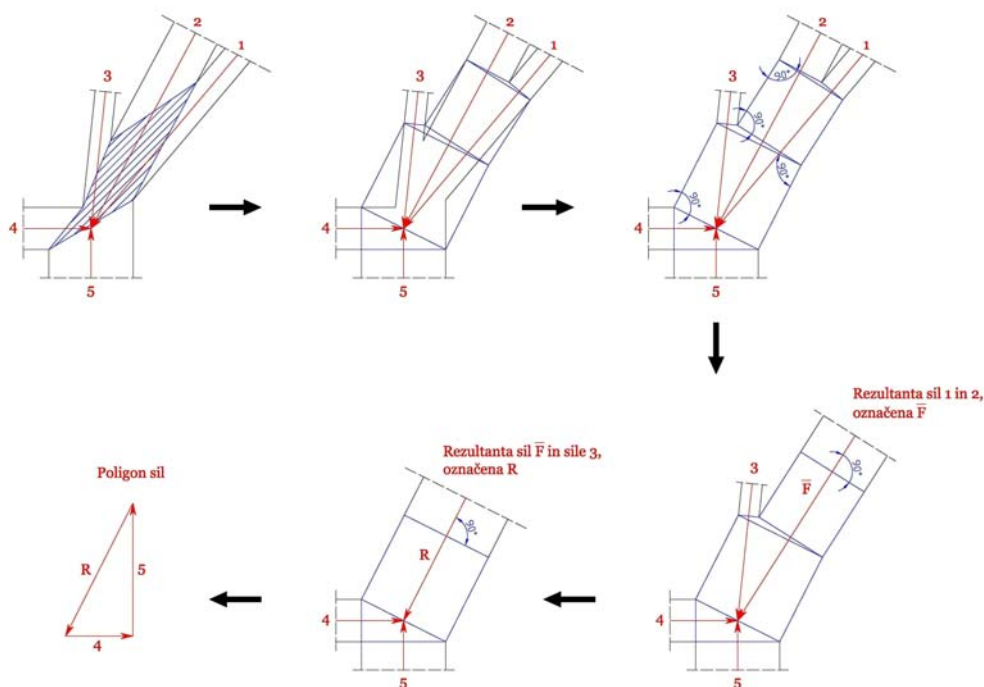


Slika 33: Združevanje sil v poligonalno obliko



Slika 34: Oblika vozlišča enaka obliki poligonu sil, kjer se sile ne stikujejo v skupno točko

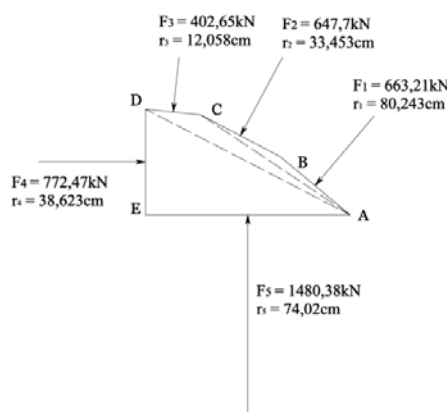
Vozlišče na katerega delujejo več kot tri sile težje dimenzioniramo. Kot poenostavitev, delujoče sile na vozlišča združujemo v rezultante posameznih sil, ponavadi po dve sili skupaj in postopek ponavljamo dokler ne dobimo le treh (slika 35). Glede na delujoče tri sile izberemo dimenzije vozlišča tako, da so proporcionalne obremenitvam.



Slika 35: Združevanje parov sil v rezultanto do delujočih treh sil na vozlišče

Če so vse sile v razporah manjše ali enake tlačni trdnosti betona potem bo prišlo do navideznega hidrostatičnega ravnotežja v vozlišču. Nedvomno se hidrostatični sistem pojavi v momentnem ravnotežju. Analitični dokaz: če povežemo točki A in C in točki A in D rekonstruiramo podvozlišča ABC, ACD in ADE. Lik ABC in ACD sta v ravnotežju, vključno z momentnim ravnotežjem, z likoma ACD in ADE. Od tod sledi, da lahko vedno pokažemo momentno ravnotežje vektorjev sil v vozlišču, kateri je geometrijsko podoben poligonu sil, če vozlišča razdelimo na trikotna podvozlišča, glej sliko 36.

Zagotavljanje momentnega ravnotežja v vozlišču



Slika 36: Dokaz momentnega ravnotežja na točko E

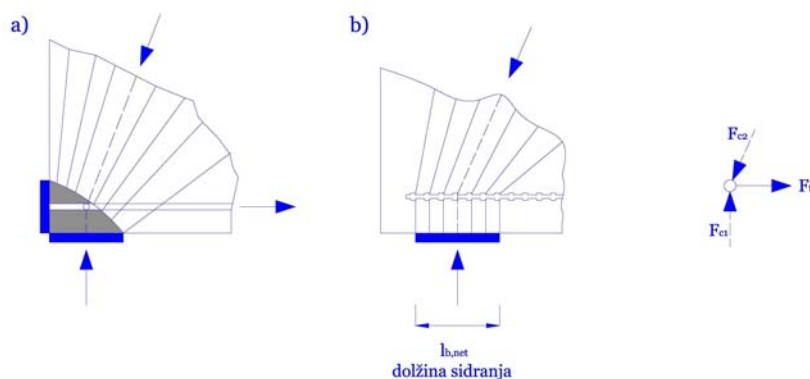
Razmerje pozitivnih in negativnih momentov, napaka zaradi numerike:

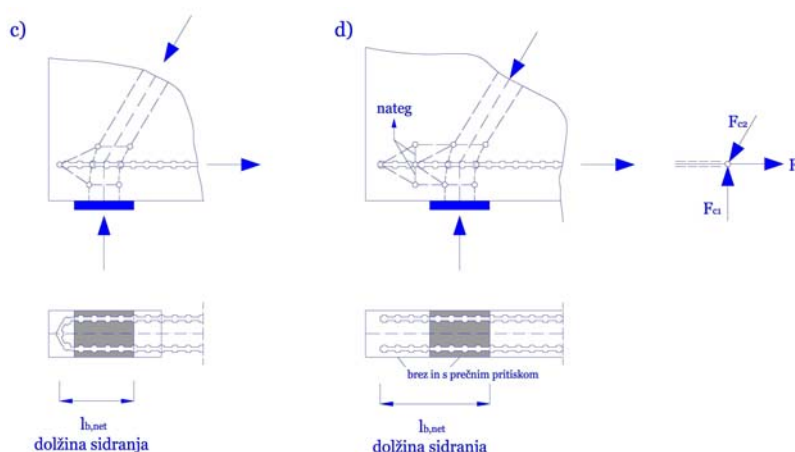
$$\left(1 - \frac{1095757,3064}{1095777,276}\right) * 1000 = 1,822 * 10^{-5} \% \quad (3.5)$$

3.3.3 Detajlna analiza vozlišča z modelom z vezmi in razporami

Model z vezmi in razporami znotraj vozlišča se uporablja, ko je potrebna detajlna analiza vozlišča. Smiselna uporaba metode je pri vozliščih z nateznimi vezmi, kjer prikažemo porazdelitev nateznih sil iz vezi v okolico betona. Seveda obstajajo izjeme, kjer lahko zadostno nosilnost vozlišča zagotovimo samo z uporabo omenjene metode, to je pri vozliščih z reduciranim prečnim prerezom podpornega elementa.

Slika 37 prikazuje tlačno-tlačno-natezno vozlišče. Sliki 37a prikazuje sidranje natezne vezi s podložno pločevino, ki na beton deluje tlačno in 37b ponazarja, da je zadostna sidrna dolžina vezi enaka eni od dimenzij prečnega prereza podpornega elementa, kar pa ne velja za primera na slikah 37c in 37d. Tukaj je potrebno, za zagotavljanje zadostne sidrne dolžine podporni element zamakniti od zunanje robu in zagotoviti zadostno sidrno dolžino za vozliščem. Prenos natezne sile iz vezi v okoliški beton se prenaša z rebri na palicah, radialno s kolenom, kljuko ali zanko, s prečno privarjeno palico ali zanko. Prenos nateznih sil lahko ponazorimo z modelom z vezmi in razporami.

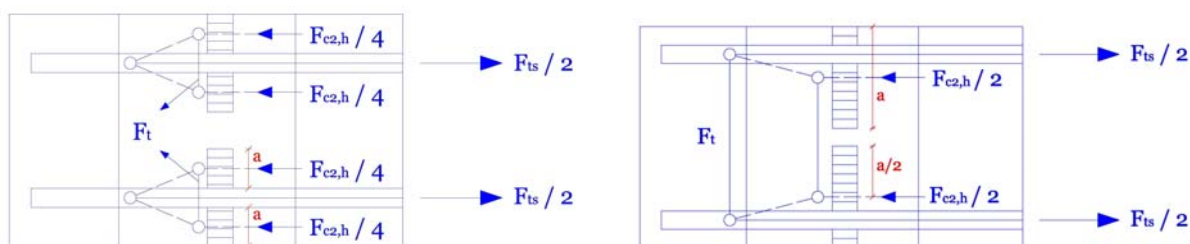




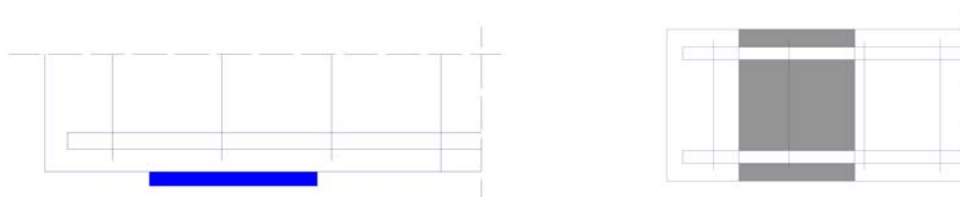
Slika 37: Prikaz različnih primerov sidranja armature v natezno – tlačnem vozlišču

- sidranje sile z podložno ploščevino za vozliščem
- sidrna dolžina je enaka dolžini podpornega elementa
- sidrna dolžina predstavlja vsoto dolžine podpornega elementa in prispevka sidrne zanke
- sidrna dolžina predstavlja vsoto dolžine podpornega elementa in dolžine sidranja za vozliščem

Naslednji primer detajlne analize opisan z metodo z vezmi in razporami znotraj vozlišča predstavlja prenos prečnih nateznih sil po širini elementa. Prečne sile so posledica delovanja tlačnih sil iz diagonalnih razpor na natezno armaturo, kjer se horizontalne komponente tlačne diagonale uravnotežijo z natezno vezjo in vertikalna komponenta ugodno vpliva pri določitvi zadostne sidrne dolžine. Prečne natezne sile, ki nastanejo v smeri debeline elementa (tlorisno na element), so ob pravilnem detajljanju vzdolžne natezne armature v vozliščih in za njimi majhne in se jih praviloma ne kontrolira, seveda pa imajo vpliv k končni nosilnosti vozlišča. Te sile prevzemajo prečne palice pri zagotavljanju zadostne sidrne dolžine ali del stremenske armature oziroma obešalne kot postranska funkcija.



Slika 38: Model z vezmi in razporami glede na način sidranja vzdolžne armature



Slika 39: Prečna armatura, ki ustreza zgornjima primeroma (npr. del stremenske armature)

Z izjemo pri vozliščih z reduciranim prerezom podpornega elementa, se metoda z vezmi in razporami uporablja pri detajlnih analizah, s katero ponazorimo prenos sile iz natezne vezi v okoliški beton. Sicer se pojava ne kontrolira saj se ga upošteva pri določitvi zadostne sidrne dolžine, katera je določena na polno natezno silo.

3.3.4 Računske kontrole posameznih vozlišč in sidrišč

3.3.4.1 Splošno

Spodaj omenjeno dimenzioniranje velja, ko so notranje sile in reakcije dobljene iz razumnih, sprejemljivih modelih z vezmi in razporami, kjer so velikosti razpok kontrolirane in nadzorovane po ustaljenih postopkih. Glede na projektantovo zanesljivost analize in dimenzioniranja čim bolj pravilne izbire modela je potrebno preveriti ali na samo razpore delujejo prečni tlaki ali nategi. Obstaja več oblik vozlišč med katerimi se določene oblike vozlišč in načini detajliranja ponavljajo. Poznamo štiri vrste ponavljajočih, običajnih in hkrati različnih vozlišč, ki jih imenujemo »standardna oziroma klasična vozlišča«. Večina ostalih vozlišč predstavlja kombinacijo zgoraj omenjenih.

Kontrola napetosti:

- kontrola napetosti v območju vozlišča ali na površini vozišča,
- določitev potrebne sidrne dolžine armaturnih palic določene na celotno natezno silo.

Pred kontrolo napetosti v betonskem vozlišču je potrebno:

- definirati območje vozlišča,
- določiti delujoče sile na vozlišče,
- oceniti primerno nosilnosti vozlišča.

3.3.4.2 Smernice pri dimenzioniranju vozlišč

CEB-FIP in Evrokod 2 navajata naslednje ugotovitve in zahteve:

- a) Tlačna trdnost bistveno pada s prečno natezno silo in pojavom razpok, še posebej če razpoke niso paralelne trajektorijam tlačnih napetosti. Prečno natezno silo

prevzamemo z med seboj pravokotnimi armaturnimi palicami, če so potrebne v obeh smereh. Prečna natezna napetost v obeh ortogonalnih smereh z upoštevanjem tretje dimenzije mora biti v ravninskih elementih ustrezno upoštevana.

- b) Pod spodaj navedenimi pogoji, lahko vrednosti projektne tlačne napetosti v vozlišču povečamo za do 10%, kjer velja vsaj eno izmed naslednjega:
- zagotovljen je triosni tlak,
 - vsi koti med razporami in vezmi so znašajo vsaj 55° ,
 - napetosti vnesene v podpori ali pri točkovni obtežbi so enakomerne, vozlišče pa je objeto s stremeni,
 - armatura je razvrščena v večih plasteh,
 - vozlišče je zanesljivo objeto s pomočjo posebne ureditve ležišč ali trenja.
- c) Sile na vozlišče so usmerjene pod nakloni, ki jih določa model z vezmi in razporami formiran glede na linearno elastično obnašanje materiala. Majhni naklonski koti v CCT vozliščih med razporo in vezjo lahko povzročijo kompatibilitetne probleme med betonom in jeklom v vozlišču. Kotom med pomembno razporo in vezjo, manjšim od 45° se moramo izogibati.
- d) Nosilnost vozlišča je zaradi razpok v bližini nateznih vezi, ki potujejo v območje vozlišča zmanjšana. Taka območja prav tako modeliramo z vezmi in armiramo z dodatno armaturo za omejevanje pojava razpok.
- e) Na stiku razpor z vozliščem ne upoštevamo tistih z majhnimi tlačnimi obremenitvami ali, kjer deluje več sil hkrati jih združujemo v rezultante. Glede na to, dimenzija tlačne razpore, ki deluje na vozlišče ne sme biti večja od 80% višine tlačnega dela nosilca.
- f) Pri velikih tlačnih obremenitvah moramo v okolici vozlišča pazljivo armirati. Glavna natezna armatura je razporejena čez širino vozlišča, kjer je tudi sidrana. Pri pojavu velikih nateznih sil je potrebno v izogib prenatrpanosti armature, slednjo polagati v večih plasteh, kar poveča dimenzije vozlišča in s tem izboljša nosilnost. Za sidranje

armature v območju vozlišča izberemo največji možen radij ukrivljenosti, ki ga omogoča vozlišče. Prenos prečne natezne sile v tretji smeri se izvede s stremeni ali U-palicami. Način polaganja armature v smislu izbire razdalj med palicami, številom slojev, izberemo na podlagi lokacije vozlišča in kompaktnosti betona.

- g) Povečana efektivna tlačna trdnost betona v vozlišču, do katere pride zaradi preprečevanja prečnih deformacij kot posledica tornega stika s podporo ali zaradi velikih tlačnih napetosti v visoko tlačnih vozliščih, skupaj s potrebnim armiranjem razloži, zakaj je nosilnost takih vozlišč veliko večja od pričakovane.
- h) Efektivna tlačna trdnost betona v vozlišču je lahko povečana zaradi nateznih sil v vezeh, ki so zasidrane na drugi strani vozlišča, saj natezna sila vozlišče obremenjuje tlačno (glej sliko 37a, c, d).

3.3.4.3 Načini zagotavljanja odpornosti vozlišč in sidrišč

i. Oblikovanje geometrije vozlišča do ujemanja z modelom z vezmi in razporami in delujočimi silami

Geometrija vozlišča in razvrstitev armature morata biti konsistentna z modelom z vezmi in razporami in z vnesenimi obtežbami. Oblikovanje modela in geometrija vozlišča nam zagotavljata *delovanje sil v razporah in vezeh v težišče stranice vozlišča, zato so predpostavljene konstantne napetosti v posameznih ploskvah vozlišča. Ni nujno, da sile delujejo na vozlišče pod pravim kotom.* Sidranje armature v vozlišču naj bo razporejeno na določeni širini in višini vozlišča.

ii. Kontrola tlačnih napetosti v vozlišču ali na njegovih mejah po SIST EN 1992-1-1:

- a) Tlačno obremenjena vozlišča pri katerih vezi niso sidrane v vozlišču:

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 * \nu' * f_{cd} \quad \text{in} \quad \nu' = 1 - f_{ck} [MPa] / 250 \quad (3.6)$$

b) Tlačno in natezno obremenjena vozlišča z zasidranimi vezmi v eni smeri:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 * \nu' * f_{cd} \quad \text{in} \quad \nu' = 1 - f_{ck} [MPa] / 250 \quad (3.7)$$

c) Tlačno in natezno obremenjena vozlišča z armaturo v večih smereh:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 * \nu' * f_{cd} \quad \text{in} \quad \nu' = 1 - f_{ck} [MPa] / 250 \quad (3.8)$$

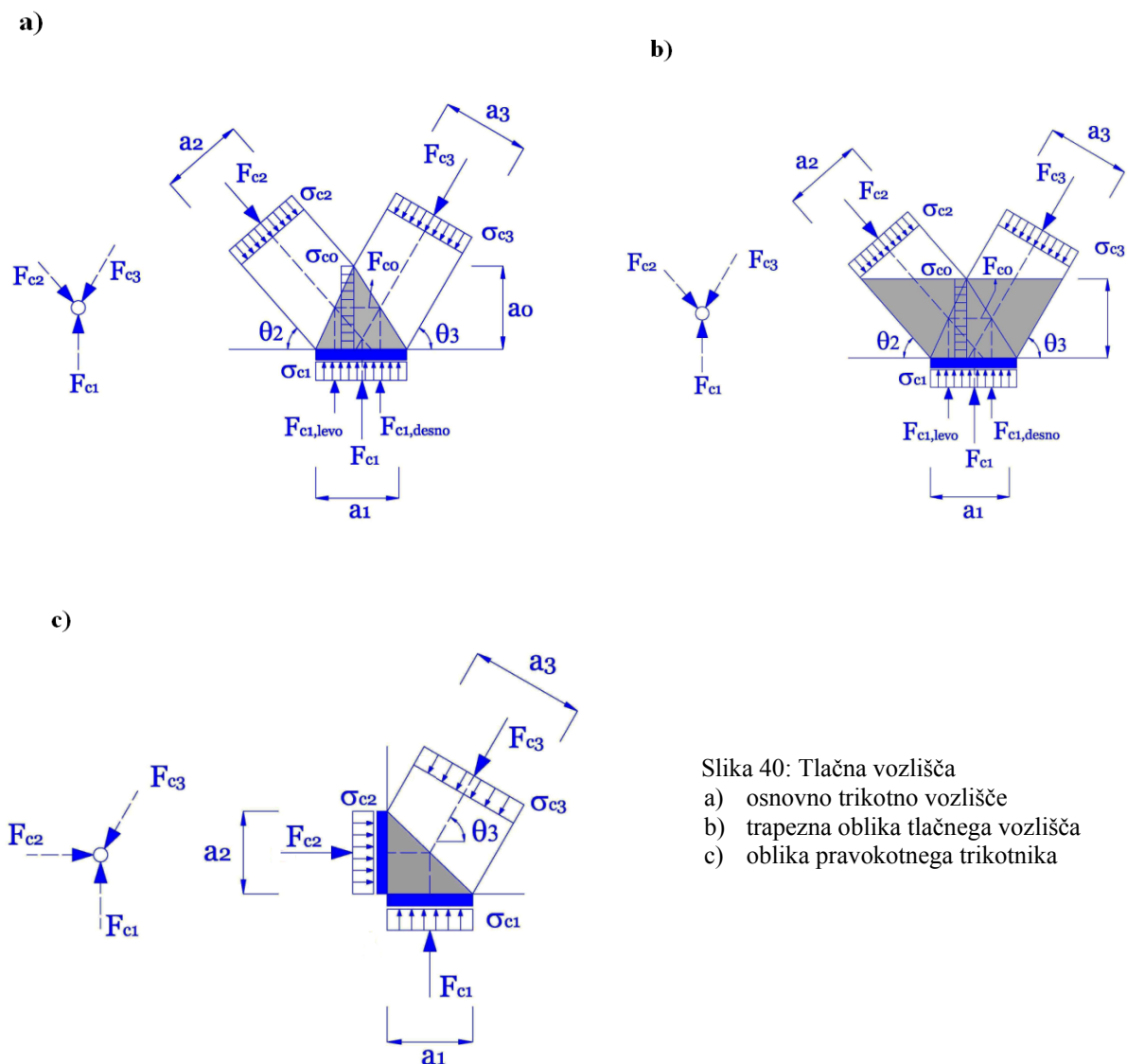
iii. Kontrola armature v vozliščih glede varnega sidranja

- Kontrola sidrne dolžine.
- V primeru krivljenja palic, kontrola radija krivljenja.
- Lociranje prečnih nateznih sil, tudi tistih v tretji smeri in ustrezno prevzemanje le-teh s prečno armaturo.

3.3.5 Klasična vozlišča

3.3.5.1 Ravninska tlačna vozlišča

Pojavijo se pod vplivom točkovnih sil in nad vmesnimi podporami nosilcev, stenastih nosilcev, v tlačnih vogalih okvirjev, pri kratkih konzolah in v okolici odprtin. Meje vozlišča analiziramo tako, da gledamo v lice elementa in s tem v lice vozlišča. Napetosti po posameznih mejnih območjih vozlišča so predpostavljene kot konstantne. Spodnja slika prikazuje tri tlačno obremenjena vozlišča.



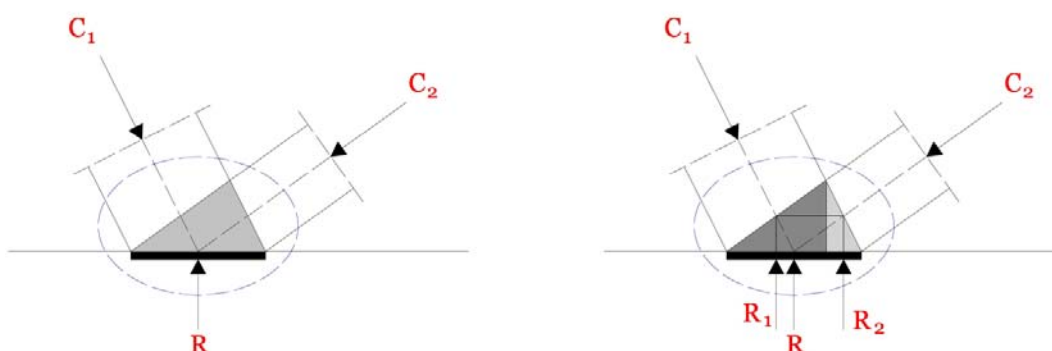
Slika 40: Tlačna vozlišča
 a) osnovno trikotno vozlišče
 b) trapezna oblika tlačnega vozlišča
 c) oblika pravokotnega trikotnika

Če bi izbrali obliko vozlišča tako, da bi bile napetosti v razpori, na meje vozlišča pravokotne, bi s tem dosegli konstantne in enake napetosti na mejah in znotraj vozlišča za vse tri smeri. V takem primeru je potrebno kontrolirati le eno napetost s tlačno nosilnostjo $\sigma_{Rd,max} = 1,0 * v' * f_{cd}$, ki je ponavadi σ_{c1} (kontrola podpore, glej sliko 40).

Če je izbrana oziroma računsko potrebna višina vozlišča » a_0 « (glej sliko 40) večja od dolžine » a_1 « je merodajna kontrola na mestu podpiranja σ_{c1} , saj ostale sile delujejo na večjo površino, zato dobimo manjše napetosti pri enaki sili. Če je višina vozlišča » a_0 « s trikotnimi ploskvami manjša kot dolžina » a_1 « ustreznega vozlišča je kontrolirana kritična napetost σ_{c0} znotraj

vozlišča, glede na $\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot \nu \cdot f_{cd}$. To velja za vozlišča z omejeno višino zaradi razpok med diagonalnimi razporami.

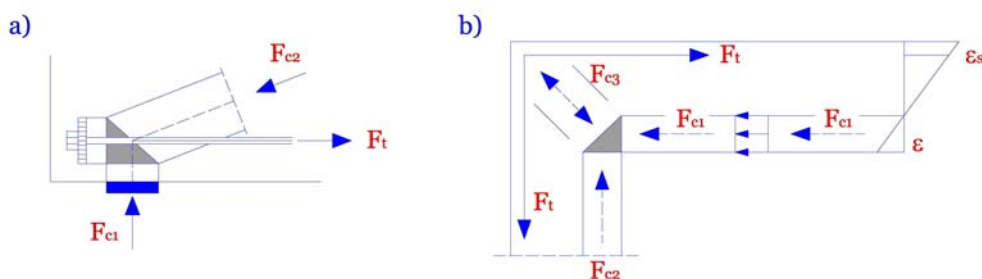
Včasih, za lažje zagotavljanje ravnotežja v vozlišču le-tega razdelimo na dva pod-trikotnika, ki ju ponazarjata sliki 40a in slika 41 ter za vsak lik posebej zagotovimo ravnotežje in hkrati določimo tlačno silo F_{c0} , znotraj vozlišča, ki povezuje oba lika. Spodaj sta vidni dve reakciji R_1 in R_2 , ki sta po velikosti nasprotno enaki vertikalnima komponentama sil C_1 in C_2 .



Slika 41: Delitev območja vozlišča na podobmočja

Slika 40b predstavlja trapezno obliko vozlišča. Tudi tako vozlišče lahko razdelimo na trikotna podobmočja, ki jih lahko analiziramo kot trikotna vozlišča. Dva trikotna lika dodana v vozlišče kot prikazuje slika 40a sta enosno obremenjena, kar predstavlja varno idealizacijo, saj se realno pojavijo zavite trajektorije, ki ustvarjajo dvo-osno napetostno stanje.

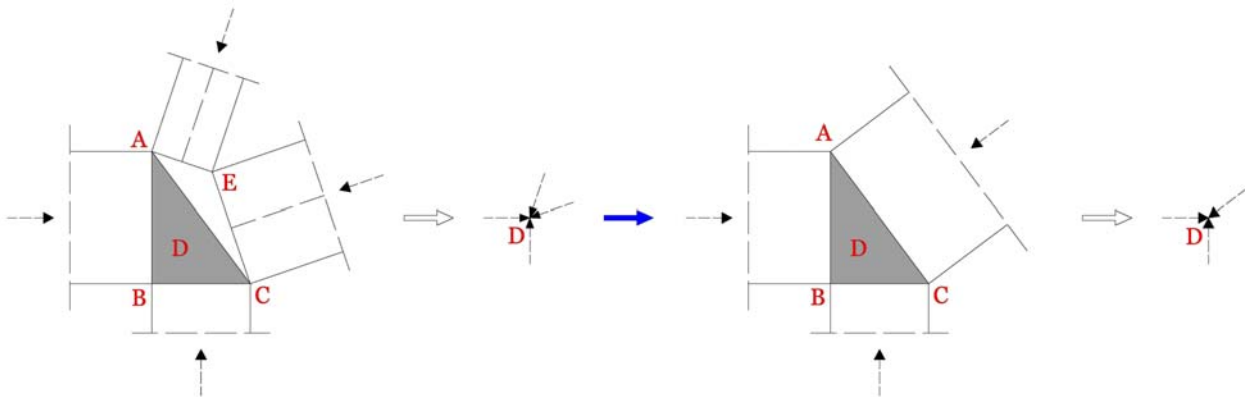
Slika 40c predstavlja vozlišče, ki je primerno za simuliranje krajne podpore armiranih in prednapetih nosilcev ter enih vogalov okvirjev podobnih tistim na sliki 43.



Slika 42: Primerna aplikacija trikotnih pravokotnih tlačnih vozlišč

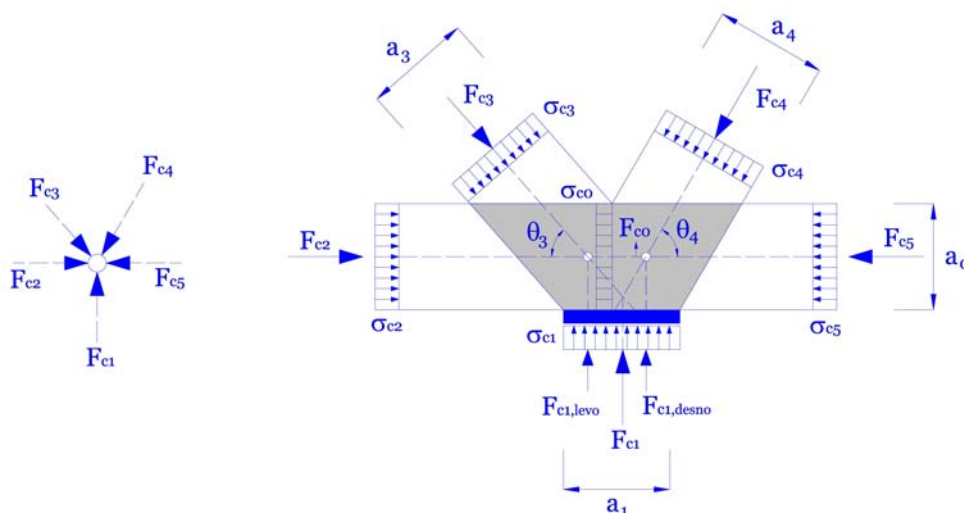
- a) vozlišče nad podporo prednapetega elementa
- b) vozlišče v tlačnem delu stika nosilca in stebra s poenostavljeno kontrolo tlačnih napetosti pri predpostavljениm linearnim potekom deformacij

Če se več kot tri razpore stikajo v vozlišču, lahko temu primerno priredimo obliko vozlišča, pomeni, da dodamo trikotna območja. Alternativno, lahko tudi sile združujemo v rezultante in te rezultante priključujemo na meje vozlišč (Schlaich). Tako lahko kontroliramo tudi vozlišča, kjer je razpora pahljačaste oblike.



Slika 43: Združevanje sil v vozlišču

Slika 44 prikazuje primer vozlišča petih stikajočih razpor trapezne oblike. To je primer modeliranja vozlišča nad notranjo podporo nosilca, stenastega nosilca ali na območju koncentriranih sil v omenjenih elementih. Vsa tri trikotna podobmočja so izpostavljena različnim dvoosnim napetostnim stanjem z največjo vrednostjo napetosti na notranjem trikotniku. Pazi: če so v takem vozlišču armaturne palice sidrane potem je potrebno tlačno nosilnost vozlišča ustrezno reducirati glede na veljave predpise (SIST EN 1992-1-1).



Slika 44: Klasično vozlišče s petimi razporami

3.3.5.2 Ravninska tlačno – natezno obremenjena vozlišča

3.3.5.2.1 Splošno

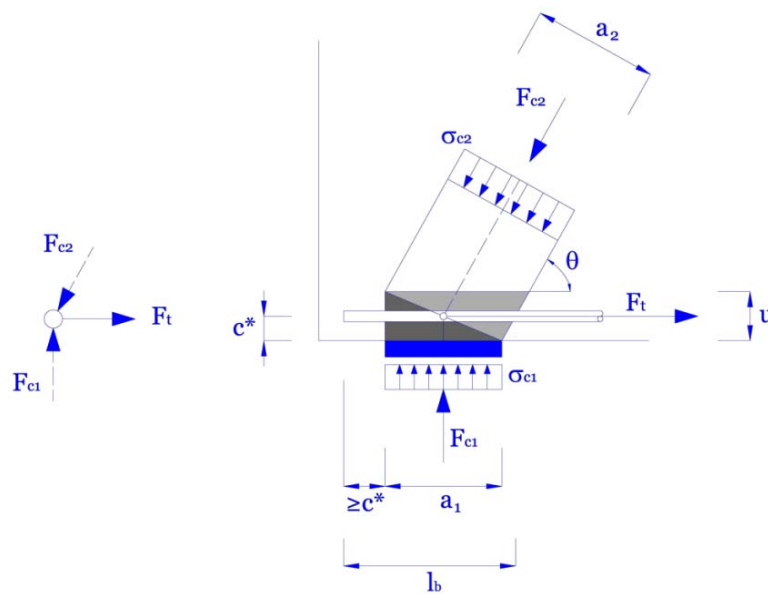
Značilnost tlačno – natezno obremenjenih vozlišč je v tem, da je glavna armatura v vozlišču sidrana ali pa poteka skozi. Napetostno stanje in odpornosti znotraj vozlišča je veliko bolj komplicirano kot v tlačnih vozliščih, zato so kontrole bolj stroge. Napetosti v sidrišču so omejene, prav tako se tlačne napetosti v vozlišču omejijo na $\sigma_{Rd,max} = 0,85 * \nu' * f_{cd}$ v primeru tlačno – natezno obremenjenih vozlišč z armaturo v eni smeri in na $\sigma_{Rd,max} = 0,75 * \nu' * f_{cd}$ v primeru tlačno – natezno obremenjenih vozlišč z armaturo v dveh smereh. Glavne napetosti v betonu na meji z vozliščem se kontrolirajo v smeri osi delovanja obtežbe F_c z napetostjo $\sigma_c = F_c / A_c$, kjer je A_c prečni prerez vozlišča, ki je pravokoten na smer delovanja sile.

V nadaljevanju so prikazani trije primeri natezno – tlačno obremenjenih vozlišč, kjer v prvem primeru na vozlišče deluje le ena natezna sila, v ostalih dveh primerih pa sta prisotni dve natezni sili, ki sta različno usmerjeni.

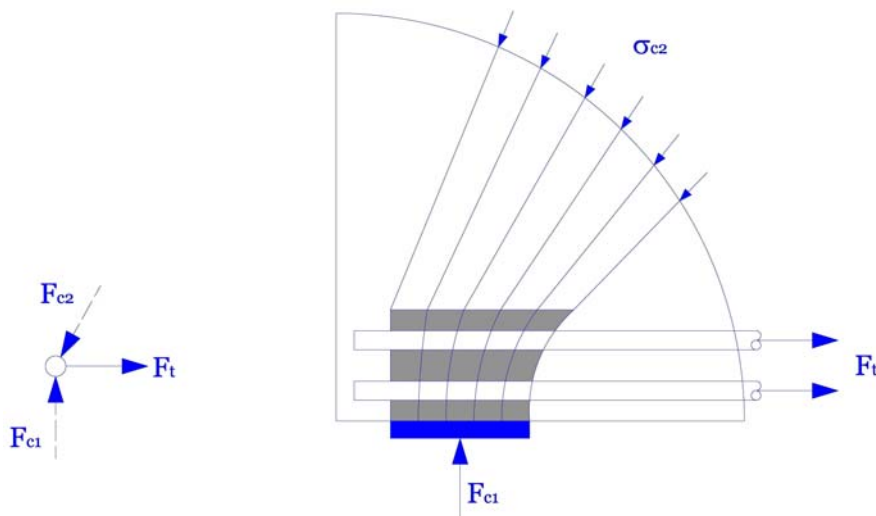
3.3.5.2.2 Vozlišče z natezno armaturo v eni smeri

Taka vozlišča so tipična na vogalih elementov. Najpogosteje so locirana na območjih končnih podpor nosilcev in stenastih nosilcev. Seveda najdemo taka vozlišča tudi v drugih primerih, kot so: nosilna površina kratkih konzol in v nosilcih z reduciranimi prerezi podpornih elementov. Na območjih velikih nateznih napetosti se zgodi, da postavimo armaturo tako, da le-ta poteka čez celotno debelino elementa »b« z efektivno višino »u«, pomeni več slojev oziroma vrst armature. Za tak način armiranja lahko predpostavimo potek tlačnih napetosti kot je prikazan na slikah 46 in 47.

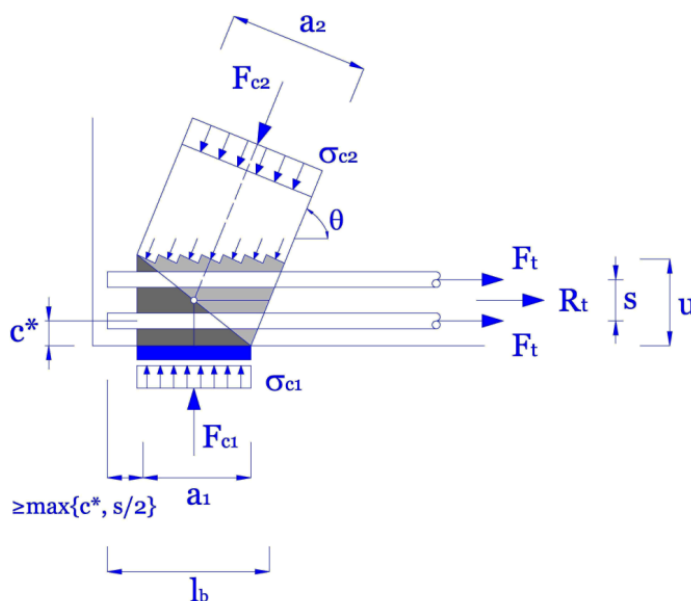
Glavne napetosti v betonu na meji z vozliščem se kontrolirajo v smeri osi delovanja obtežbe F_c z napetostjo $\sigma_c = F_c / A_c$, kjer je A_c prečni prerez vozlišča, ki je pravokoten na smer delovanja sile. Kot je pokazano na sliki 48, za silo F_{c2} si lahko predstavljamo nažagano površino vozlišča, kjer na vsak zob deluje pripadajoči del sile v razmerju glede na skupno število zob, pravokotno na vozlišče.



Slika 45: Idealiziran prikaz vozlišča z armaturo v eni vrsti in sidranjem za vozliščem

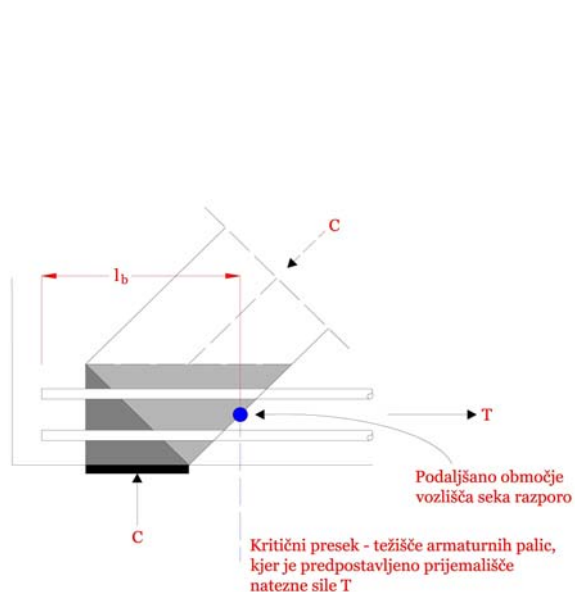


Slika 46: Potek trajektorij tlačnih napetosti pri armiranju vezi v večih slojih

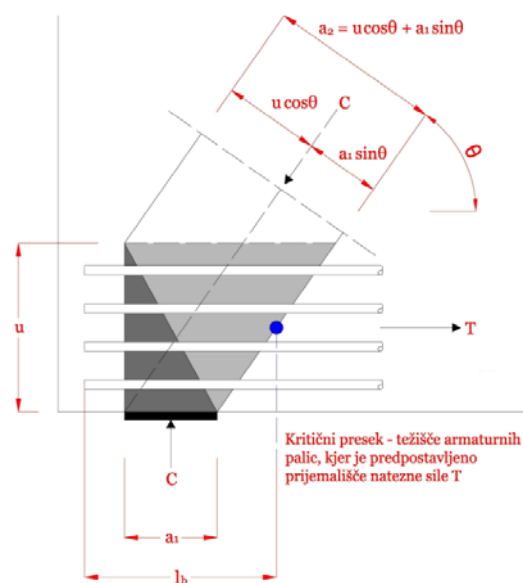


Slika 47: Idealiziran model zgornjega vozlišča

Prav tako se pogosto zgodi, da območje, ki ga predstavlja podporni element in morebitno podaljšanje armaturnih palic za vozliščem, ni zadostno za sidranje vezi, zato se vpelje razširjeno oziroma podaljšano območje vozlišča kot je prikazano na sliki 48 in 49. Povečano območje vozlišča predstavlja dolžino med podpornim elementom in presečiščem težišča armaturnih palic in razpore. S tem povečamo sidrno dolžino znotraj območja, kjer se natezna sila iz vezi prenese na beton in na ta način definira dolžino sidranja vezi.



Slika 48: Sidrana dolžina sega za vozlišče



Slika 49: Podaljšano vozlišče za sidranje armaturnih palic

Višino vozlišča »u« določimo glede na način armiranja v vozliču:

u = 2 c*: kjer je c* vsota razdalje krovnega sloja betona in polmera armaturne palice, za vozlišča, kjer je armatura razvrščena v enem sloju oziroma vrsti.

u = 2 c* + (n – 1) s: za n-vrst natezne armature, kjer »s« pomeni osno razdaljo med sloji armaturnih palic

Do določene mere poznamo geometrijo vozlišča, saj je določena z:

- »a₁« širino podpore,
- »θ« naklonskim kotom razpore,
- »u« efektivno (delujoča/aktivna) višina vozlišča,
- »a₂« širino diagonalne razpore; $a_2 = a_1 \sin\theta + u \cos\theta$ (glej sliko 49).

Potrebne kontrole v vozliščih (glej sliko 48):

- kontrola tlačnih napetosti na mejni površini vozlišča zaradi sile F_{c1} (podporna sila)

$$\sigma_{c1} = F_{c1} / (a_1 b) \leq \sigma_{Rd,max} = 0,85 * v \cdot * f_{cd} \quad (3.9)$$

- kontrola tlačnih napetosti na mejni površini vozlišča zaradi sile F_{c2} (tlačna razpora)

$$\sigma_{c2} = F_{c2} / (a_2 b) \leq \sigma_{Rd,max} = 0,85 * v \cdot * f_{cd} \quad (3.10)$$

- sidrna dolžina, ki ni manjša od projektne vrednosti l_{bd} po standardu SIST EN 1992-1-1. Pri tem lahko upoštevamo pri računu projektne sidrne dolžine ugoden vpliv prečnih tlakov vzdolž sidrne armature in potrebno dolžino sidranja zmanjšamo za faktor redukcije α₅ = 0,7, zaradi vertikalnih komponent tlačnih sil F_{c1} in F_{c2},
- dimenzioniranje oziroma določitev potrebne prečne armature navaja standard ali dobra inženirska praksa,
- v zgornjih enačbah simbol »b« pomeni debelino elementa ali vozlišča.

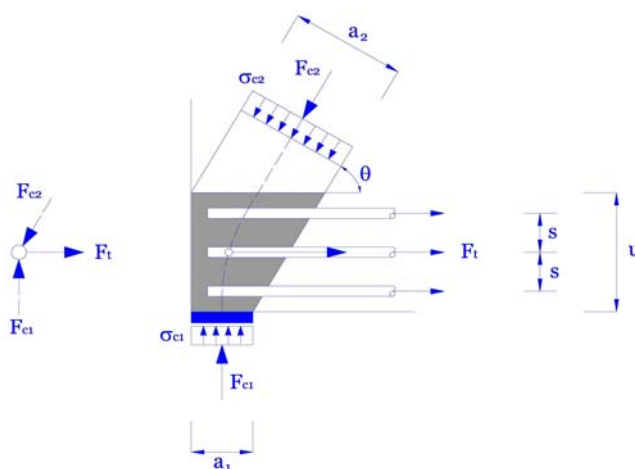
Iz slik in enačb izhajajo, da se velikokrat zgodi, da je napetost σ_{c2} v diagonalni razpori večja od napetosti σ_{c1} v območju podpore, a je to dejstvo velikokrat spregledano. Napetost σ_{c2} v razpori narašča z zmanjševanjem kota naklona θ, saj je diagonalna F_{c2} komponenta zunanje

sile F in zato $F_{c2} = F / \sin\theta$. Na območjih, kjer je kot naklona θ pod 55° , se moramo izogniti CCT vozliščem z visokimi napetostmi, razen ko je natezna vez prednapeta. Po drugi strani, razporeditev glavne natezne armature v večih vrstah in/ali dodatna armatura (npr. obešalna), ki sega nad glavno armaturo, poveča efektivno višino vozlišča »u« in širino »a₂« priključene razpore, zato je potrebno reducirati napetosti σ_{c2} v razpori, pomeni enaka sila na večji površini, zato manjša napetost.

Pričakujemo lahko povečano nosilnost vozlišča, če so izpolnjene naslednje predpostavke:

- sidranje glavne armature do smiselne dolžine za vozliščem,
- podpora omogoči prečno odpornost podprtemu vozlišču s trenjem in lahko prenaša prečno natezno silo povezano s silo trenja,
- dobro detajlirana armatura v vozlišču hkrati nudi nekaj prečne odpornosti.

Če sega podpora do konca elementa (slika 50) armatura ne more imeti sidrne dolžine za vozliščem/podporo. V takih primerih, kjer so armaturne palice sidrane znotraj vozlišča, se konci palic ne smejo približati zunanjemu robu za manj kot je najmanjša dimenzija krovnega sloja betona. Na ta način se izognemo krušenju krovnega sloja betona okoli armature in armaturne palice razporedimo na dovolj veliki efektivni višini vozlišča »u«, zato da natezno silo iz armaturnih palic razporedimo v okolico betona na dovolj velikem območju vozlišča. Priporočljivo je vstavljanje stremen ali relativno tankih upogibnih palic (zank) v ravnini pravokotni na tlačno cono vozlišča. Tako armiranje je priporočljivo tudi kot dodatna armatura za sidranje debelih ravnih palic in za prevzem prečne natezne sile.



Slika 50: Tlačno – natezno vozlišče, kjer se palice sidrajo/končajo znotraj vozlišča

3.3.5.3 Tlačno – natezna vozlišča z ukrivljenimi palicami

Taka vozlišča se pojavijo, kjer je sila v razpori večinoma uravnotežena z radialnimi napetostmi navzgor ukrivljenih palic v nosilcih ali pa je glavna upogibna armatura ukrivljena okoli vogala okvirja.

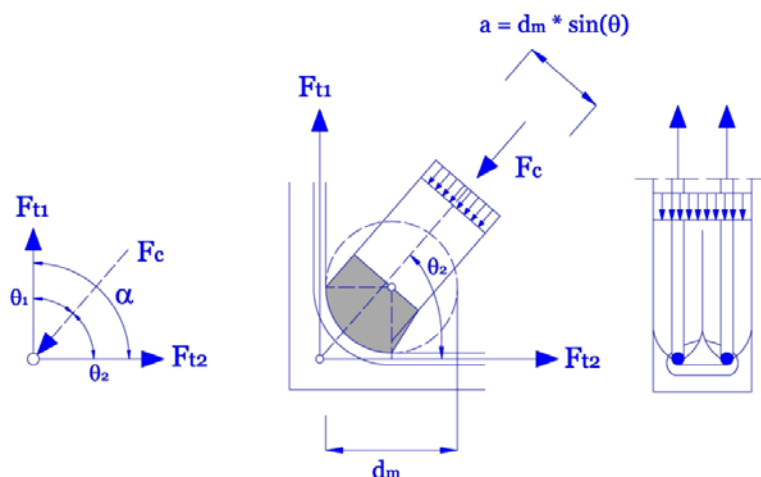
Območje vozlišča lahko idealiziramo s širino razpore (slika 51): $a = d_m \sin\theta$, kjer je kot $\theta = \min\{\theta_1, \theta_2\}$ in oklepa natezno vez in razporo. Z izbiro najmanjšega naklona θ izrazimo najmanjšo širino razpore »a« in tako dobimo največjo napetost, ki kontroliramo:

$$\sigma_c = F_c / (a b) \leq \sigma_{Rd,max} = 0,75 * v' * f_{cd} \quad (3.11)$$

V vozliščih z ortogonalno armaturo ($\alpha = 90^\circ$) se napetosti v betonu kontrolira po enačbi:

$$\sigma_c = \frac{\max F_t}{b d_m \sin \theta \cos \theta} \leq \sigma_{Rd,max} = 0,75 * v' * f_{cd}, \quad (3.12)$$

kjer je sila $\max F_t$ večja izmed obeh ortogonalnih nateznih sil v armaturi, pri tem pa je naklonski kot θ med razporo in vezjo poljuben.

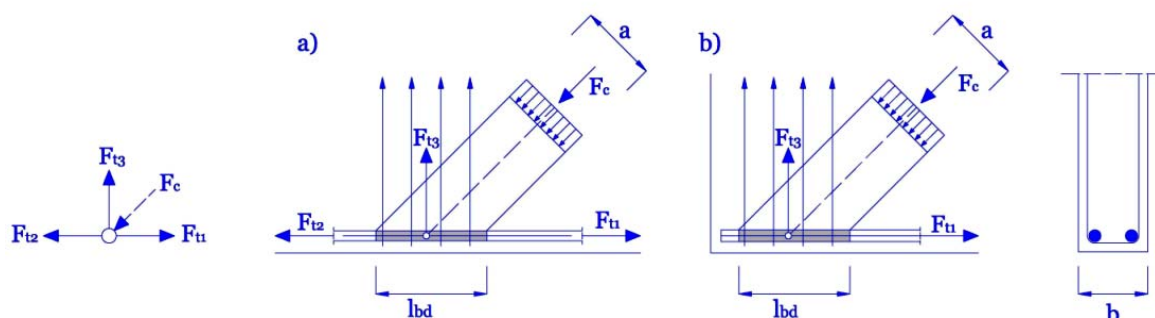


Slika 51: Detajl vozlišča z ukrivljenimi armaturnimi palicami

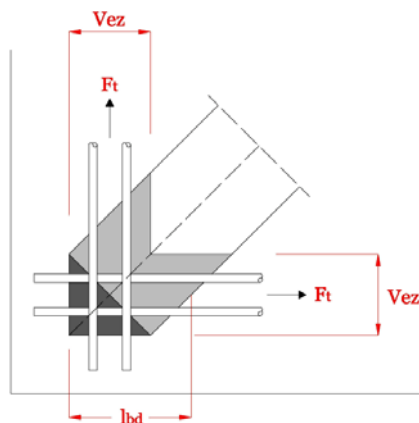
Radij ukrivljenosti palic mora biti v skladu z zahtevanimi predpisi. S temi zahtevami se izogibamo preveliki razpokanosti betona okoli posameznih palic in poškodbam armature. Radij ukrivljenosti armaturnih palic mora biti večji od minimalno zahtevanega, ponavadi pa izberemo največjega možnega tako, da ustreza geometriji vozlišča in da je izvedljiv.

3.3.5.4 Tipična vozlišča z vezmi v dveh pravokotnih smereh

Največkrat se ponavljajo v nosilcih, izjemoma pa se pojavijo tudi v ostalih elementih, kjer se glavna armatura sidra vzdolž nepodprtega roba in v nepodprtih vogalih elementov. Sidrišče predstavlja dolžina stika diagonalne tlačne razpore (» a_2 «) z vzdolžno armaturo, v kombinaciji s prečno natezno vezjo, ki je lahko v obliki stremen (slika 52a). Za izvedbo sidranja s prečno armaturo se uporabljajo palice, ki objamejo natezno armaturo vzdolžne vezi, zato potrebujemo velik radij krivljenja. Če take prečne palice (stremena) razporedimo po celotni dolžini, kar je pri nosilcih običajno, je potrebno tako vozlišče detajlno analizirati. Kakorkoli, če so stremena ali zanke razporejene na kratkih razdaljah je včasih potrebno zagotoviti primerno sidrno dolžino na zelo kratkih razdaljah v kombinaciji z velikimi diagonalnimi tlačnimi silami. Primere takih vozlišč najdemo v nosilcih z odprtiniami in reduciranih ležiščih. Vozlišče na sliki 52b se pojavi v vogalih konstrukcijskih elementov brez direktnega podpiranja.



Slika 52: Tipična vozlišča z vezmi v dveh ortogonalnih smereh
 a) sidranje nateznih palic v bližini neobteženega območja elementa
 b) sidranje nateznih palic v bližini neobteženega vogala elementa



Slika 53: Sidrna dolžina armaturnih palic z upoštevanjem podaljšanja vozlišča

Kontrole napetosti so naslednje:

- Diagonalna tlačna razpora

$$\sigma_c = F_c / (a \cdot b) \leq \sigma_{Rd,max} = 0,75 * v_r * f_{cd}$$

- Sidrna dolžina glavne armature za sili F_{t1} in F_{t2} glede na sliko 52a ali za F_{t1} v primeru vogalnega vozlišča 52b.
- Sidranje sile F_{t3} zagotovimo z zankami ali stremeni primerno razporejenimi vzdolž dolžine sidranja.
- Prečna armatura v tretji smeri (v smeri debeline elementa) narekujejo izkušnje oziroma dobra praksa. K prevzemu nateznih sil v tej smeri pripomore tudi horizontalni del stremena ali zanke.

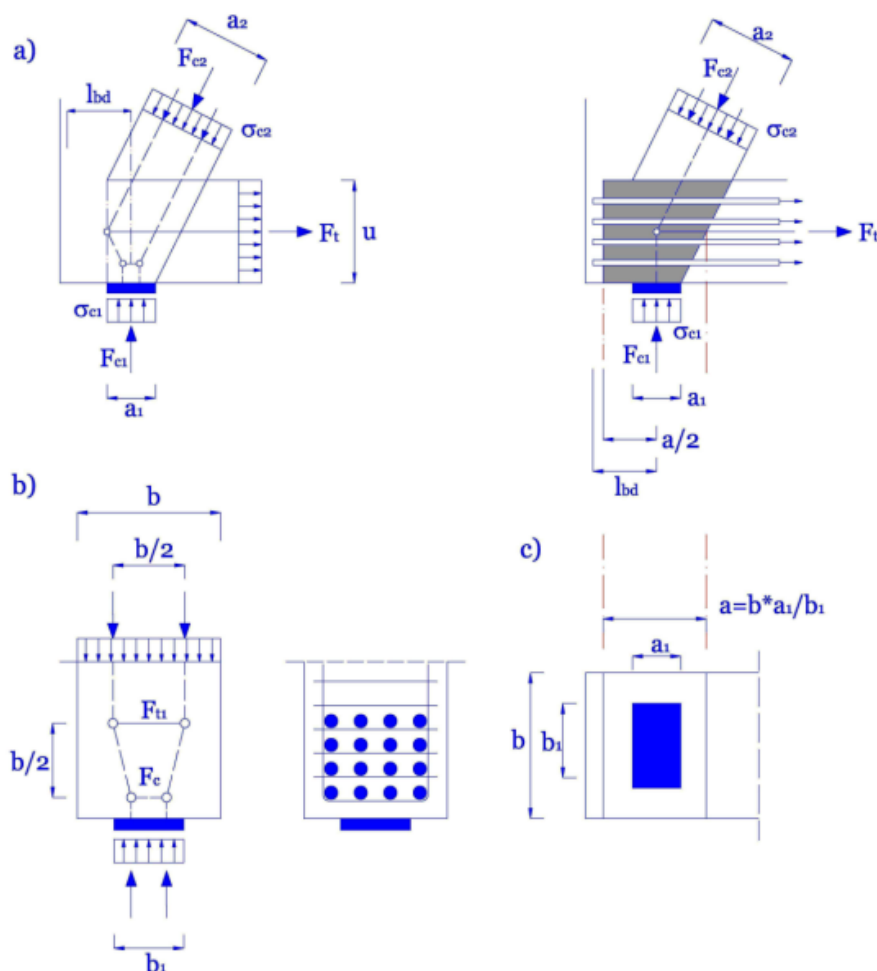
3.3.6 Vozlišča z reducirano širino podpore in ostala tridimenzionalna vozlišča

Primeri podpiranja, kjer ima v smeri debeline priključevanega elementa, podporni element dimenzijo prečnega prereza manjšo od stikovanega, je kontrola napetosti v tej smeri obvezna. Postopek kontrole takih vozlišč je enak predhodnim, kjer najprej zagotavljamo nosilnost vozlišča tako, da gledamo na lice elementa in potem sledi kontrola napetosti v vozlišču v smeri debeline elementa.

Slika 54 prikazuje na primer vozlišča v najbolj obremenjeni ravnini, ki je podobno vozlišču iz slike 47. V tretji smeri je tlačno napetostno polje zoženo z reducirano širine podpore $b_1 < b$. Posledično se zaradi zožitve pojavi triosno napetostno stanje nad podporo in vpliv prečnih nateznih sil se razširi v bolj oddaljena območja od podpore kot sicer. Zaradi tega je potrebno povečati odpornost vozlišča tako, da vse natezne sile v vozlišču, tudi tiste prečne prevzame armatura ter po potrebi dodati tlačne armaturene palice za zagotavljanje nosilnosti na stiku s podporo.

Vrednost prečne natezne sile F_{t1} iz slike 54b, dobimo s pomočjo lokalnega modela z vezmi in razporami. Z modelom z vezmi in razporami privzamemo, da se prečna natezna sila pojavi na višini polovične debeline priključevanega elementa in od tukaj sledi:

- armatura za prevzem sile F_{t1} v smeri debeline elementa razporedimo po višini elementa enaki debelini elementa,
- razlika v primerjavi z ostalimi vozlišči je sidrna dolžina glavne natezne armature za silo F_t . Izhodišče za merjenje sidrne dolžine določimo iz središčne osi podpore in ne na notranjih robovih. Tako zagotovljena zadostna sidrna dolžine zahteva daljšo dolžino palic za vozliščem kot ponavadi. Pomeni, da se celoten ali večji del vpliva natezne sile F_t prenese v okolico betona za vozliščem in tako je vozlišče z reducirano podporo obremenjeno večinoma s tlačno silo iz razpore in podpore. Detajl 54a prikazuje središče dolžine sidranja, ki je pomaknjeno za podporo.



Slika 54: Prikaz vozlišča v prečni smeri nad reducirano podporo in prenos lokalnih tlakov
 a) vzdolžna smer s prilagojenim modelom z vezmi in razporami in pripadajočo armaturo
 b) prečni prerez elementa s pripadajočim modelom in armaturo
 c) tloris reducirane podpore v primerjavi z elementom

Prečna natezna sila je določena z izrazom:
$$F_{t1} = \frac{b - b_1}{4b} F_{c1} \quad (3.13)$$

3.4 Sklep

3.4.1 Izbira dimenzij razpor in območja vozlišč

Razpore, vezi in vozlišča kot sestavni del nadomestnega paličja predstavljajo »Model z vezmi in razporami«. Elementom pripadajo določene končne širine, ki jih je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju paličja. Širina vsake sestavine paličja je odvisna od velikosti napetosti in dimenzij priključenih sosednjih elementov v vozlišču. Zunanji elementi kot so plošče, prečne stene, zidovi ali stebri, v smislu podpor, lahko služijo za definiranje območja vozlišča. Če je podpora premajhna se ustvari prevelika tlačna napetost glede na nosilnost podpore (tlačna trdnost betona), zato lahko kot ukrep povečamo kontaktno ploskev in s tem reduciramo napetost ali dodamo tlačno armaturo. *Velikokrat pa se namenoma izbere večje dimenzije razpor in vozlišč (večje dimenzije podpornih elementov, armiranje v večih slojih) s katerimi reduciramo tlačne napetosti ter posledično dimenzioniramo samo natezne vezi. Iz naslova omejevanja oziroma minimiranja nastanka razpok in problemov kompatibilnosti betona in jekla, zaradi deformacij, ki so posledica krajšanja dolžine razpor in raztegovanja dolžine vezi v enakem območju, mora biti kot med pomembno razporo in vezjo najmanj 45°. Glede na različne standarde se omenjena omejitev kota spreminja. Večji kot je kot naklona razpore manjši je njen doprinos k velikosti natezne sile (količine armature vezi) in obratno.*

Zanimiva je primerjava z linijskimi nosilci, kjer je v modelu za prevzem prečne sile naklon razpore po SIST EN 1992-1-1 omejen na $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$ oziroma na $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$. Izbira naklona razpore vpliva na količino strižne, t.j. stremenske armature in dodatne vzdolžne armature. Manjši kot je kot naklona ($\cot\theta = 2,5$), manj je računsko potrebne strižne armature in s tem potreben večji razmak med stremenami, kar ima za posledico daljšo dolžino razpore med dvema stremenoma in hkrati večjo kvadraturu dodatne vzdolžne armature k osnovni upogibni armaturi. Nekateri avtorji spodnjo vrednost naklona omejujejo bolj strogo na $\theta = \arctan(1/2) = 26,56^\circ$. V izogib prevelikim razmakom med stremensko armaturo in izbiro premajhnega premera armaturene palice SIST EN 1992-1-1 določa spodnjo mejo rastroja stremen, ki je glede na različne primere omejena na 20cm ali 30cm z minimalnim premerom

palice $\phi 8$. Pri kotih manjših od $\theta = 21,8^\circ$ zanaša dodatna natezna sila (oziroma armatura) najmanj $1,25 \cdot V_{Ed}$ vrednosti prečne sile zaradi obremenitve pri vertikalno postavljenih stremenih, kar rezultira v prevelike natezne sile, ki lahko predstavljajo probleme pri zagotavljanju ustrezne sidrne dolžine, omejevanja širine razpok kot tudi zagotavljanja kompatibilnosti med betonom in jeklom. Z zmanjševanjem naklona se sila v razpori povečuje, kar lahko vodi do strižne porušitve betona (drobljenje diagonale). Glede na omejitev naklona razpore opazimo, da dobimo računsko največjo potrebno stremensko armaturo pri izbiri naklona razpore pod kotom $\theta = 45^\circ$. V tem primeru je stremenska armatura položena na krajših razdaljah in je količina dodatne vzdolžne armature najmanjša in z večjim kotom naklona razpore prevzamemo manjše tlačne napetosti v betonu. Večji koti razpor od $\theta = 45^\circ$ rezultirajo v prevelike količine računsko potrebne stremenske armature, zato kot razpore $\theta = 45^\circ$ predstavlja zgornjo mejo. Sicer se pri zgornji meji pojavi tudi vprašanje, če je možen pojav formiranja razpore med dvema stremenoma, katerih razdalja je manjša od višine stremena. Če povzamemo sledi, da iz naslova omejevanja oziroma minimiranja nastanka razpok in problemov kompatibilnosti betona in jekla zaradi deformacij, znaša kot med razpore in vezjo najmanj $21,8^\circ$ oziroma $\theta = \arctan(1/2,5)$. Najmanjši naklon je v razmerju 1:2,5, kar pomeni, da je priležna stranica, to je razdalja med stremeni za 2,5krat daljša od nasprotne stranice, ki predstavlja višino nosilca, zato je tudi maksimalna razdalja med stremeni omejena. Če sta stremenska in vzdolžna armatura primerno izbrani in vgrajeni, je možni porušni mehanizem, kjer se pri najprej plastificirani stremenski in kasneje vzdolžni armaturi, zdrobi še tlačna diagonalna razpora.

Pri stenastih nosilcih praviloma striga na tak način ne preverjamo, ker privzamemo oziroma tvorimo tak mehanizem, pri katerem preko obešalne (t.j. stremenske) armature obtežbo pod tlačnim lokom (na spodnji polovici višine nosilca) prenašamo nad tlačni lok, po katerem se preko razpore obtežba prenaša do podpornih elementov. Obtežba na zgornji polovici višine nosilca pa se direktno po formiranem tlačnem loku prenaša po diagonalni razpori do podpore. Tako prenesena obtežba posledično povzroča tudi natege, ki jih prevzemamo z natezno armaturo v polju in nad podporo. Natezna sila, ki določa armaturo je enaka horizontalni komponenti sile v diagonalni tlačni razpori. Opazimo, da pri dimenzioniranju stenastih nosilcev ne dodajamo armature k glavni natezni sili zaradi striga, saj nanj ne dimenzioniramo.

Strig prevzemamo prevzemamo z diagonalno razpore tako, da združujemo sile iz obtežb nad in pod formiranim tlačnim lokom v diagonalno tlačno rezultanto, preko katere določamo natezno silo v polju. Ali obratno, preko vrednosti rezultante dobljene iz obtežbe na zgornji in spodnji strani elementa (nad in pod tlačnim lokom) v nateznem delu nosilca in vrednosti reakcije določimo naklon in vrednost diagonalne tlačne razpore, katero v skladu z SIST EN 1992-1-1 dimenzioniramo. Najmanjši kot med glavno razpore in vezjo naj po priporočilih standarda oklepa kot $\theta = 45^\circ$. Pri doseženi projektni obremenitvi se bo palični mehanizem ujel s predpostavljenim, pomeni delitev obtežbe v razmerju togosti. Manjši koti vodijo v povečanje kvadrature armature v polju ali nad podporo (neekonomičnost), privedejo do prevelikih nateznih sil, ki jih težje sidramo, do pojava prekomerne širine razpok in večjih obremenitev v diagonalni razpore ter zato tudi v vozliščih (drobljenje betona), ki jih težje vzpostavimo. Tako tudi pri stenastih nosilcih nastopi drobljenje razpore po plastifikaciji armature (spodnji statični teorem).

Dimenzioniranje območja vozlišča temelji na predpostavki, da so napetosti znotraj presečišč razpor in vezi vzporedne osem elementov paličja. Širina razpor in vezi je v splošnem proporcionalna velikosti napetosti v elementih. Če sta vsaj dve razpore usmerjeni na isto skupno površino oziroma območje vozlišča, je pogosto neizogibno, potrebno ali celo obvezno, da te sile združimo v eno skupno silo in orientiramo površino vozlišča skupno večim silam tako, da je ta pravokotna na smer rezultirajočih sil. Debelina razpore, vezi in vozlišča je v splošnem enaka debelini nosilnega elementa. Ko je debelina podpore manjša od debeline nosilnega elementa, ki ga podpira, je obvezno potrebno zmanjšati debelino razpore, vezi in vozlišč na debelino podpore ter dodati ojačitev pravokotno na nosilni element in tako preprečiti pojav prekomernih napetosti in porušitve. V tem primeru lahko uporabimo lokalni model z vezmi in razporami in tako določimo potrebno ojačitev proti porušitvi.

3.4.2 Dimenzioniranje vezi in sidrišč

Pri kontrolah razpok, torej v mejnem stanju uporabnosti, v nateznem območju določimo minimalno potrebno armaturo, ki pa je v večini primerov (primeri, ko je dolžina nosilca večja od višine) manjša od računsko potrebne v mejnem stanju nosilnosti. V mejnem stanju

nosilnosti natezne vezi dimenzioniramo na projektno vrednost napetosti tečenja, plastifikacije armature f_{yd} glede na notranje količine iz linearno – elastične analize modela z vezmi in razporami. Geometrija in pozicija vezi mora biti izbrana tako, da ojačitvena armatura ustreza dimenzijam.

Sidrišča armature so zagotovljena v vozliščih ali v morebitnih podaljšanih vozliščih. Območje podaljšanega vozlišča sega do presečišča razpore, širine določene iz vozlišča, pod kotom θ in težišča armaturnih palic. Armaturne palice oziroma varjene mreže morajo biti sidrne na ta način, da se sidrne sile varno prenesejo na beton, tako da preprečimo vzdolžno razpokanje in cepljenje elementa. Na številnih slikah (slike 45, 47, 48 in 49) je prikazano podaljšano vozlišče in primerna dolžina za zagotavljanje sidranja. V primeru, ko je dejanska sidrna dolžina sestavljena iz vsote dolžine dejanske podpore in podaljšanega vozlišča premajhna glede na računsko potrebno, lahko uporabimo naslednje ukrepe:

- podaljšamo palice za vozlišče (zamik podpore od zunanjega robu),
- uporabimo podložno pločevino in matice na zunanjem robu,
- povečamo dimenzije podpornega elementa,
- armiramo v večih slojih,
- varimo prečne palice prečno na vzdolžno armaturo,
- izvedemo sidrno zanko,
- krivljenje armature (koleno, kljuka).

V primeru krivljenja armature je potrebno na mestu zavoja dodati prečno palico za omejitvev cepilnih napetosti, ki v tem primeru nastanejo.

3.4.3 Dimenzioniranje detajlov in minimalna uporabljena armatura

Posebno pozornost je potrebno posvetiti detajlom, to je vozliščem, saj predstavljajo območja stičišč vseh sil z različnim predznaki, kjer se omenjene sile uravnovežijo. Zadostno nosilnost vozlišč zagotavljamo z ustrezno izbrano širino podpornega elementa, ustreznim ležiščem in z vgrajeno armaturo, ki ji zagotavljamo zadostno sidrno dolžino in na tak način zadostimo tudi kontrolam napetosti v diagonalni razpore. Med klasičnimi vozlišči je posebna pozornost

posvečena vozliščem z reduciranim podpornim elementom. Končna varianta izbire nadomestnega paličja po metodi z vezmi in razporami mora zagotoviti:

- prikaz položaja natezne armature
- da so vozlišča smiselno omejena s tlačnimi razporami, nateznimi vezmi in podpornimi elementi
- nameščeno zadostno minimalno armaturo

Modeli z nateznimi vezmi morajo biti v skladu s standardom glede razmikov med palicami, raznosu palic po širini območja kot tudi debelini. Prav tako je potrebna kontrola sidrišč, v smislu zadostne sidrne dolžine, krivljenja armatura ali mehanskega pritrjevanja, saj le tako omogočimo zadosten razvoj natezne sile. Kontrolo na strig, širino razpok v natezni coni in razpoke v razpori kot posledica prečne natezne sile, preverimo v skladu s SIST EN1992-1-1.

4 STENASTI NOSILCI

4.1 Splošno

Glede na Evrokod 2, element obravnavamo kot stenast nosilec, če je izpolnjen naslednji pogoj, pri čemer je »l« razpetina in »h« višina nosilca:

- $\frac{l}{h} < 3$, sicer nosilec.

Nekateri viri še ostreje omejujejo zgornjo vrednost razmerja l/h , kjer G.A. Rombach v monografiji z naslovom: »Finite element design of concrete structures: Practical problems and their solutions« omeji na $\frac{l}{h} \leq 2$. Razlog za različne mejne vrednosti razmerja l/h , je lahko

potek napetosti po elementu, ki je očitno linearen v polju in hkrati opazimo veliko podobnost med oblikami napetostnih diagramov nad vmesno podporo za stenaste nosilce pri razmerju

$\frac{l}{h} = 2$ in tistimi, ki imajo razmerja med razponom »l« in višino »h« večjo od dva. Oblika diagrama nateznih napetosti nad vmesno podporo, določa pri stenastih nosilcih, potek armiranja po višini in ker so napetostni diagrami med seboj podobni je način armiranja podoben. Le-ta pa se ponovno razlikuje glede na avtorje, kjer G.A. Rombach v omenjenem delu priporoča odsekoma linearen potek rastroja armature po višini, v primerjavi z Leonhrdtovim, kjer razstroj armature sledi trapezni obliki.

4.2 Modeliranje nosilcev

4.2.1 Modeliranje podpor

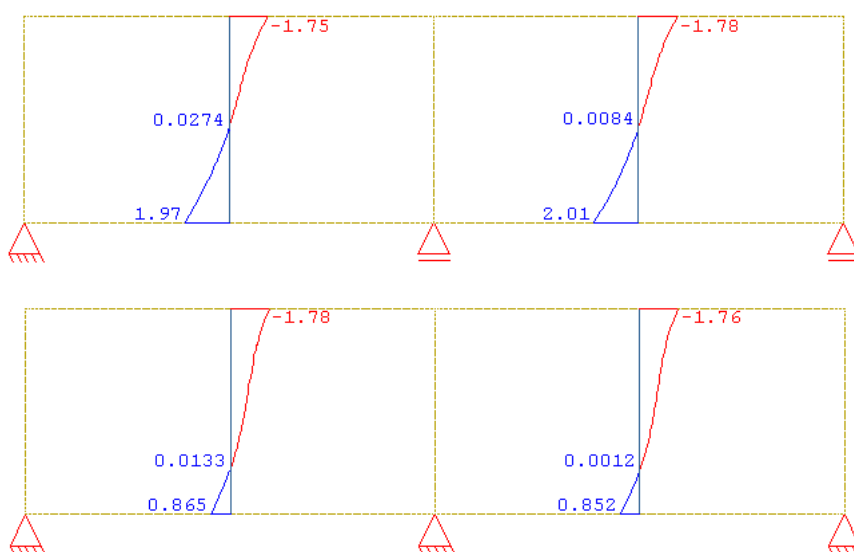
Za statično nedoločene konstrukcije, kot so stenasti nosilci čez več polj, je zelo pomembna natančnost definiranja podpornih pogojev. Za razliko od navadnih nosilcev je togost podpore in njeno deformiranje zelo pomembno, saj ima velik vpliv na napetosti in rezultante sil. Če bi

hoteli v analizi stenastih nosilcev zajeti tudi vpliv stebrov, bi morali poznati njihove dimenzije iz dejansko uporabljenih primerov gradnje ali pa njihove dimenzije določiti na podlagi kontaktnih napetosti ob ponovni analizi, zaradi razporeda notranjih sil pri statično nedoločenih nosilcih. S tem načinom bi pri prikazovanju razporeda napetosti po prerezu, predočili bolj enakomeren potek napetosti v območju podpiranja, kar pomeni manjše koncentracije sil.

4.2.2 Vpliv podpor na konstrukcijo

V primeru, ko je stenast nosilec nepomično podprt vsaj v vertikalni smeri, togost podpore ne smemo zanemariti. To stopi v veljavo še izraziteje, če nosilec nalega na vitkih stebrih ali na prečno postavljeni steni oziroma tam, kjer pričakujemo različne pomike. Reakcije in notranje statične količine v stenastih nosilcih čez več polj, se zelo odvisne od deformiranja/posedkov podpore. hitro spremenijo vrednosti pri različnih deformiranjih/posedkih podpore. V nadaljevanju G.A. Rombach v delu z naslovom: »Finite element design of concrete structures: Practical problems and their solutions« navaja primer posedanja srednje podpore na katero nalega nosilec čez dve polji, kjer njegove numerične študije pokažejo, da že pri posedku srednje podpore za 7mm, vertikalna reakcija v tej podpori doseže vrednost nič in razporeditev notranjih sil postane podobna kot pri nosilcu čez eno polje.

Pozornost je treba usmeriti tudi v način horizontalnega podpiranja. Preprečitev ali dopustitev horizontalnega pomika bistveno vpliva na napetosti v elementu in s tem na določitev potrebne armature ter zagotavljanje primerne sidranja. Velika razlika v nateznih napetostih v primeru različnega podpiranja stenastega nosilca je prikazana na sliki 55, kjer je stenast nosilec obtežen z zvezno linijsko obtežbo na zgornjem robu. Napetosti se pri stenastem nosilcu, ki je nepomično podprt v obeh smereh zmanjšajo iz $1,97\text{N/mm}^2$ na $0,865\text{N/mm}^2$, kar predstavlja $\frac{0,865\text{N/mm}^2}{1,97\text{N/mm}^2} * 100 = 44\%$ vrednosti napetosti pri stenastem nosilcu z dopuščenima horizontalnima pomikoma.



Slika 55: Primerjava poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri [N/mm²], pri enakomerni obtežbi na zgornjem robu po elementu glede na način podpiranja

4.2.3 Modeliranje podpor z vzmetmi

Stenasti nosilci so velikokrat podprti s stebri ali prečno steno. Vzemimo primer stebra z določeno upogibno in osno togostjo. Obe togosti morata biti zajeti oziroma nadomeščeni s svojima nadomestnima vzmetema. Model upogibne vzmeti ne more biti uporabljen v zvezi z ravninskimi elementi, ker pri ploskovnih elementih program računa z membranskimi silami, ki nimajo rotacijske kapacitete (prostostne stopnje). V splošnem so stenasti nosilci obremenjeni z velikimi vertikalnimi silami, ki potrebujejo velike površine prenosa obtežbe oziroma reakcij v podporah. Take površine podpiranja lahko zajamemo z večimi vzmetmi razvrščenimi na majhnih medsebojnih razdaljah.

Podatki za izračun osne in zasučne togosti stebra kot podpornega elementa:

- E_C elastični modul betona
- A_C prečni prerez stebra
- l dolžina stebra
- I_C vztrajnostni moment prereza
- C_N osna togost stebra

C_φ zasučna togost stebra

Oсна togost stebra:

$$C_N = \frac{E_C A_C}{l} \quad (4.1)$$

Zasučna togost stebra (odvisna od načina vpetja na nasprotnih straneh; vpeto, členkasto):

$$C_\varphi = \frac{4E_C I_C}{l} \quad (\text{steber togo vpet na obeh koncih}) \quad (4.2)$$

$$C_\varphi = \frac{3E_C I_C}{l} \quad (\text{steber na eni strani togo vpet in drugi členkasto}) \quad (4.3)$$

Ker zasučna togost vzmeti ne more biti uporabljena s ploskovnim elementom, njen vpliv zajamemo z dvema krajnima vzmetema na medsebojni razdalji »2a«, kjer je »a« razdalja od krajne vzmeti do središča podpore. Ponavadi se razdalja med krajnima vzmetema razlikuje od dolžine podpore.

Določitev potrebne razdalje »a«:

$$u_i = \varphi * a_i \quad (4.4)$$

$$F_i = C_N * u_i = C_N * \varphi * a_i \quad (4.5)$$

$$M_i = F_i * a_i = C_N * \varphi * a_i^2 \quad (4.6)$$

$$M = \sum M_i = \sum F_i * a_i = \sum C_N * \varphi * a_i^2 = C_\varphi * \varphi \quad (4.7)$$

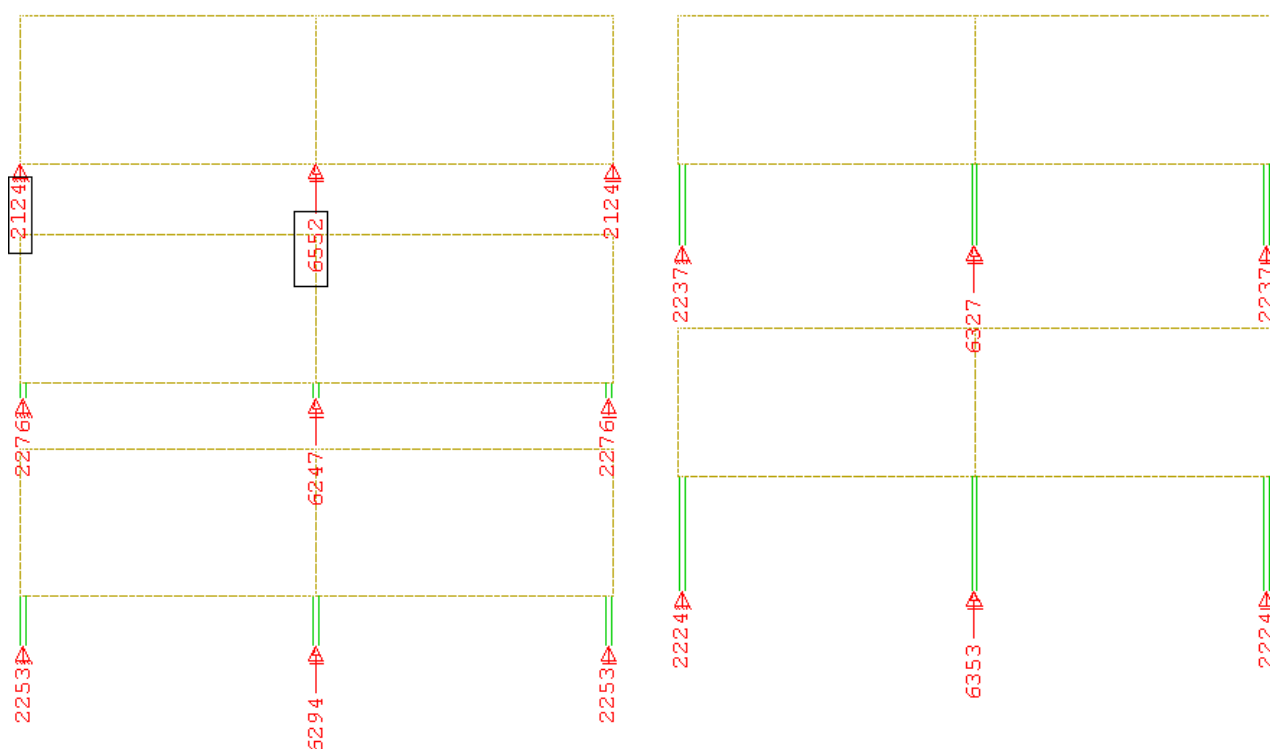
$$\Rightarrow C_\varphi = \sum C_N * a_i^2 \quad \text{in} \quad \Rightarrow a_i = \sqrt{\frac{C_\varphi}{\sum C_N}} \quad (4.8)$$

Iz enačb 4.1 in 4.3 opazimo, da sta osna iz zasučna togost poleg lastnosti materiala (E), odvisni tudi od dimenzij in oblike prečnega prereza, načina podpiranja in od dolžine stebra, ki vpliva na togost elementa tudi pri konstantnem prečnem prerezu. Ker pri statično nedoločenih konstrukcijah, vpliv podpiranja ne sme biti zanemarjen in ker bi bila višina stebra pri računskih primerih stenastih nosilcev, predstavljenih v »Prilogi«, izmišljena način podpiranja z vzmetmi ni bil uporabljen.

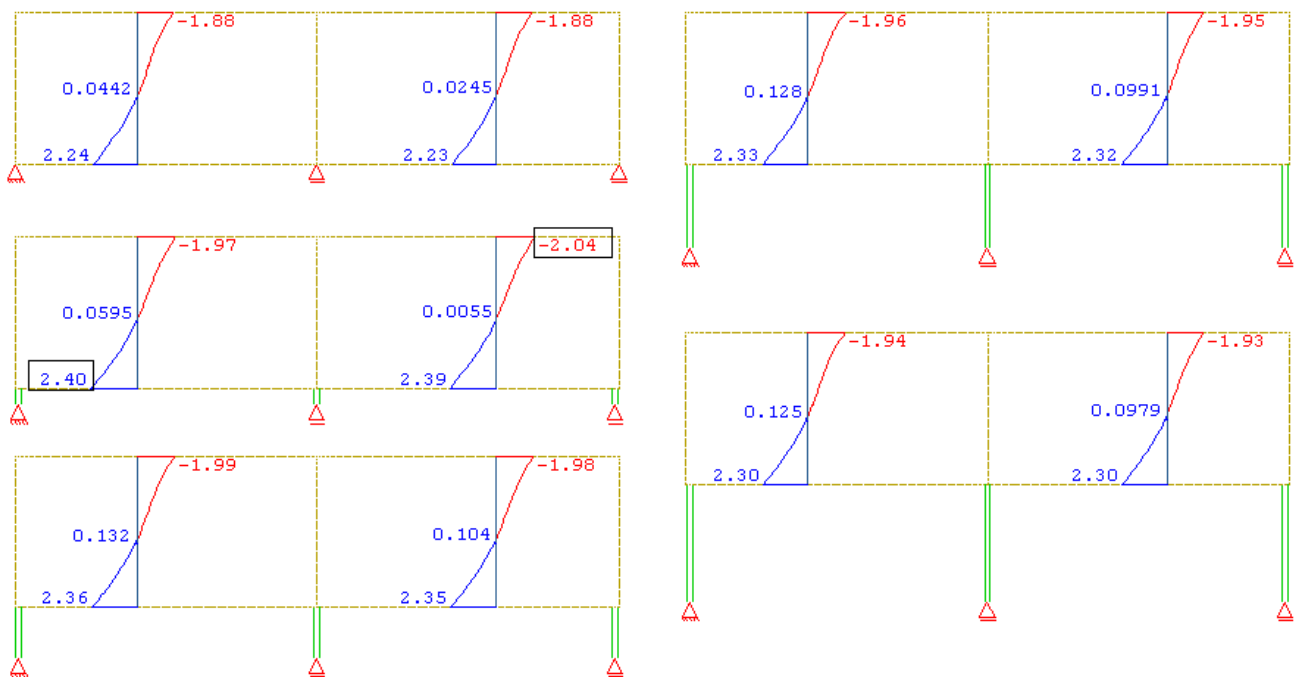
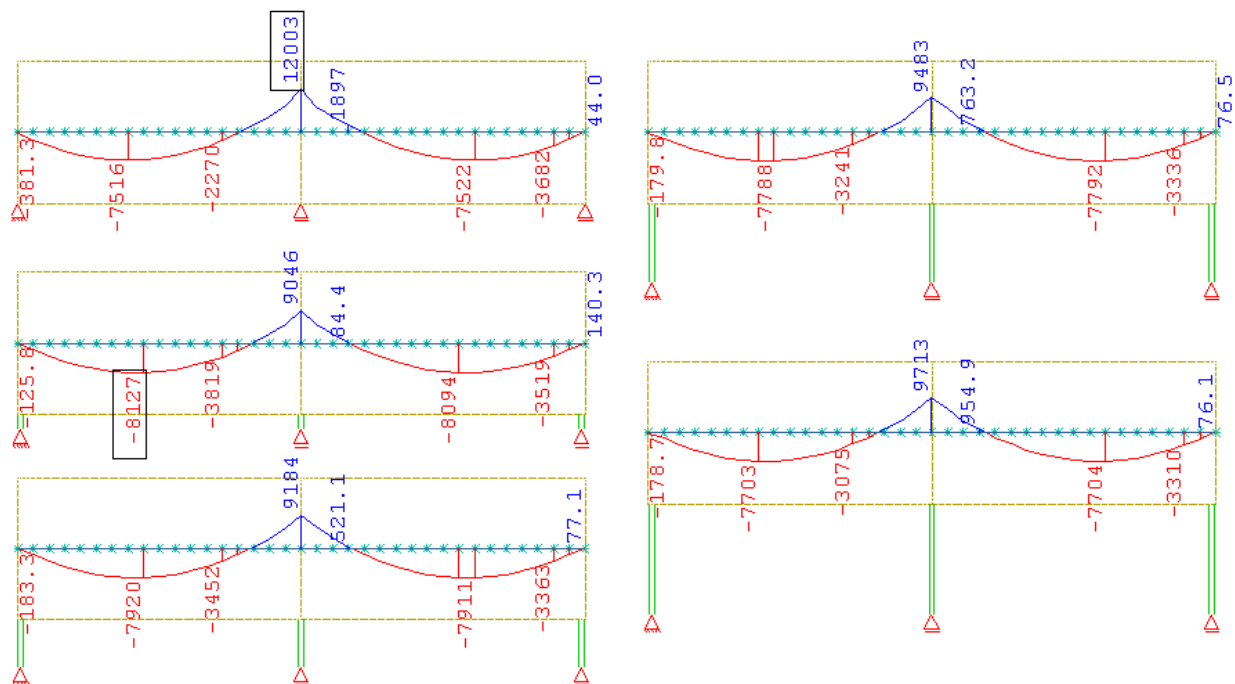
4.2.4 Modeliranje podpor s stebri

Stenast nosilec lahko modeliramo tudi z upoštevanjem dejanskih dimenzij stebra, kjer se ponovno pojavi vprašanje primerne višine.

Slika 56 predstavlja stenast nosilec čez dve polji ($l = 18\text{m}$ in $h = 9\text{m}$), obremenjen z zvezno linijsko obtežbo 300kN/m . Prvi primer nosilca podpirajo točkovne (idealne) podpore ter vsak naslednji primer stenastega nosilca podpirajo stebri različnih višin. Prečni prerez stebra je enak v vseh primerih in znaša za zunanja stebra $a/b = 45/30\text{cm}$ in notranji steber $a/b = 140/30\text{cm}$, kjer je dimenzija »b« enaka širini nosilca. Dimenzije stebra izhajajo iz kontrol kontaktnih napetosti v vozlišču. Višine stebrov v prikaznih primerih znašajo $1,0\text{m}$, v naslednjem $3,0\text{m}$, potem $5,0\text{m}$ ter zadnji višine $7,0\text{m}$.



Slika 56: Prikaz reakcij pri različnih načinih podpiranja nosilcev [kN]

Slika 57: Prikaz normalnih napetosti v vzdolžni smeri $[N/mm^2]$, pri različnih načinih podpiranja nosilcevSlika 58: Prikaz upogibnih momentov pri različnih načinih podpiranja nosilcev $[kNm]$

Pri različnih višinah stebra dobimo različen prenos obtežbe, raznos glede na razmerje togosti, kar je značilnost statično nedoločenih konstrukcij. Če pogledamo primerjavo reakcij opazimo, da so zunanje vrednosti krajnih reakcij večje pri kratkih (čokatih) stebrih kot pri daljših. Imajo

večjo togost, zato nekoliko večjo vplivno širino in lahko prevzamejo večjo obremenitev in s tem zmanjšujejo velikost reakcije srednje podpore. Z večanjem dolžine stebrov zmanjšujemo vrednost zunanjih reakcij (manjša togost) in povečujemo notranje. Seveda pojav posledično vpliva tudi na razporeditev ostalih količin po prerezu, naprimer s slike 57 predstavljena glavna napetost v vzdolžni smeri in s slike 58 upogibni moment. S padanjem vrednosti zunanjih reakcij, se povečujejo vrednosti upogibnih momentov nad podporo in hkrati se zmanjšujejo v polju.

Če primerjamo vrednosti notranjih količin predstavljenih na elementih podprtih s stebri in tistimi s togimi točkovnimi podporami opazimo, da je vrednost momenta nad podporo večja (varna stran) in momenti v polju točkovnih podpor manjši za 2,4% do 7,5% glede na vrednosti pri stenastih nosilcih podrti s stebri različnih višin. Razliko momentov v polju pokrijemo na račun dosti večjega armiranja nad podporo, kar nekako spominja na idejo redukcije upogibnega momenta. Pomeni, da del prereza nad podporo armiramo močneje (za toliko več, kolikor smo zmanjšali moment v polju) in zaradi delitve obtežbe v razmerju togosti, bo posledično omenjeni del resnično prevzel toliko večji delež moment nad podporo in s tem zmanjšal moment v polju. Pogoji za uporabimo prerazporeditev upogibnih momentov je zagotavljanje zadostne duktilnosti prereza, ustrezne rotacijske sposobnosti in ravnotežje prereza samega.

Poglavja 4.2.2, 4.2.3 in 4.2.4, predstavljajo razloge zakaj so stenasti nosilci v računskih primerih, predstavljeni v »Prilogi«, analizirani s togimi točkovnimi podporami.

4.3 Armiranje

Pri velikem številu regularnih stenastih nosilcih in njihovih tipičnih modelih z vezmi in razporami lahko direktno apliciramo in izberemo primerne prereze in količino armature za mejna stanja nosilnosti. Pri določevanju računsko potrebne armature sledimo pravilom iz poglavja »Vezi«, ob upoštevanju primerne sidrne dolžine, razvrstitve palic po prerezu, medsebojnih razmikov, preklapov, skratka ustreznega detajliranja.

Zaradi proporcionalnosti armature je priporočljivo začeti z dodatno armaturo, ki je po SIST EN 1992; Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe, v velikosti 0.2% prečnega prereza, pomeni na vsako stran in v vsaki smeri elementa po $0,10\% \cdot A$ (A pomeni ploščino prereza na tekoči meter), armature, ki je lahko sestavljena iz vertikalnih in horizontalnih palic, kjer so ponavadi horizontalne palice na notranji strani vertikalnih ali ortogonalna armaturna mreža, enako nosilna v obeh smereh (Q – mreža). Omenjene palice naj se prekrivajo blizu robov z zankasto armaturo ali obešalno – stremensko armaturo. Površinska armatura ima lahko tudi pomembno vlogo pri mejni obtežbi in mora biti dopolnilo za velike lokalne natezne sile, posebno za sile vzdolž robov in prečne natezne sile, ki so posledica velikih tlakov v razpori. Na območjih znatnih nateznih sil, kjer so razpoke pričakovane, zaradi obtežbe, podpor ali skupnih vplivov, mora biti armatura dimenzionirana oziroma prekontrolirana na podlagi kontrole razpok kot to navaja standard SIST EN 1992-1-1.

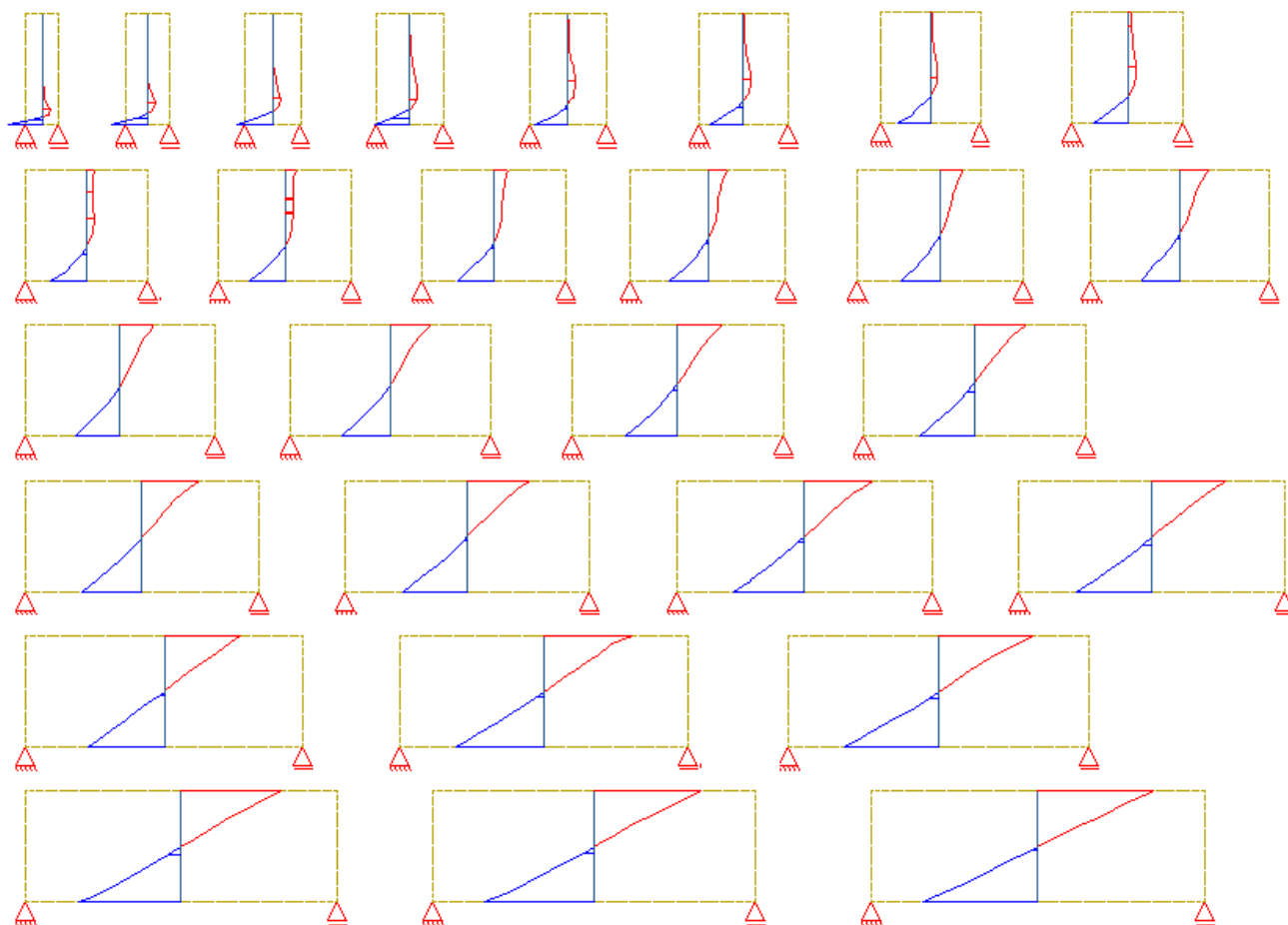
Vsaj dve debelejši vogalni palici morata biti položeni vzdolž vseh robov stenastih nosilcev, zaradi različnih razlogov, ki niso upoštevani v analizi, kot so površinske obremenitve ali podpiranje ali različna naleganja.

Večje količine armature vzdolž robov polagamo v večih slojih in tako povečamo višino vozlišča »u« (glej sliko 45 ali 47) na območjih stikovanja z ostalimi elementi modela, v okolici podpore oziroma sidranja. Standard predlaga za armiranje stenastih nosilcev v polju višino $0,12h$, če je $h < l$, sicer obratno. Kritična mesta stenastih nosilcev so običajno območja podpiranja. Potrebna je natančna analiza in primerno detajliranje.

Vezi v modelu, ki so oddaljene od robov, naprimer vzdolžna armatura za prevzem negativnih momentov pri kontinuiranih stenastih nosilcih, poteka po višini, njena razporeditev katera je odvisna od poteka napetosti po prerezu glede na različna razmerja razpona in višine. Potek napetosti po prerezu z linearno elastično analizo, se izkaže kot dobra podlaga za razporeditev omenjene armature.

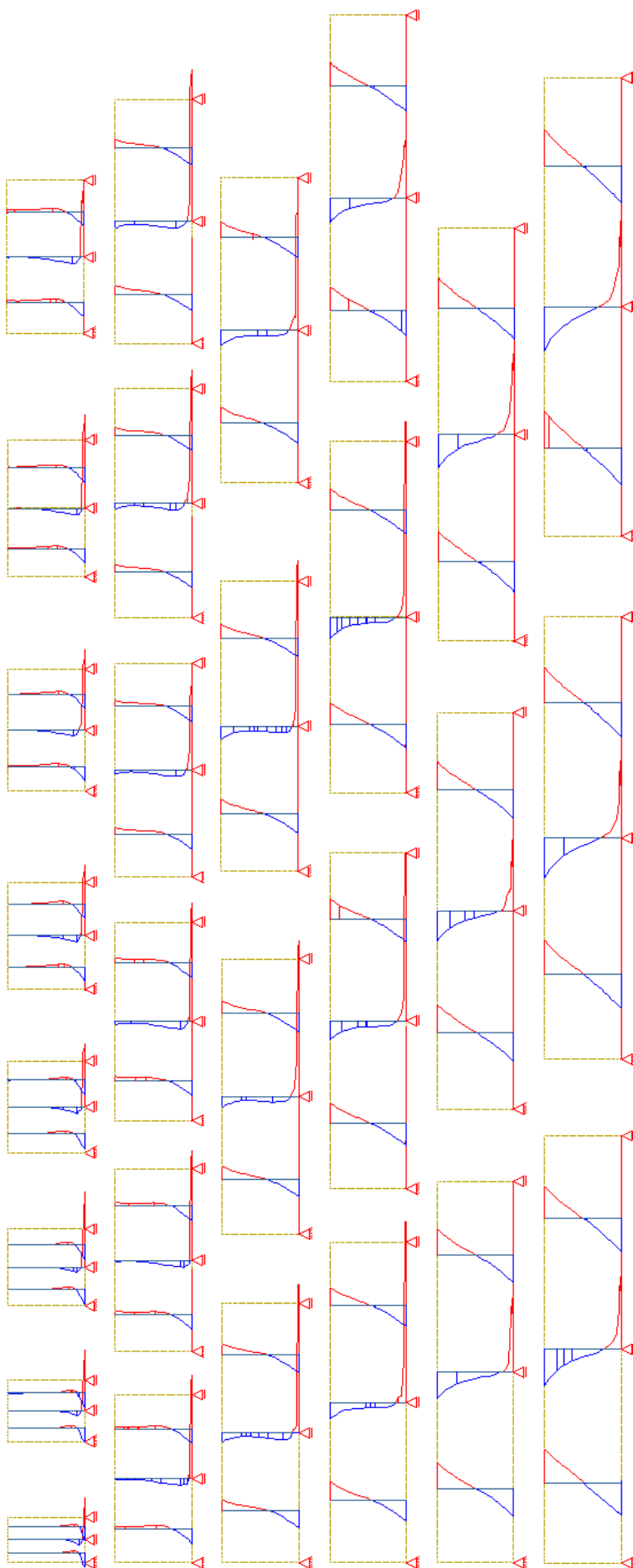
Obešena obtežba, ki deluje na spodnji polovici stenastega nosilca, zahteva dodatno stremensko armaturo, ki jo prenaša v tlačno območje nad lok, po katerem se potem prenaša do

podpor. S takim ukrepom zmanjšamo prenatrpanost armature in reduciramo velikost natezne sile.



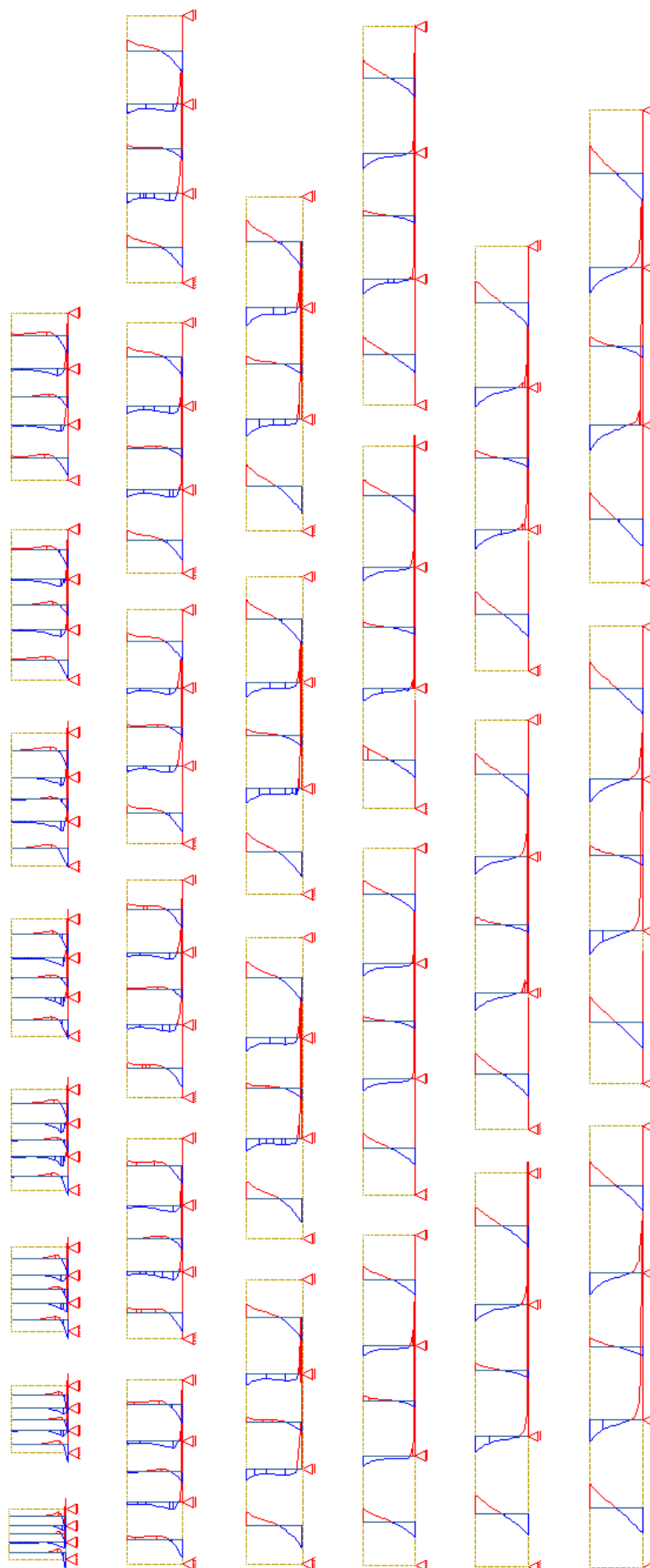
Slika 59: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu, za stenast preko enega polja, obremenjen z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino

Slika 59 ponazarja potek normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu za stenast nosilec preko enega polja obremenjen z linijsko obtežbo na zgornjem robu, za razmerja razpona z višino od 0,3 do 3, po koraku 0,1, pri konstantni višini 5 metrov. Že za razmerja večja 2,0 je opazen linearen potek napetosti po elementu v polju.



Slika 60: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu za stenast nosilec preko dveh polj, obremenjenim z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino

Slika 60 prikazuje potek napetosti po elementu za stenast nosilec preko dveh polj, obremenjen z linijsko obtežbo na zgornjem robu, za razmerja razpona z višino od 0,3 do 3, po koraku 0,1, pri konstantni višini 5 metrov. Glede na različne oblike potekov napetosti nad podporo potrebujemo različne načine armiranja in oblika napetostnih diagramov v polju je podobna kot jih prikazuje slika 59.



Slika 61: Prikaz poteka normalnih napetosti v vzdolžni smeri po elementu za stenast nosilec preko treh polj, obremenjenim z linijsko obtežbo, pri različnih razmerjih med razpetino in višino

Slika 61 prikazuje potek napetosti po elementu za stenast nosilec preko treh polj, obremenjen z linijsko obtežbo na zgornjem robu, za razmerja razpona z višino od 0,3 do 3, po koraku 0,1, pri konstantni višini 5 metrov. Glede na različne oblike potekov napetosti nad podporo potrebujemo različne načine armiranja in oblika napetostnih diagramov v polju kot tudi nad vmesno podporo je podobna sliki 60.

4.4 Kontrole povezane z betonom

Praviloma se napetosti v betonu kontrolirajo v vozliščih. Za stenaste nosilce ni običajna neposredna kontrola striga (tlačni lok). Kontrole v betonu morajo slediti navodilom iz predhodnih poglavij o razporah in vozliščih.

Stenasti nosilci utrpijo majhne deformacije za prevzem notranjih sil in podpornih reakcij. Površinska armatura (na licu elementa, $0,10\% \cdot A$ na vsako stran) kot jo določajo pravila, mora zagotoviti potrebno duktilnost elementa.

4.5 Opis postopka reševanja računskih primerov

Opisana sta dva sklopa nalog reševanja, pri čemer je drugi del predstavljen v »Prilogi«.

4.5.1 Določitev naklonskega kota diagonalne razpore za enostavne primere stanastih nosilcev

4.5.1.1 Uvod

Pri besedni zvezi »stenasti nosilec«, projektant avtomatsko pomisli na »Leonhardtov« pristop reševanja problematike, ki se je dobro uveljavil v praksi. Pomeni, da pri znani vrednosti upogibnega momenta, izračunanega kot pri navadnih linijskih nosilcih, z uporabo »Leonhardtove« ročice, določimo vrednosti sile nadomestne dvojice sil, to je rezultante. Enačba ročice sil oziroma razdalja med resultantama napetosti tlačnega in nateznega dela diagrama napetosti, je določena na teoretični podlagi in podkrepljena ter kalibrirana z rezultati obsežnih eksperimentalnih raziskav.

Slednje je pri reševanju računskih primerov stanastih nosilcev predstavljenih v drugem sklopu nalog botrovalo, da za stenaste nosilce čez eno, dve in tri polja, obremenjene z linijsko

obtežbo, določim vsakemu posebej za različna razmerja razpona z višino, skupno enačbo s katero izračunamo kot naklona stikovanja diagonalne razpore na vozlišče elementa, ki hkrati predstavlja povezavo med zgornjim in spodnjim pasom paličja. Na podlagi enačb kota in reakcije na dotičnem vozlišču izračunamo rezultanto nateznih napetosti v polju in nad podporo ter vrednost sile v diagonalni razpori.

Pomembno je omeniti, da enačbe kotov naklona veljajo pri nosilcih čez dve polji in tri polja samo v primeru enakih razpetin.

Opazna razlika med dimenzioniranjem z metodo razpor in vezi in po »Leonhardt« je v tem, da nam metoda vezi in razpor omogoča natančnejšo analizo nosilca, saj poleg nosilnosti vozlišča kontroliramo tudi napetosti v razpori, ki je velikokrat spregledana in lahko tudi problematična.

4.5.1.2 Potek določevanja enačb za kot med pomembno vezjo in poševno razporo

Za vsako skupino nosilcev, pomeni preko enega, dveh in treh polj je bilo analiziranih za različne načina obremenitve (maxM v polju, minM nad podporo) skupaj po 43 primerov za vsak obtežni primer posebej. Znotraj vsake skupine so podane tri enačbe za določitev kota, katerega bralec ne pozna, ki pripadajo območjem razmerja med razponom in višino $\frac{l}{h}$ od 0,3-1,0, od 1,0-2,0 in od 2,0-3,0.

Od tega je bilo 28 primerov nosilcev obremenjenih z zvezno linijsko obtežbo in s konstantno višino $h = 5\text{m}$, z večanjem razpona »l« od 1,5m do 15m po koraku 0,5m, od razmerja $l/h = 1,5$ do $l/h = 3,0$.

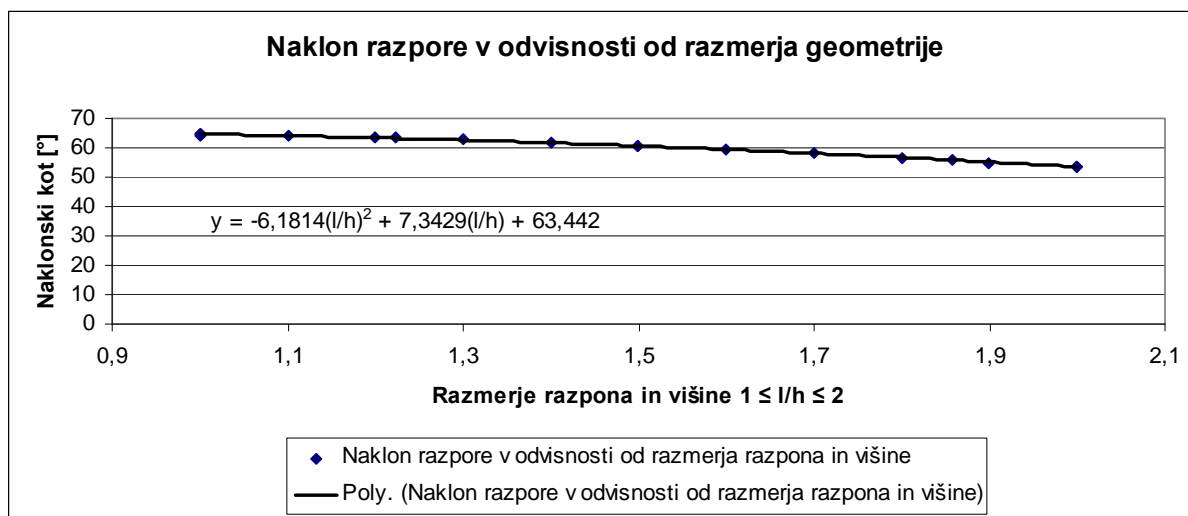
Pri ostalih 15 primerih, prav tako obremenjeni z zvezno linijsko obtežbo, pa so dimenzije poljubno izbrane, tako da pet nosilcev pripada razmerju l/h od 0,3 – 1,0 naslednjih pet od 1,0 – 2,0 in zadnjih pet od 2,0 – 3,0.

Pri vseh nosilcih smo izvedli analizo napetostnega stanja in pri vsakem nosilcu je bila odčitana reakcija in dvojica sil na mestu največjih napetosti po linearni teoriji elastičnosti z uporabo programskega paketa »Sofistik« ter izračunan pripadajoči kot naklona tlačne razpore v podpori. Podatki so tabelarično zbrani in obdelani v programu »Excel«. Na grafu naklona razpore v odvisnosti od razmerja dolžine in višine nosilca, so z diskretnimi točkami predstavljeni, razmerju geometrije pripadajoči naklonski koti razpor. Vrednosti kotov povezuje polinomska funkcija drugega reda določena s pomočjo Excelove funkcije »Trendline«. Vsaka taka funkcija opisuje naklon kota za vsako skupino nosilcev posebej, za razmerja med dolžino in višino od 0,3-1,0, od 1,0-2,0 in od 2,0-3,0. Znotraj vsakega razmerja je enačba korigirana tako, da je čim manjše odstopanje naklonskega kota in s tem rezultante od referenčne vrednosti dobljene s programskim paketom »Sofistik«. Podoben postopek bi lahko bil vpeljan za določitev ročice med rezultantama, ki bi lahko prikazoval razdaljo med zgornjim in spodnjim pasom paličja, ki bi ponazarjal dovolj dober približek višine paličja.

Prikaz »Excelovega« vrednotenja rezultatov za primer stenastega nosilca čez eno polje:

OBTEŽBA PO CELOTNI DOLŽINI NA ZGORNJEM ROBU										
q = 1 kN/m										
h	l	l/h	Reakcija krajne podpore [kN] (Sofistik)	Vplivno območje reakcije lz [m] (Sofistika)	Dvojica sil (Sofistik)	Pripadajoči kot α	Vrednost sile v diagonali	Lega spodnje	Lega zgornje	Ročica
5	1,5	0,3	0,75	0,75	0,36	64,35899418	0,831925477	0,132	0,938	0,806
5	2	0,4	1	1	0,472	64,7326895	1,105795641	0,175	1,24	1,065
5	2,5	0,5	1,25	1,25	0,585	64,92040598	1,380117749	0,214	1,51	1,296
5	3	0,6	1,5	1,5	0,713	64,57670117	1,660833827	0,253	1,85	1,597
5	3,5	0,7	1,75	1,75	0,811	65,13564606	1,928787443	0,277	2,13	1,853
5	4	0,8	2	2	0,911	65,51073507	2,197708124	0,351	2,48	2,129
5	4,5	0,9	2,25	2,25	1,07	64,56631625	2,491465432	0,358	2,74	2,362
5	5	1	2,5	2,5	1,2	64,35899418	2,773084925	0,403	3,05	2,647
5	5,5	1,1	2,75	2,75	1,33	64,18990076	3,054734031	0,436	3,28	2,844
5	6	1,2	3	3	1,48	63,74134045	3,345205524	0,483	3,49	3,007
5	6,5	1,3	3,25	3,25	1,67	62,80380909	3,653956759	0,534	3,7	3,166
5	7	1,4	3,5	3,5	1,89	61,63095371	3,977700341	0,576	3,84	3,264
5	7,5	1,5	3,75	3,75	2,1	60,75117366	4,297964635	0,616	3,94	3,324
5	8	1,6	4	4	2,37	59,35325856	4,64939781	0,655	4,02	3,365
5	8,5	1,7	4,25	4,25	2,66	57,95827698	5,013790981	0,695	4,06	3,365
5	9	1,8	4,5	4,5	2,98	56,48658899	5,397258563	0,725	4,11	3,385
5	9,5	1,9	4,75	4,75	3,35	54,80609276	5,812486559	0,743	4,13	3,387
5	10	2	5	5	3,69	53,5726744	6,214185385	0,767	4,14	3,373
5	10,5	2,1	5,25	5,25	4,06	52,28402365	6,636723589	0,776	4,16	3,384
5	11	2,2	5,5	5,5	4,47	50,89829829	7,087376101	0,786	4,17	3,384
5	11,5	2,3	5,75	5,75	4,87	49,73685127	7,535210681	0,796	4,17	3,374
5	12	2,4	6	6	5,34	48,33091738	8,032160357	0,805	4,18	3,375
5	12,5	2,5	6,25	6,25	5,8	47,13868258	8,526576101	0,816	4,18	3,364
5	13	2,6	6,5	6,5	6,26	46,07753651	9,024278365	0,819	4,18	3,361
5	13,5	2,7	6,75	6,75	6,73	45,08500851	9,531809902	0,816	4,17	3,354
5	14	2,8	7	7	7,3	43,79816694	10,11385189	0,821	4,18	3,359
5	14,5	2,9	7,25	7,25	7,79	42,94372099	10,64173858	0,815	4,18	3,365
5	15	3	7,5	7,5	8,37	41,86216238	11,23863426	0,822	4,18	3,358

Slika 62: Prikaz rezultatov analize 28 primerov stenastih nosilcev



Slika 63: Ujemanje polinomske funkcije »Trendline«, ki opisuje z upoštevanimi diskretnimi vrednostmi naklonski kot tlačne razpore za razmerje $1 \leq l/h \leq 2$

Dvojica sil [kN]	Pripadajoči kot α [°]	Vrednost sile v diagonali [kN]	Legs spodnje rezultante [m]	Legs zgornje rezultante [m]	Ročica [m]	Izračunani kot α [°] glede na trendine	Pripadajoča rezultanta napetosti [kN]	Razlika rezultat (kN)
						$y = -6,18x^2 + 7,34x + 63,4$		
1,2	64,3589942	2,773084925	0,403	3,05	2,647	64,56	1,189226833	-0,010773167
0,948666667	64,6234554	2,213587234	0,311	2,41	2,099	64,56	0,951381466	0,002714799
2,374333333	64,5985153	5,535111451	0,796	6,04	5,244	64,56	2,378453665	0,004120332
1,33	64,1899008	3,054734031	0,436	3,28	2,844	63,9962	1,3414904	0,0114904
1,48	63,7413404	3,345205524	0,483	3,49	3,007	63,3088	1,508265534	0,028265534
2,749	63,4432834	6,14873979	0,887	6,39	5,503	63,13925926	2,785572306	0,036572306
1,67	62,8038091	3,653956759	0,534	3,7	3,166	62,4978	1,892001526	0,022001526
1,89	61,6309537	3,977700341	0,576	3,84	3,264	61,5632	1,895349142	0,005349142
2,1	60,7511737	4,297964635	0,616	3,94	3,324	60,505	2,121215938	0,021215938
3,383333333	60,5818318	6,888174246	0,984	6,31	5,326	60,505	3,393945501	0,010812168
2,37	59,3532586	4,64939781	0,655	4,02	3,365	59,3232	2,372836051	0,002836051
2,66	57,958277	5,013790981	0,695	4,06	3,365	58,0178	2,653859217	-0,006140783
2,98	56,486589	5,397258563	0,725	4,11	3,385	56,5888	2,968465556	-0,011534444
4,443333333	55,6438889	7,873576767	1,02	5,77	4,75	55,71673469	4,431218002	-0,012115331
3,35	54,8060928	5,812486559	0,743	4,13	3,387	55,0362	3,321515282	-0,028484718
3,69	53,5726744	6,214185385	0,767	4,14	3,373	53,36	3,718746457	0,028746457
2,935333333	53,7275373	4,96146972	0,61	3,31	2,7	53,36	2,974997165	0,039663832
2,935333333	53,7275373	4,96146972	0,61	3,31	2,7	53,36	2,974997165	0,039663832

Slika 64: Primerjava diskretnih vrednosti rezultatov kota naklona tlačne razpore in rezultante dobljene s programskim paketom »Sofistik« in s »Trendline« funkcijo.

Zgornja razpredelnica prikazuje poleg rezultatov kota tlačne razpore in rezultante tlačnih oziroma nateznih napetosti dobljenih s programskim paketom »Sofistik« in »Trendline« funkcijo tudi razliko rezultatov rezultat, kjer opazimo da pri 1000 krat povečani obtežbi nastane odstopanje vrednosti rezultat za približno 40kN, kar ustreza palici $\phi 11$.

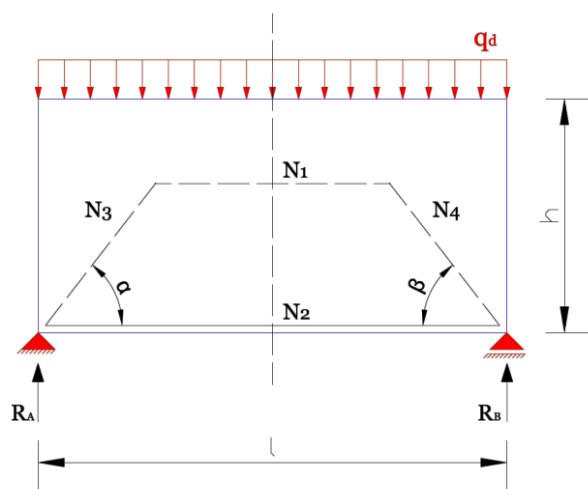
4.5.1.3 Prikaz rezultatov

Legenda oznak palic v modelu z vezmi in razporami:

$N_1, N_2, N_5, N_6, N_7, N_{10}, N_{11}, N_{12}$	rezultante normalnih napetosti tlačnega in nateznega diagrama vzdolž elementa v polju in nad podporo [kN]
$N_3, N_4, N_8, N_9, N_{13}, N_{14}$	sile v diagonalnih tlačnih razporah [kN]
R_A, R_B, R_C	sile v podpornih reakcijah
$V_{B,l}$ in $V_{B,d}$	vrednost prečne sile na levi in desni strani reakcije R_B
$V_{C,l}$ in $V_{C,d}$	vrednost prečne sile na levi in desni strani reakcije R_C
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	naklonski koti tlačnih diagonalnih razpor
β_l, β_d	naklonski kot posamezne tlačne diagonalne razpore na levi in desni strani vmesne podpore
γ_l, γ_d	naklonski kot posamezne tlačne diagonalne razpore na levi in desni strani vmesne podpore

4.5.1.3.1 Stenast nosilec čez eno polje

Z obtežbo po celotni dolžini določimo največje vrednosti vzdolžnih normalnih napetosti po elementu v polju. Zaradi simetrije obtežbe in geometrije elementa sta vrednosti kota naklona α in β diagonalnih razpor enaka, kot sta enaki tudi sili N_3 in N_4 v tlačnih diagonalah.



Slika 65: Nosilec čez eno polje

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \alpha = \beta = -3,83 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 5,05 \frac{l}{h} + 63,34 \quad (4.9)$$

$$1 \leq \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha = \beta = -6,18 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 7,34 \frac{l}{h} + 63,4 \quad (4.10)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha = \beta = 2,52 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 24,35 \frac{l}{h} + 92,3 \quad (4.11)$$

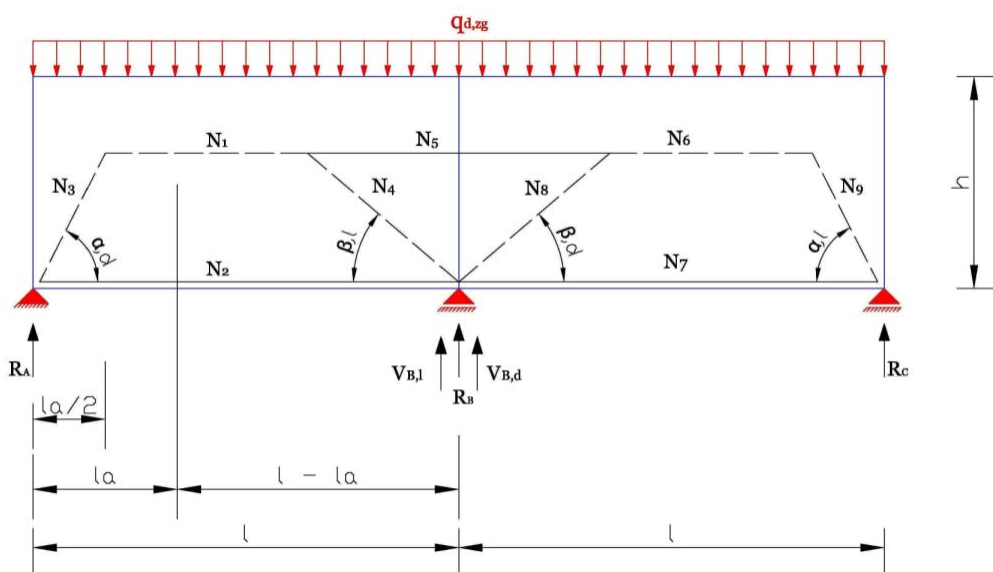
Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha} \quad (4.12)$$

$$N_3 = \frac{R_A}{\sin \alpha} \quad (4.13)$$

4.5.1.3.2 Stenast nosilec čez dve polji

Z obtežbo po celotni dolžini določimo največje vrednosti vzdolžnih normalnih napetosti po elementu nad podporo. Zaradi simetrije obtežbe in geometrije elementa so vrednosti sil v paličju kot tudi naklonski koti levo in desno od vmesne podpore enaki.



Slika 66: Nosilec čez dve polji z obtežbo po celotni dolžini

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \alpha_d = \alpha_l = -0,91 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 1,06 \frac{l}{h} + 67,66 \quad (4.14)$$

$$1 < \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha_d = \alpha_l = -5,43 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 8,38 \frac{l}{h} + 65 \quad (4.15)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha_d = \alpha_l = 1,646 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 18,75 \frac{l}{h} + 91 \quad (4.16)$$

Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha_d} \quad (4.17)$$

$$N_3 = N_9 = \frac{R_A}{\sin \alpha_d} \quad (4.18)$$

Vrednost kota tlačne diagonale nad vmesno podporo, potrebnega za določitev rezultante »N₅« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₄« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} < 1: \quad \beta_l = \beta_d = 7,4 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 14,4 \frac{l}{h} + 68,8 \quad (4.19)$$

$$1 \leq \frac{l}{h} \leq 2: \quad \beta_l = \beta_d = 2,6 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 11,1 \frac{l}{h} + 70 \quad (4.20)$$

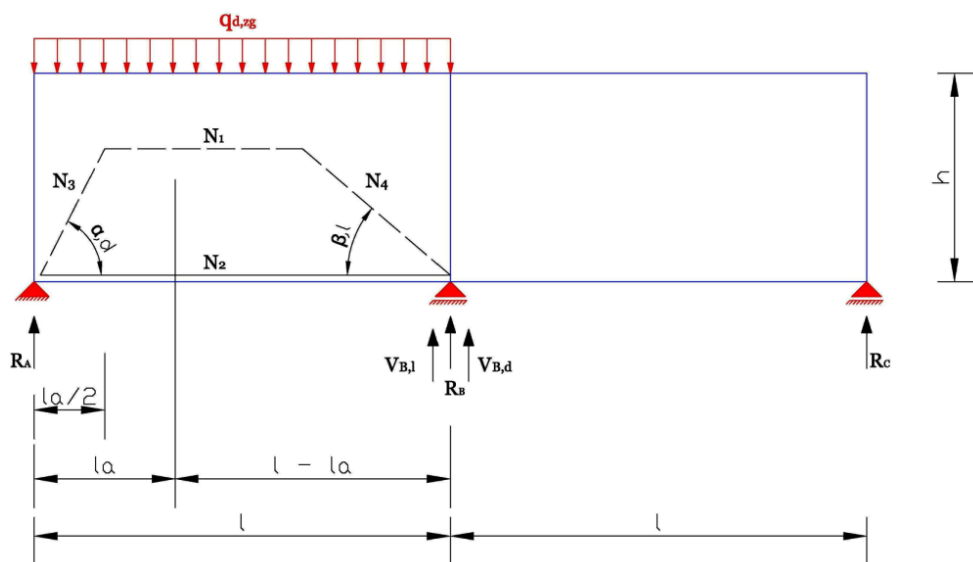
$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_l = \beta_d = 1,7 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 15,5 \frac{l}{h} + 82,6 \quad (4.21)$$

Določitev rezultante »N₇« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₄«:

$$N_5 = \frac{V_{B,l}}{\tan \beta_l} = \frac{V_{B,d}}{\tan \beta_d} \quad (4.22)$$

$$N_4 = N_8 = \frac{R_{levo}}{\sin \beta_l} \quad (4.23)$$

Obtežba na prvem polju za določitev največjih normalnih napetosti vzdolž elementa v polju. V tem primeru sta naklonska kota tlačnih diagonal α_d in β_l enaka, enaki sta tudi vrednosti sil v obeh tlačnih diagonalah N_3 in N_4 , kot tudi reakciji R_A in $V_{B,l}$.



Slika 67: Nosilec čez dve polji obtežen preko enega polja

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebne za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} < 1: \quad \alpha_1 = \beta_1 = -14,26 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 19,31 \frac{l}{h} + 63,9 \quad (4.24)$$

$$1 \leq \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha_1 = \beta_1 = -2,24 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 5,82 \frac{l}{h} + 77,0 \quad (4.25)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha_1 = \beta_1 = 1,96 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 21,1 \frac{l}{h} + 91 \quad (4.26)$$

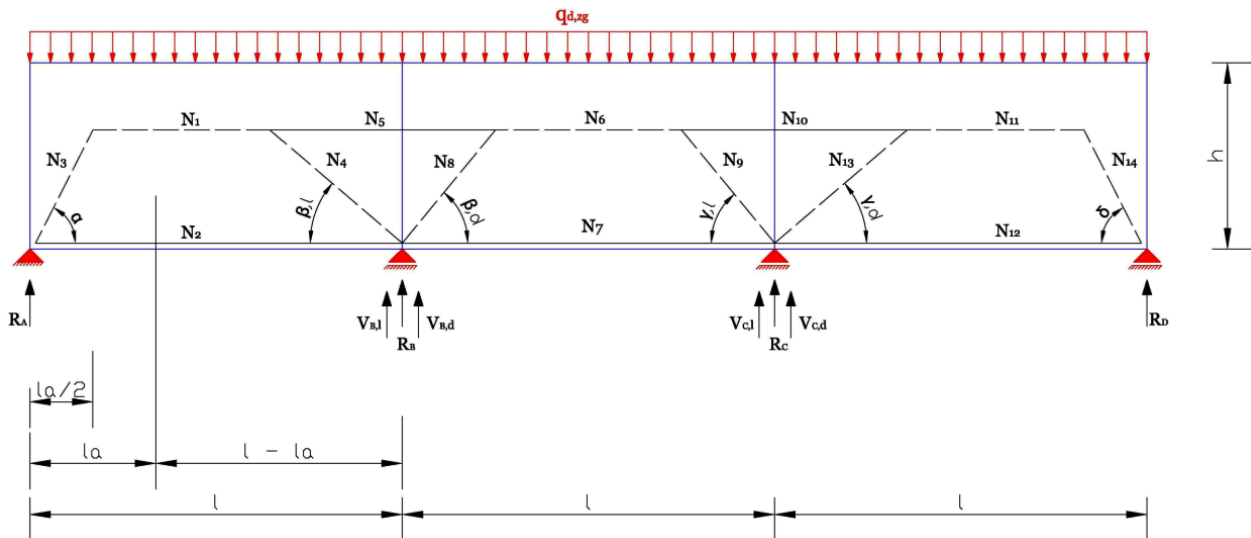
Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha_d} \quad (4.27)$$

$$N_3 = N_4 = \frac{R_A}{\sin \alpha_d} \quad (4.28)$$

4.5.1.3.3 Stenast nosilec čez tri polja

Obtežba po celotni dolžini, ki lahko ponazarja lastno in stalno težo. Zaradi simetrije obtežbe in geometrije elementa so vrednosti sil v paličju kot tudi naklonski koti levo in desno od polovične dolžine vmesne razpetine enaki.



Slika 68: Nosilec čez tri polja obremenjen po celotni dolžini

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \alpha = \delta = -3 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 5,14 \frac{l}{h} + 66 \quad (4.29)$$

$$1 < \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha = \delta = -6,26 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 9,77 \frac{l}{h} + 64,7 \quad (4.30)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha = \delta = 1,52 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 18,72 \frac{l}{h} + 90,7 \quad (4.31)$$

Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha} \quad (4.32)$$

$$N_3 = \frac{R_A}{\sin \alpha} \quad (4.33)$$

Vrednost kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₇« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \beta_d = \gamma_l = 6,23 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 6,1 \frac{l}{h} + 80,4 \quad (4.34)$$

$$1 < \frac{l}{h} \leq 2: \quad \beta_d = \gamma_l = -4,62 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 14,53 \frac{l}{h} + 70,74 \quad (4.35)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_d = \gamma_l = 0,18 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 5,18 \frac{l}{h} + 91 \quad (4.36)$$

Določitev rezultante »N₇«:

$$N_7 = \frac{V_{B,d}}{\tan \beta_d} = \frac{V_{C,l}}{\tan \gamma_l} \quad (4.37)$$

Vrednost kota tlačne diagonale nad vmesno podporo, potrebnega za določitev rezultante »N₅« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₄« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \beta_l = \gamma_d = -8,83 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 5,49 \frac{l}{h} + 65,63 \quad (4.38)$$

$$1 < \frac{l}{h} < 2: \quad \beta_l = \gamma_d = 3,2 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 11,84 \frac{l}{h} + 71,1 \quad (4.39)$$

$$2 \leq \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_l = \gamma_d = -5,2 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 20,5 \frac{l}{h} + 39,5 \quad (4.40)$$

Določitev rezultante »N₅« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₄«:

$$N_5 = \frac{V_{B,l}}{\tan \beta_l} = \frac{V_{B,d}}{\tan \beta_d} \quad (4.41)$$

$$N_4 = \frac{V_{B,l}}{\sin \beta_l} \quad (4.42)$$

Vrednost kota tlačne diagonale nad vmesno podporo, potrebnega za določitev rezultante »N₅« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₈« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \beta_d = \gamma_l = -9,87 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 6,63 \frac{l}{h} + 61,36 \quad (4.43)$$

$$1 < \frac{l}{h} < 2: \quad \beta_d = \gamma_1 = 4,25 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 15,0 \frac{l}{h} + 69,3 \quad (4.44)$$

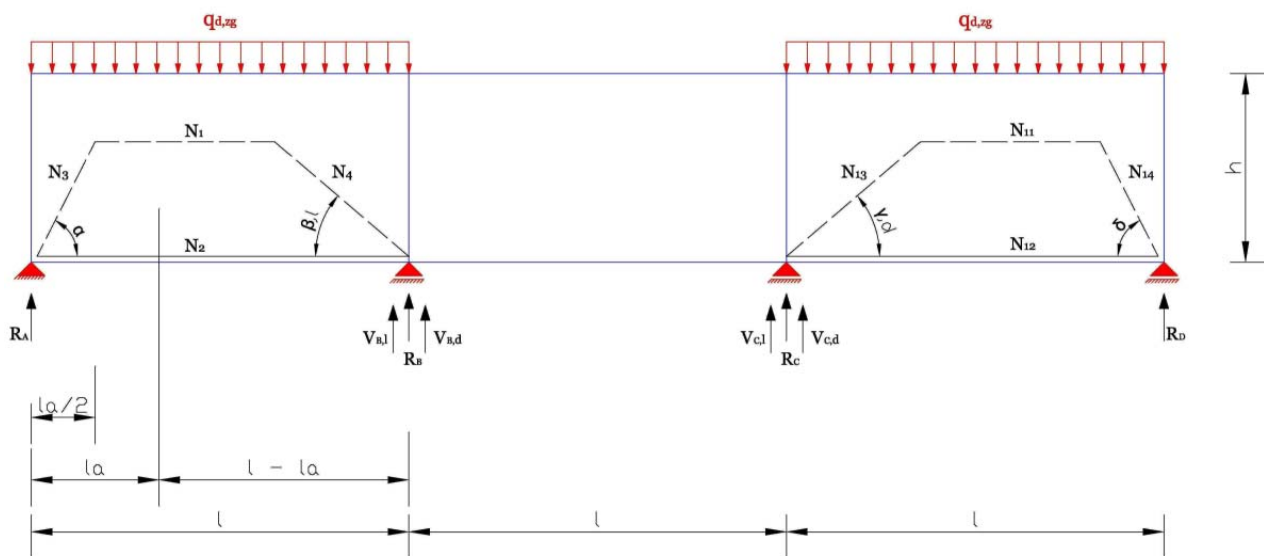
$$2 \leq \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_d = \gamma_1 = -5,32 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 20,6 \frac{l}{h} + 35,5 \quad (4.45)$$

Določitev rezultante »N₅« in sile v tlačni diagonalni razpori »N₈«:

$$N_5 = \frac{V_{B,l}}{\tan \beta_l} = \frac{V_{B,d}}{\tan \beta_d} \quad (4.46)$$

$$N_8 = \frac{V_{B,d}}{\sin \beta_d} \quad (4.47)$$

Z obtežbama na krajnih dveh poljih določimo največje normalne napetosti vzdolž elementa v polju. V tem primeru sta naklonska kota tlačnih diagonal α in β_l enaka, enaki sta tudi vrednosti sil v obeh tlačnih diagonalah N₃ in N₄ kot tudi reakciji R_A in R_{B,levo}. Podobno velja za palični mehanizem v tretjem polju.



Slika 69: Nosilec čez tri polja obtežen na krajnih dveh poljih

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} < 1: \quad \alpha = \beta_1 = -6,4 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 17,24 \frac{l}{h} + 59,1 \quad (4.48)$$

$$1 \leq \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha = \beta_1 = -6,84 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 8,0 \frac{l}{h} + 68,7 \quad (4.49)$$

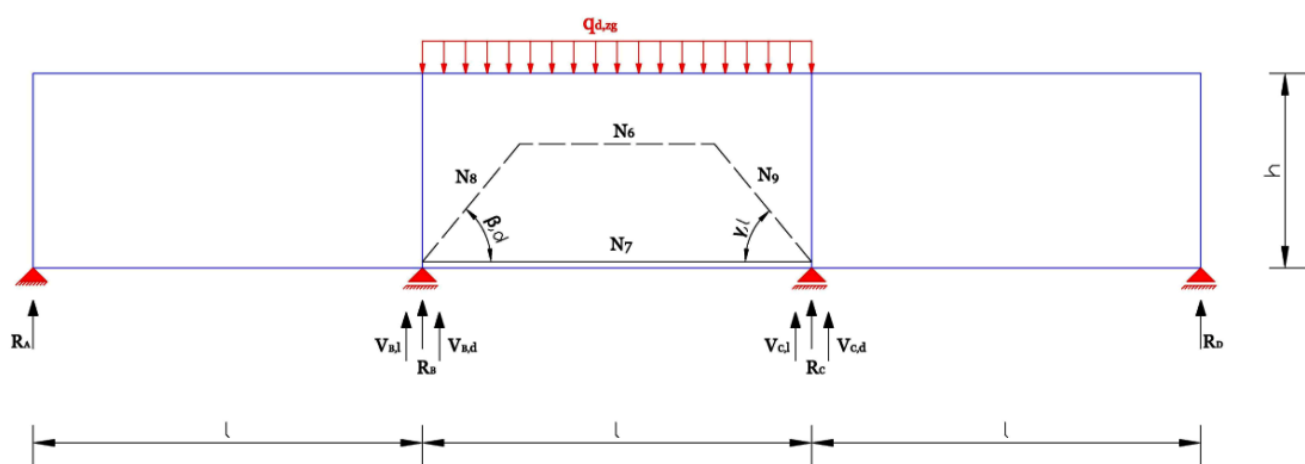
$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha = \beta_1 = 2,47 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 24,8 \frac{l}{h} + 97,5 \quad (4.50)$$

Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha} \quad (4.51)$$

$$N_3 = \frac{R_A}{\sin \alpha} \quad (4.52)$$

Obtežba na vmesnem polju prav tako predstavlja največje normalne napetosti vzdolž elementa v polju. V tem primeru sta naklonska kota tlačnih diagonal β_d in γ_1 enaka, enaki sta tudi vrednosti sil v obeh tlačnih diagonalah N_8 in N_9 kot tudi reakciji $V_{B,d}$ in $V_{C,l}$.



Slika 70: Nosilec čez tri polja obtežen na vmesnem polju

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₇« in sile v tlačni diagonalni razpori »N₈« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \beta_d = \gamma_l = -8,9 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 1,85 \frac{l}{h} + 71,7 \quad (4.53)$$

$$1 < \frac{l}{h} \leq 2: \quad \beta_d = \gamma_l = 1,33 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 8,54 \frac{l}{h} + 72,0 \quad (4.54)$$

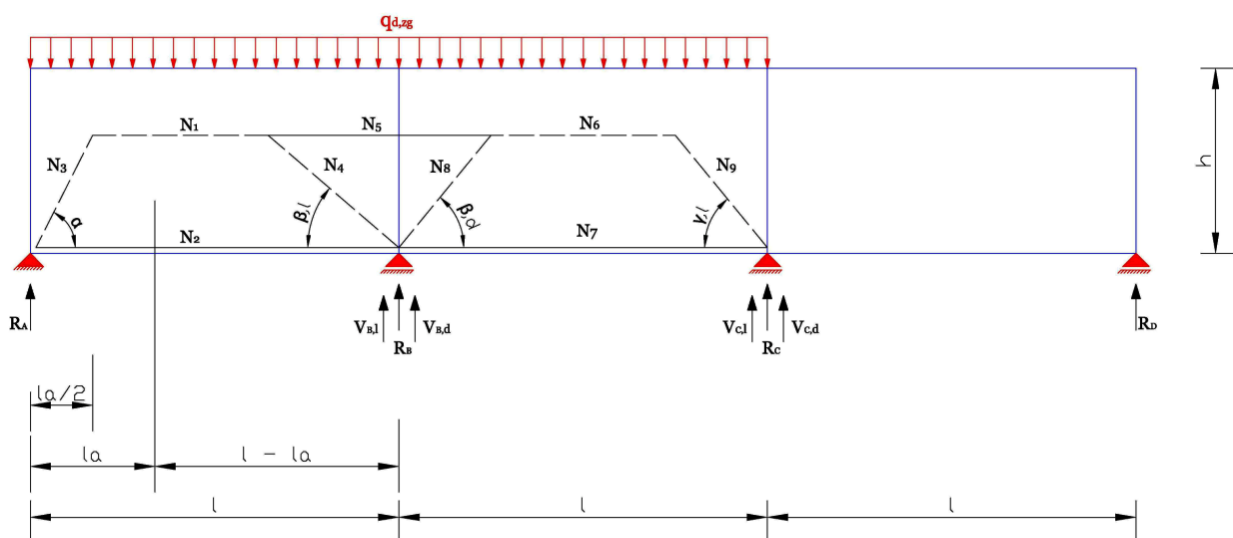
$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_d = \gamma_l = 0,54 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 9,3 \frac{l}{h} + 76,7 \quad (4.55)$$

Določitev rezultante »N₇« in sile v tlačni diagonalni razpori »N₈«:

$$N_7 = \frac{V_{B,d}}{\tan \beta_d} = \frac{V_{C,l}}{\tan \gamma_l} \quad (4.56)$$

$$N_8 = \frac{V_{B,d}}{\sin \beta_d} = \frac{V_{C,l}}{\sin \gamma_l} \quad (4.57)$$

Z obtežbo preko dveh polj določimo največje normalne napetosti vzdolž elementa nad podporo. V tem primeru sta naklonska kota tlačnih diagonal α in γ_l enaka, enaki sta tudi vrednosti sil v obeh tlačnih diagonalah N₃ in N₉ kot tudi reakciji R_A in R_C. Enako velja za naklonska kota β_l in β_d kot tudi za tlačni diagonalni N₄ in N₈.



Slika 71: Nosilec čez tri polja z obtežbo preko dveh polj

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \alpha = \gamma_1 = -10,4 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 14 \frac{l}{h} + 63,5 \quad (4.58)$$

$$1 < \frac{l}{h} \leq 2: \quad \alpha = \gamma_1 = -3,15 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 0,4 \frac{l}{h} + 70 \quad (4.59)$$

$$2 < \frac{l}{h} \leq 3: \quad \alpha = \gamma_1 = 1,93 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 19,7 \frac{l}{h} + 90,40 \quad (4.60)$$

Določitev rezultante »N₂« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₃«:

$$N_2 = \frac{R_A}{\tan \alpha} \quad (4.61)$$

$$N_3 = \frac{R_A}{\sin \alpha} \quad (4.62)$$

Vrednost naklonskega kota tlačne diagonale, potrebnega za določitev rezultante »N₅« in sile v tlačeni diagonalni razpori »N₄« [°]:

$$0,3 \leq \frac{l}{h} \leq 1: \quad \beta_1 = \beta_d = 2,2 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 7,2 \frac{l}{h} + 62,5 \quad (4.63)$$

$$1 < \frac{l}{h} < 2: \quad \beta_1 = \beta_d = -2,63 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 9,2 \frac{l}{h} + 51,1 \quad (4.64)$$

$$2 \leq \frac{l}{h} \leq 3: \quad \beta_1 = \beta_d = -3,18 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 9,58 \frac{l}{h} + 52,40 \quad (4.65)$$

Določitev rezultante »N₅« ter sil v tlačeni diagonalni razpori »N₄«:

$$N_5 = \frac{V_{B,l}}{\tan \beta_l} \quad (4.66)$$

$$N_4 = \frac{V_{B,l}}{\sin \beta_l} \quad (4.67)$$

4.5.2 Tvorjenje mehanizma paličja

4.5.2.1 Splošno

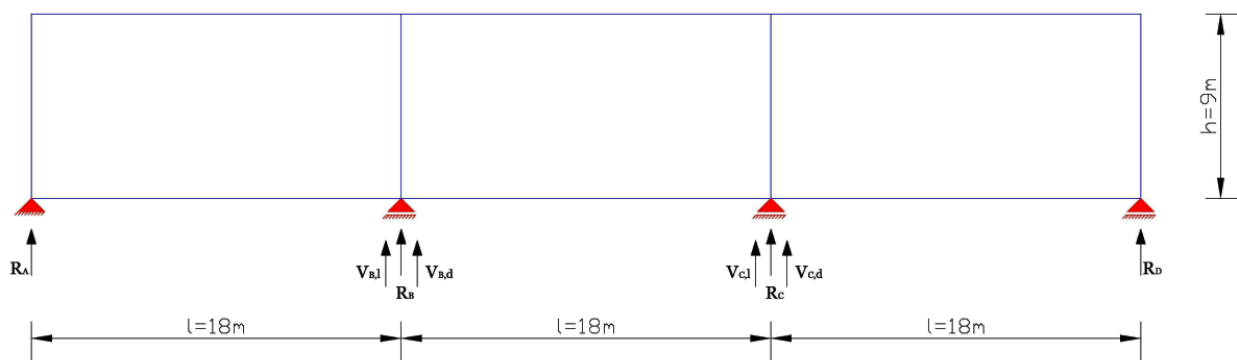
Ko je element obremenjen z linijsko obtežbo, je veliko težje izdelati mehanizem, ki čim bolje opisuje naravo odziva konstrukcije, kot pa v primeru točkovne obtežbe, kjer je največkrat mehanizem prenosa obtežbe očiten glede na potek napetosti po prerezu do podpor oziroma v območje elementa izven »D – območij«. Pri elementu obremenjenim z linijsko obtežbo je najprimernejši mehanizem prenosa obtežbe, podkrepjen s številnimi eksperimenti, trapezne oblike s stabilizacijskimi diagonalami, ki v večini primerov niso prikazane, saj za dimenzioniranje niso merodajne, vendar uporabljene za doseg statične nedoločenosti paličnega mehanizma.

4.5.2.2 Opis postopka

Legs spodnje vezi v polju stenastega nosilca predstavlja težišče armaturnih palic, ki se jih polaga do maksimalne višine od spodnjega roba do $0,12 \cdot h$, če je $h < l$, sicer obratno in lega rezultante nad notranjo podporo predstavlja vrednost s katero določimo potrebno kvadraturu armature, katero rastroj po višini stenastega nosilca določa oblika diagrama normalnih napetosti vzdolž elementa, ki je odvisna od razmerja razpona in višine. S pomočjo programskega paketa »Sofistik« odčitamo rezultante normalnih napetosti vzdolž elementa in ob znani reakciji določimo kot naklona tlačne diagonalne razpore. Podoben postopek je predstavljen v poglavju 4.5.1, kjer uporabimo enačbe kota glede na razmerje med razponom in višino ter določimo rezultanto napetosti pri znani reakciji. Če si postopek tvorjenja mehanizma paličja predstavljamo grafično imamo na spodnji strani nosilca v polju natezno vez, ki se ob podpori dvigne v tlačno diagonalo, za katero ne vemo na kakšni višini paličja prehaja v zgornji pas. Višino zgornjega pasu paličja bi lahko določili na podlagi lege zgornje natezne vezi (rezultante) ali kot povprečno vrednost med razdaljo dvojic sil največjih normalnih napetosti vzdolž elementa v polju in nad podporo ali pa kot manjšo ali večjo vrednost izmed teh ali pa bi jo lahko določili na podlagi »Leonhardtove« ročice dvojic sil.

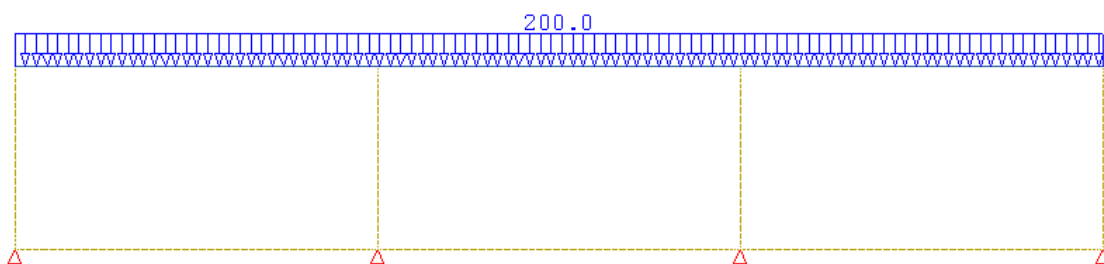
V nadaljevanju so predstavljeni trije geometrijsko enaki, a različno obremenjeni stenasti nosilci. Prvi primer, ki je referenčen in predstavlja dejansko obremenitev, je obremenjen z linijsko obtežbo. Naslednja dva primera sta obremenjena s točkovno obtežbo, ki naj bi predstavljala čim bolj podoben odziv (naravo deformiranja) dejanski obtežbi. V drugem primeru, v nadaljevanju predstavljen kot primer b), točkovna sila v velikosti $F = q \frac{l}{2}$ deluje na oddaljenosti $\frac{l}{4}$ levo in desno od vsake podpore. Tretji primer obremenitve, v nadaljevanju predstavljen kot primer c), pa izhaja iz vplivnih območij posameznih reakcij in dobljena obremenitev, ki je enaka reakciji deluje na polovici dolžine vplivnega območja. Vplivno območje reakcije sega do dolžine, kjer je prečna sila enaka nič in upogibni moment linijskega nosilca maksimalen. Smer delovanja točkovnih sil kot ga predstavljata obtežna primera b) in c) določata presečišča oziroma vozlišče, kjer tlačna diagonalna razpora spremeni smer in prehaja v zgornji natezni pas. Predstavljene so primerjave statičnih količin glede na različno obremenitev kot tudi potek tvorjenja paličja in s tem primerjava višin paličja med seboj in po Leonhardt.

4.5.2.3 Analiza nosilca



Slika 72: Geometrija analiziranega nosilca

a) Prikaz nosilca obremenjenega z linijsko obtežbo



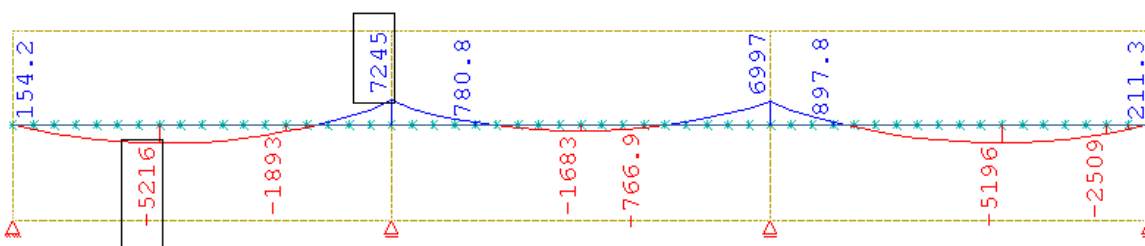
Slika 73: Nosilec preko treh polj obremenjen z linijsko obtežbo [kN/m]



Slika 74: Prikaz reakcij [kN]

Krajna reakcija: $R_k = (1445 + 1442) \text{ kN} / 2 = 1443,5 \text{ kN}$

Notranja reakcija: $R_n = (3951 + 3962) \text{ kN} / 2 = 3956,5 \text{ kN}$



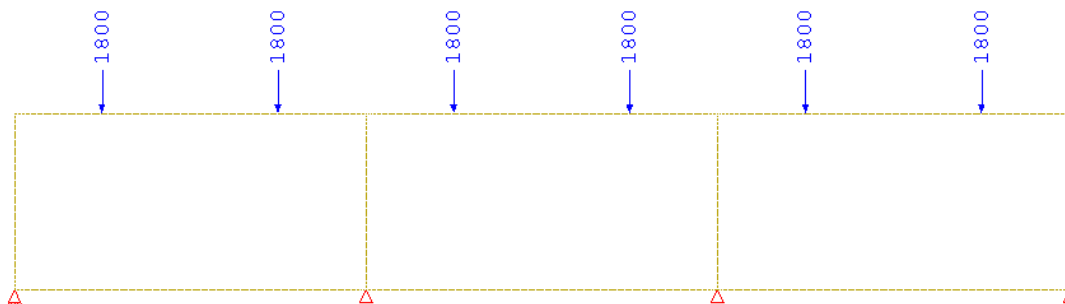
Slika 75: Upogibni moment [kNm]

Največji pozitivni moment v krajnem polju: $M_{\text{krajno polje}} = (5216 + 5196) \text{ kNm} / 2 = 5206 \text{ kNm}$

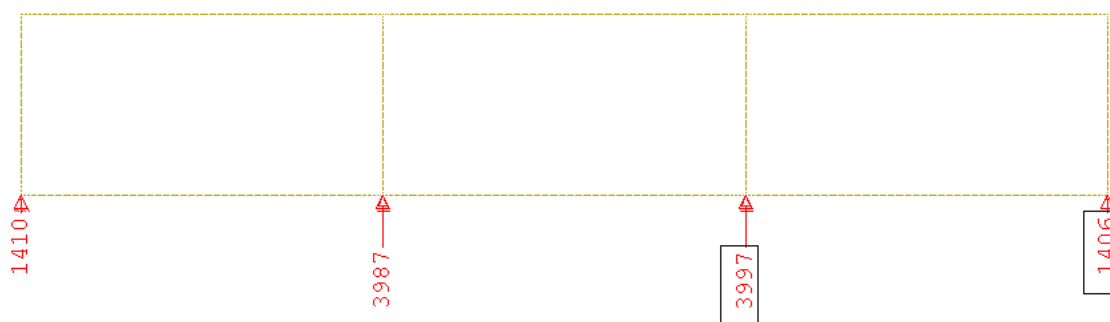
Največji pozitivni moment v srednjem polju: $M_{\text{vmesno polje}} = 1683 \text{ kNm}$

Največji negativni moment nad podporo: $M_{\text{nad podpora}} = (-7245 - 6997) \text{ kNm} / 2 = -7121 \text{ kNm}$

- b) Prikaz nosilca obremenjenega s točkovno obtežbo $F = q \frac{l}{2}$ na razdalji $\frac{l}{4}$ levo in desno od vsake podpore



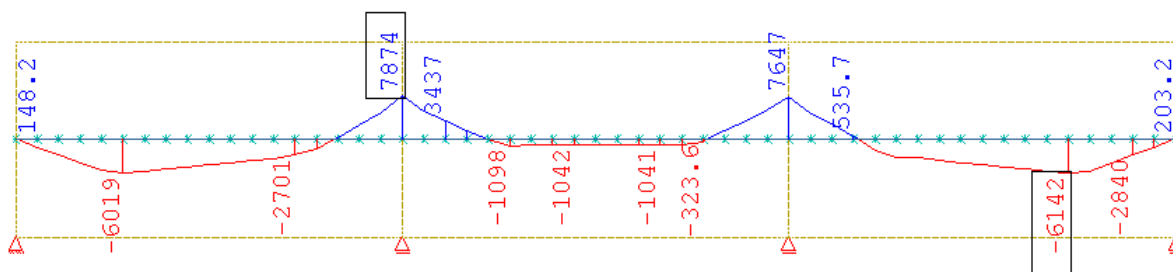
Slika 76: Nosilec preko treh polj obremenjen s točkovno obtežbo [kN]



Slika 77: Prikaz reakcij [kN]

Krajna reakcija: $R_k = (1410 + 1406) \text{kN} / 2 = 1408 \text{ kN}$

Notranja reakcija: $R_n = (3987 + 3997) \text{kN} / 2 = 3992 \text{ kN}$



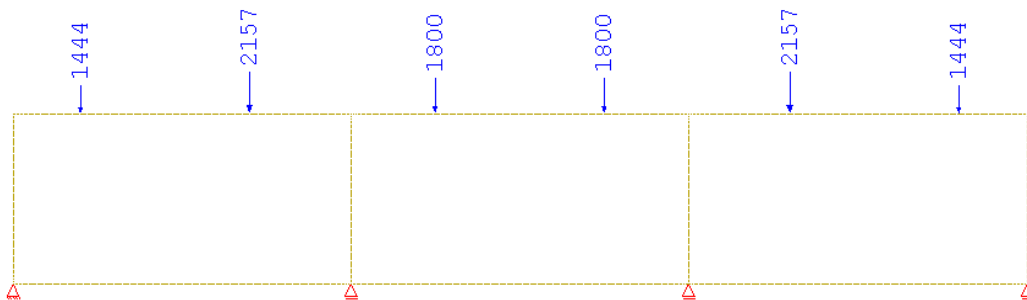
Slika 78: Upogibni moment [kNm]

Največji pozitivni moment v krajnem polju: $M_{\text{krajno polje}} = (6019 + 6142) \text{ kNm} / 2 = 6080,5 \text{ kNm}$

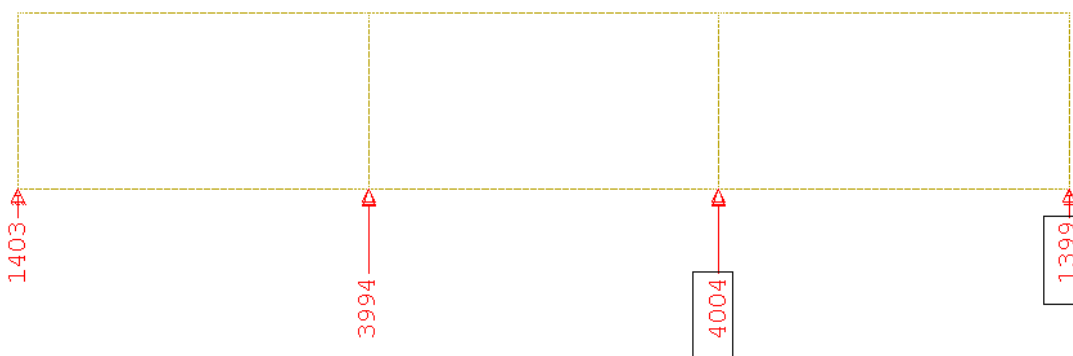
Največji pozitivni moment v srednjem polju: $M_{\text{vmesno polje}} = 1098 \text{ kNm}$

Največji negativni moment nad podporo: $M_{\text{nad podpora}} = (-7874 - 7647) \text{ kNm} / 2 = -7760,5 \text{ kNm}$

c) Prikaz nosilca obremenjenega s točkovno obtežbo (reakcijo) na polovični razdalji vplivne dolžine posamezne reakcije



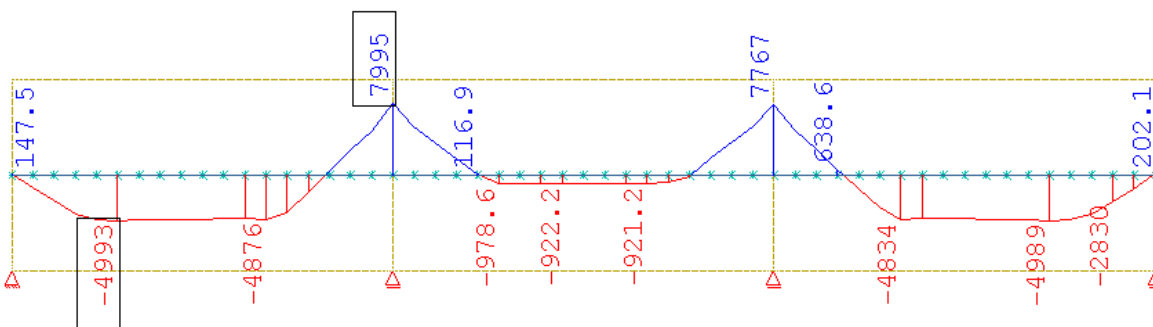
Slika 79: Nosilec čez tri polja obremenjen s točkovno obtežbo [kN]



Slika 80: Prikaz reakcij [kN]

Zunanja reakcija: $R_{\text{zunanja}} = 1401 \text{ kN}$

Notranja reakcija: $R_{\text{notranja}} = (3994 + 4004) \text{ kN} / 2 = 3999 \text{ kN}$



Slika 81: Upogibni moment [kNm]

Največji pozitivni moment v krajnem polju: $M_{\text{krajno polje}} = (4993 + 4989) \text{ kNm} / 2 = 4991 \text{ kNm}$

Največji pozitivni moment v srednjem polju: $M_{\text{vmesno polje}} = 978,6 \text{ kNm}$

Največji negativni moment nad podporo: $M_{\text{nad podporo}} = (-7995 - 7767) \text{ kNm} / = -7881 \text{ kNm}$

4.5.2.4 Primerjava rezultatov

V spodnji preglednici so tabelarično zbrani rezultati statičnih količin na *mestih maksimalnih obremenitev referenčnega primera a)*.

Preglednica 1: Tabelarični prikaz statičnih količin in procentualno izražena napaka rezultatov v primerjavi z referenčnim primerom a)

primer					Napaka [%]	
		a)	b)	c)	b)	c)
Reakcija [kN]	krajna podpora	1443,5	1408	1401	2,5	2,9
	vmesna podpora	3956,5	3992	3999	0,9	1,1
Moment [kNm]	krajno polje	5206	5344,8	4910,43	2,6	5,7
	vmesno polje	1683	1039,87	920,3	38,2	45,3
	podpora	-7121	-7760,5	-7881	8,2	9,6

Vpliv točkovnih sil na vrednost reakcij je zelo podobna referenčni obtežbi, kjer napaka ne preseže 3%. Večje razlike se pojavijo pri odčitku upogibnih momentov, kjer je očitno odstopanje od referenčne vrednosti na vmesnem polju. Napaka do vrednosti 10% je tolerirana.

Preglednica 2: Tabelarični prikaz rezultant (dvojica sil) normalnih tlačnih in nateznih napetosti vzdolž elementa in procentualno izražena napaka rezultatov v primerjavi z referenčnim primerom a)

primer					Napaka [%]	
		a)	b)	c)	b)	c)
Rezultanta v polju [kN]	krajno polje	849,7	894,6	844,8	5,0	0,6
	vmesno polje	269,2	257,8	247,1	4,2	8,2
Rezultanta nad podporo [kN]	vmesna podpora	1204,0	1219,3	1225,5	1,3	1,8

Napaka vseh kontroliranih rezultant pri nadomestnih modelih s koncentriranimi silami je manjša od 10%. V primerjavi z momentom nad vmesnim poljem lahko sklepamo na različne

dolžine ročic, s katero je moment pretvorjen na dvojico sil, ki jim pravimo rezultante napetosti oziroma je le ta integrirana posebej za del prereza z nateznimi in tlačnimi napetostmi in ročica predstavlja razdaljo rezultat od težišča tlačnega dela do nateznega dela diagrama.

Glede na izbiro obremenitve, ki najbolje opiše naravo odziva konstrukcije obremenjene z linijsko obtežbo, opazimo da izbira obeh načinov obremenitve s točkovnimi silami v primerih b) in c) nimata bistvenega vpliva na statične količine, s tem mislimo na reakcije in kar je najpomembnejše na vrednosti rezultat normalnih napetosti vzdolž elementa. Za dimenzioniranje so potrebne vrednosti rezultat in oblika diagramov napetosti po elementu. V nadaljevanju, poglavje 4.5.2.5, oblikovanja paličnega mehanizma, je uporabljen referenčni model obremenjen z zvezno linijsko obtežbo, kjer položaji točkovnih sil iz obeh obtežnih primerov b) in c) predstavljajo samo smer sile s katero ob stičišču z diagonalno razpore formiramo vozlišče, ki predstavlja prehod iz zgornjega pasu paličja v tlačno diagonalno razpore.

4.5.2.5 Primerjava paličnih mehanizmov

V nadaljevanju je predstavljeno formiranje paličja glede na oba tipa točkovne obremenitve, predstavljena v prejšnjem poglavju, kjer stik smeri sile z diagonalno razpore prikazuje vozlišče, v katerem prehajamo iz zgornjega pasu paličja v tlačna diagonalno. *Obremenitve paličnega mehanizma v vozliščih so enaka reakcijam v podporah.*

b) Prikaz mehanizma paličja na nosilcu obremenjenim s točkovno obtežbo $F = q \frac{l}{2}$ na

razdalji $\frac{l}{4}$ levo in desno od vsake podpore

Kot naklona diagonalne razpore nad krajnim vozliščem

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_A}{R_{ezul \tan ta}}\right) = \arctan\left(\frac{1443,5kN}{849,7kN}\right) = 59,52^\circ \quad (4.68)$$

Vplivno območje reakcije R_A :

$$l_A = \frac{R_A}{q} = \frac{1443,5kN}{200kN/m} = 7,2175m \quad (4.69)$$

Vplivno območje reakcije $R_{B,l}$ na levi strani podpore:

$$l_{B,l} = l - l_A = 18m - 7,2175m = 10,7825m \quad (4.70)$$

Vrednost reakcije $R_{B,l}$ na levi strani podpore:

$$R_{B,l} = l_{B,l} * q = 10,7825m * 200kN/m = 2156,5kN \quad (4.71)$$

Kot naklona diagonalne razpore nad vmesno podporo na levi strani:

$$\beta_l = \arctan\left(\frac{R_{B,l}}{R_{ezul \tan ta}}\right) = \arctan\left(\frac{2156,5kN}{1254kN}\right) = 59,82^\circ \quad (4.72)$$

Vrednost reakcije $R_{B,d}$ na desni strani podpore:

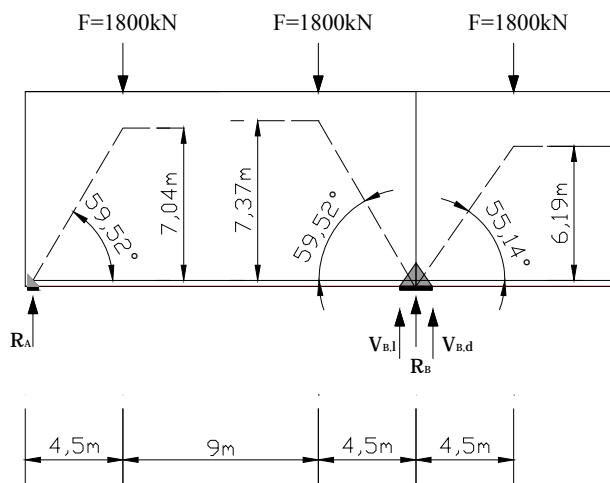
$$R_{B,d} = R_B - R_{B,l} = 3956,5kN - 2156,5kN = 1800kN \quad (4.73)$$

Kot naklona diagonalne razpore nad vmesno podporo na desni strani:

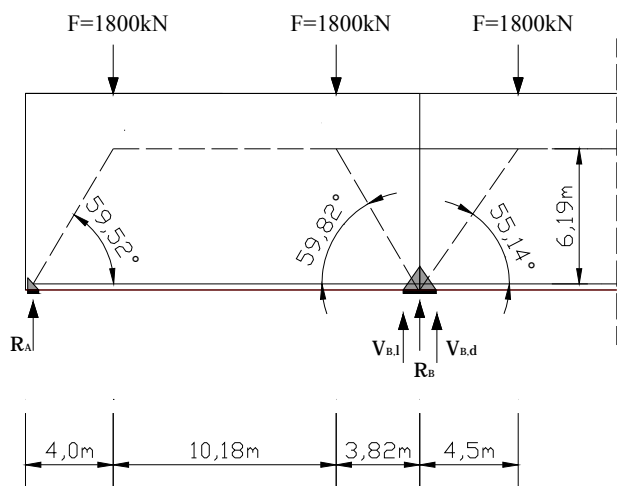
$$\beta_d = \arctan\left(\frac{R_{B,d}}{R_{ezul \tan ta}}\right) = \arctan\left(\frac{1800kN}{1254kN}\right) = 55,14^\circ \quad (4.74)$$

Kontrola vplivnega območje reakcije $R_{B,d}$ na desni strani podpore:

$$l_{B,d} = \frac{R_{B,d}}{q} = \frac{1800kN}{200kN/m} = 9m, \text{ kar znaša polovico razpona pri vmesnem polju} \quad (4.75)$$



Slika 82: Različne višine presečišč točkovnih sil in diagonalnih razpor, ki ponazarjajo oddaljenostmi med zgornjim in spodnjim pasom



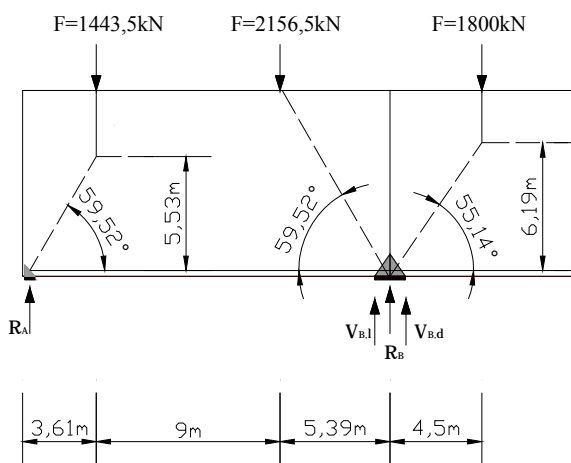
Slika 83: Korekcija paličja glede na najmanjšo razdaljo med pasovoma paličja

S pomočjo reakcij v podporah in z rezultantami normalnih napetosti v vzdolžni smeri določimo naklonski kot tlačnih diagonal, ki predstavljajo povezavo med zgornjim in spodnjim pasom paličja. Presečišče ali stičišče med smerjo točkovne sile in smerjo sile v tlačeni diagonali predstavlja vozlišče oziroma prehod sile iz zgornjega pasu paličja v tlačeno diagonalo. Korekcija paličja sledi glede na najmanjšo razdaljo med pasovoma mehanizma, kjer opazimo zamik obeh prijemališč sil v krajnem polju.

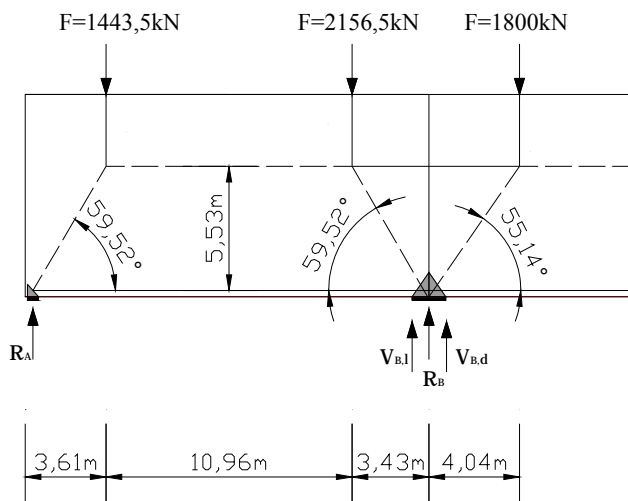
Pomembno je opozoriti na dejstvo, da lociranje obremenitve $F = 1800\text{kN}$ predstavlja smer sile in hkrati točko presečišča paličja in ne predstavlja tudi obremenitev na palični mehanizem, saj notranje količine paličja izhajajo iz reakcij, tako da vrednost reakcije hkrati predstavlja tudi obremenitev na paličje. Zamik vozlišč zaradi korekcije višine paličja nima vpliva na notranje statične količine, saj je kot naklona diagonalne razpore tisti, ki določa vrednosti oziroma spremembo sil v paličju. Le-ta pa je določen gleda na rezultanto napetosti in reakcijo.

- c) Prikaz nosilca obremenjenega s točkovno obtežbo (reakcijo) na polovični razdalji vplivne dolžine reakcije

Enačbe od 4.68 do 4.75 in njene vrednosti ostanejo enake, le prijemališča sil so različno oddaljena glede na primer b).



Slika 84: Različne višine presečišč točkovnih sil in diagonalnih razpor, ki ponazarjajo oddaljenostmi med zgornjim in spodnjim pasom



Slika 85: Korekcija paličja glede na najmanjšo višino/razdaljo med pasovoma paličja

Glede na zgornje prikaze končnih oblik paličja lahko primerjamo razdaljo med zgornjim in spodnjim pasom kot tudi dolžino armiranja levo in desno od notranje podpore glede na potek momentne linije in glede na priporočila Leonhardta.

Določitev ročice notranjih sil po predlogu Leonhardta:

Stenast nosilec čez eno polje: $1 < \frac{l}{h} \leq 2 : z = 0,15d \left(3 + \frac{l}{d} \right)$ (4.76)

$$\frac{l}{h} \leq 1 : z = 0,6 * \min(l, h) \quad (4.77)$$

Stenast nosilec čez dve polji: $1 < \frac{l}{h} \leq 2,5 : z = 0,10d \left(2,5 + 2 \frac{l}{d} \right)$ (4.78)

$$\frac{l}{h} \leq 1 : z = 0,45l \quad (4.79)$$

Stenast nosilec čez tri polja, kjer za krajna polja velja zgornja enačba:

$$1 < \frac{l}{h} \leq 3 : z = 0,15d \left(2 + \frac{l}{d} \right) \text{ in} \quad (4.80)$$

$$\frac{l}{h} \leq 1 : z = 0,45l \quad (4.81)$$

Preglednica 3: Primerjava višin korigiranega paličja glede na postavitev točkovnih obremenitev in primerjava ročic z Leonhardtom

Ročica oziroma višina paličja	
	Nosilec čez tri polja [m]
Leonhard	5,4
primer b)	6,19
primer c)	5,53

Očitno je, da se s formiranjem mehanizma po načinu c) zelo dobro približamo Leonhardtu.

Preglednica 4: Primerjava višin paličja med računskimi primeri, predstavljeni v »Prilogi« po načinu c), glede na višine paličja po načinu b) ter glede na odčitek ročic iz programskega paketa »Sofistik« in ročic po Leonhardtu

Primerjava višin paličja oziroma ročic				
	razmerje l/h	Nosilec čez eno polje [m]	Nosilec čez dve polji [m]	Nosilec čez tri polja [m]
Leonhard	2	6,75	5,85	5,4
	0,5	2,7	2,03	2,03
primer b)	2	5,47	6,10	6,19
	0,5	1,98	1,89	1,72
primer c)	2	5,47	5,55	5,42
	0,5	1,98	1,81	1,75
Sofistik	2	6,09	5,42	5,49
	0,5	2,38	1,81	1,58

V primeru c) se višina paličja oziroma dolžina ročice dovolj dobro približa vrednostim iz Sofistika in Leonhardtu. Primer b) nam za večja razmerja določa višje razdalje med pasovoma paličja, kar je razumljivo, saj pri enakem kotu naklona razpore in večji oddaljenosti sile od zunanjega roba, določimo večjo višino paličja, kar pa ne moremo trditi za razdalje pasov paličja pri notranjih podporah. Glede na podobnost rezultatov višin paličja z Leonhardtom in še bolj s programskim paketom »Sofistik« lahko s poenostavitvijo trdimo, da nam mehanizem po načinu c) hkrati tudi poda prijemališče rezultant, ki se nahajata v težišču nateznega in tlačnega dela diagrama vzdolžnih napetosti po elementu.

Kot je razvidno iz računskih primerov stenastih nosilcev, predstavljenih v »Prilogi« je mehanizem modela tvorjen po poteku, ki ga predstavlja primer c). Mehanizem tvorjen za stenaste nosilce preko dveh in treh polj, je bil tudi uporabljen za določitev potrebne dolžine

armiranja levo in desno od vmesne podpore, ki ga predstavlja dolžina vezi v paličnem modelu z vezmi in razporami, primerjan z dolžino po Leonhardtu, ki znaša $0,40 \cdot \min(\text{dolžina razpetine, višina nosilca})$ in glede na potek upogibnih momentov za linijski nosilec, pomeni določitev razdalje negativnega momenta levo in desno od podpore, ki pokaže na zelo dobro ujemanje z dolžino armiranja glede na palični mehanizem. Vse to je prikazano na računskih primerih v prilogi.

5 ZAKLJUČEK

Stenaste nosilce lahko analiziramo na različne načine, najpogosteje uporabljen pristop, ki ga je predlagal Leonhardt, računalniško z analizo napetostnega stanja po linearni teoriji elastičnosti in ustrezno dimenzioniranje in z metodo z vezmi in razporami.

Postopek, ki ga je predlagal Leonhardt velja za hitrejšega, enostavnejšega in dobro uveljavljenega pri reševanju regularnih nosilcev. S tem mislim na stenaste nosilce čez eno, dve ali več polj, kontinuirane, previsne in konzolne nosilce s konstantnim prečnim prerezom prečno in vzdolžno po elementu, ki so obremenjeni s točkovno in/ali zvezno obtežbo in so brez odprtin. Po njegovem principu izračunamo upogibni moment kot pri linijskih nosilcih ter z ročico, kalibrirano na obsežnih eksperimentalnih raziskavah, določimo dvojico sil, potrebno za dimenzioniranje. Pomanjkljivost te metode lahko opišemo v spregledani kontroli tlačne diagonale ob krajnih kot tudi ob vmesnih vozliščih, v kolikor je način armiranja, širina podpornega elementa, naklon razpore tak, da je ta pojav problematičen. Čeprav v preglednicah opazimo, da na velikost ročice vpliva tudi širina vmesne podpore kontinuirnih nosilcev. Kontinuirna vozlišča so tlačena v večih smereh, kar pomeni ugoden vpliv.

Dimenzioniranje armature stenastih nosilcev z uporabo kompleksnih računalniških programov, ki armaturo določajo na podlagi linearno elastične analize zelo nevarno. Brez težav pri smiselno izbranih dimenzijah prerezov lahko med rezultati odčitamo računsko potrebno armaturo, tam kjer velja Bernoullijeva hipoteza oziroma tam, kjer ni območij diskontinuitet/nezveznosti. V slednjih pa je odčitavanje armature lahko vprašljivo, še več nevarno. Za reševanje takih območij je priporočljiva z uporaba metode z vezmi in razporami, kjer računalniške analize uporabljamo zgolj za pregled poteka napetosti po prerezu, odčitke reakcij in podobno, nikakor pa ne za določitev potrebne armature. Smiselna uporaba računalniške analize je le v »B – območjih«, pri določevanju porušne obtežbe elementa oziroma dejanske nosilnosti pri določeni armaturi iz linearno elastične analize (nelinearna analiza) in ostalih detajlnejših analizah.

Za postopek formiranja modela z vezmi in razporami lahko rečemo, da je tudi delno grafična metoda, katere prednost se kaže v jasnem, razumljivem, občasno očitnem oblikovanju paličja.

Zahteva veliko več projektantske angažiranosti, interesa ter lastne vpletenosti v primerjavi z računalniškimi analizami in dimenzioniranjem ter je ob tem izredno poučna. Z upoštevanjem pravil tvorjenja mehanizma in pravili detajliranja armature se izognemo napakam in tako veliko pripomoremo k varnosti konstrukcije. Metoda razpor in vezi se tudi prepleta z računalniško analizo. Služi nam kot orodje za prikaz poteka napetosti po elementu s katerim prepoznamo za dimenzioniranje merodajne razpore in vezi ter tvorimo palični mehanizem pri ustreznih dimenzijah vozlišč. Metoda je splošna in jo lahko uporabljamo ne samo v območjih nezveznosti ampak tudi v »B – območjih«. Analize nosilcev, kjer lahko uporabimo tipične modele mehanizmov, pomeni ponavljajoče se in podobne primere, so zelo hitre. Metoda predstavlja detajlno analizo, saj preverjamo elemente paličja od vozlišča do vozlišča, pri čemer je poudarek na vozliščih samih. Seveda lahko za poenostavitev kontroliramo najbolj obremenjeno vozlišče in razpore izmed geometrijsko enakih ter tiste na kritičnih mestih kot so podpore, okolica odprtin, vnos koncentrirane obtežbe in sprememba geometrije. Pri uporabi metode za dimenzioniranje stenastih nosilcev lahko opazimo v poglavju 4.5.2, da nam mehanizem modela tvorjen po načinu c), kaže dovolj dober približek višine paličnega mehanizma, primerjanim glede na priporočila po Leonhardtu in programskim paketom »Sofistik«. Iz podobnih višin paličja lahko sklepamo, da nam tako formiran mehanizem namiguje na prijemališče rezultant tlačnega in nateznega diagrama normalnih napetosti vzdolž elementa, ki imajo prijemališče v težišču tlačnega in nateznega diagrama. Na tak način oblikovan mehanizem je uporabljen tudi pri računskih primerih stenastih nosilcev, prikazanih v »Prilogi«. Uporabljen mehanizem tudi določa dolžino vezi nad podporo, ki prikazuje dovolj dober približek k dolžini armiranja levo in desno od vmesne podpore, kjer se kaže majhno odstopanje od potrebne dolžine armiranja, glede na momentno linijo kot tudi po priporočilih Leonhardta. Pri dimenzioniranju regularnih stenastih nosilcev po metodi z vezmi in razporami se je potrebno vprašati pod kakšnim kotom je potrebno povezati zgornji in spodnji pas paličja, da bo horizontalna komponenta v diagonalni razpore enaka rezultanti normalnim napetostim vzdolž elementa. To je botrovalo k nastavku enačb naklonskega kota diagonalne razpore (podobno kot Leonhardtova ročica), ki so predstavljena v poglavju 4.5.1.3. Tako za regularne nosilce ne potrebujemo računalniških programov, kjer preko naklonskih kotov razpor, določimo vse količine v paličju in stenast nosilec ob upoštevanju standarda pravilno dimenzioniramo.

VIRI

ACI COMMITTEE 318. January 2008. BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318-08) AND COMMENTARY. Farmington Hills, American Concrete Institute: 467 str.

Beton Kalender 1993: Taschenbuch für Beton-Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer, Teil II. Berlin, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften: 815 str.

Brown M. D. and Bayrak O. August 2005. Project 0-4371: Examination of the AASHTO LRFD Strut-and-Tie Specifications: Design for Shear in Reinforced Concrete Using Strut-and-Tie Models: A Summary, AASHTO LRFD: 4 str.

CEB-FIP fipBulletin 2. Julij 1999. Structural Concrete, Textbook on Behaviour, Design and Performance, Vol. 2: Basis of Design, Manual - textbook: 324 str.

CEB-FIP fipBulletin 3. December 1999. Structural Concrete, Textbook on Behaviour, Design and Performance, Vol. 3: Durability - Design for Fire Resistance - Member Design - Maintenance, Assessment and Repair-Practical aspects, Manual – textbook: 292 str.

Comité Euro-International du Béton. 1993. CEB-FIP MODEL CODE 1990, Design code. London, Thomas Telford: 437 str.

Clyde D. July 2007. Affinity properties of truss model: Morley Symposium on Concrete Plasticity and its Application. Cambridge, University of Cambridge: 8 str.

Fu C.C., Sircar M., Robert J. 2008., Maryland experience in using strut and tie model in infrastructures, Proceedings of Transportation Research Board: 15 str.

Hassoun M. N., Al-Manaseer A. 2005. Structural concrete theory and design, 3th-ed. New Jersey, John Wiley & Sons: 865 str.

Leonhardt F., Mönning E. 1977. Vorlesungen über Massivbau, Dritter Teil, Grundlagen zum Bewehren im Stahlbetonbau. Stuttgart, Springer: 246 str.

PRIROČNIK ZA PROJEKTIRANJE GRADBENIH KONSTRUKCIJ PO EVROKOD STANDARDIH. 2009. Ljubljna, Inženirska zbornica Slovenije: 1300 str.

Lopes S. M., do Carmo R.N.F. 2005. Deformable strut and tie model for the calculation of the plastic rotation capacity, Science Direct: 10 str.

Nilson A. H., Darwin D., Dolan C. W. 2003. Design of concrete structures, 13th-ed. New York, McGraw Hill: 779 str.

Rombach G.A. 2004. Finite element design of concrete structures: Practical problems and their solutions. London, Thomas Telford Ltd: 285 str.

SLOVENSKI STANDARD SIST EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe: 232 str.

Srpčič S. 2003. MEHANIKA TRDNIH TELES, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani: 615 str.

PRILOGE

PRILOGA 1: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ ENO POLJE;

$l = 18\text{m}$, $h = 9\text{m}$, $l/h = 2$

PRILOGA 2: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ DVE POLJI;

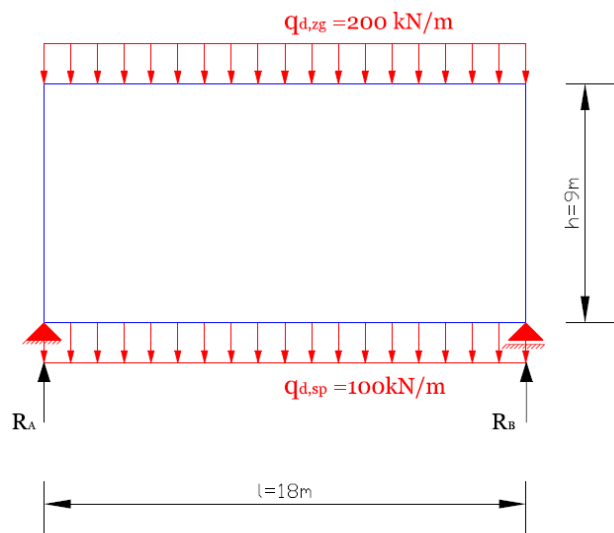
$l = 18\text{m}$, $h = 9\text{m}$, $l/h = 2$

PRILOGA 3: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ČEZ TRI POLJA;

$l = 18\text{m}$, $h = 9\text{m}$, $l/h = 2$

PRILOGA 1: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ■EZENO POLJE;
 $l = 18 \text{ m}$, $h = 9 \text{ m}$, $l/h = 2$

1.0 PRIKAZ STENASTEGA NOSILCA [kN/m;m]



Slika 1: Obremenitev in geometrija

2.0 GEOMETRIJA

Stenast nosilec [cm]:

$$l = 1800;$$

$$h = 900;$$

$$b = 30;$$

Prerez podpornih elementov (steber ali pre■nastena) [cm]:

$$b_s = 30;$$

$$a_A = 75;$$

Dejanska dimenzija podpornega elementa predstavlja razliko med kon■noizbrano dimenzijo a_A in vplivom ploš ■nad podporo, pomeni $a_{A, \text{dejanski}} = a_A - \frac{h_{pl}}{\tan \alpha}$, ki je ve■jiod najmanjš edovoljene dimenzije podpornega elementa, sicer minimalna dimenzija podpore. Naklonski kot α predstavlja naklon diagonalne razpore.

3.0 MATERIAL [kN/cm²]

Armatura S500

$$f_{yk} = 50;$$

$$\gamma_S = 1.15;$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S};$$

$$E_s = 20\,000;$$

Beton C30/37

$$f_{ck} = 3;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C};$$

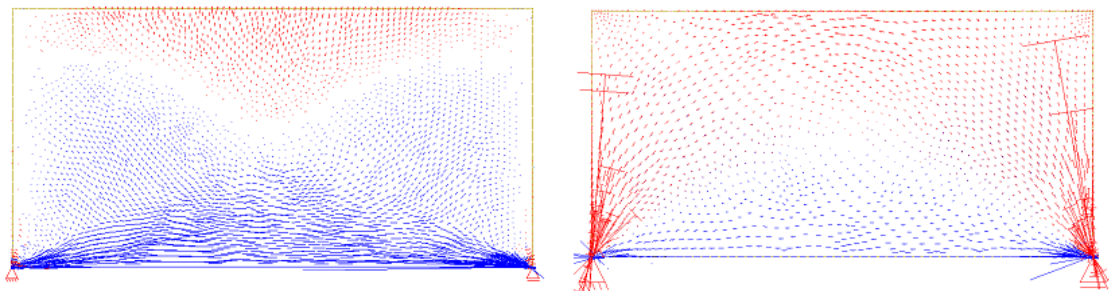
$$E_{cm} = 3300;$$

4.0 OBREMENITEV [kN/m]

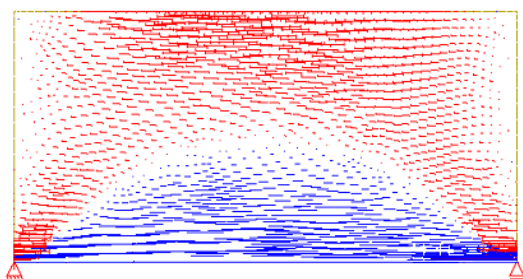
$$q_{d,zg} = 200;$$

$$q_{d,sp} = 100;$$

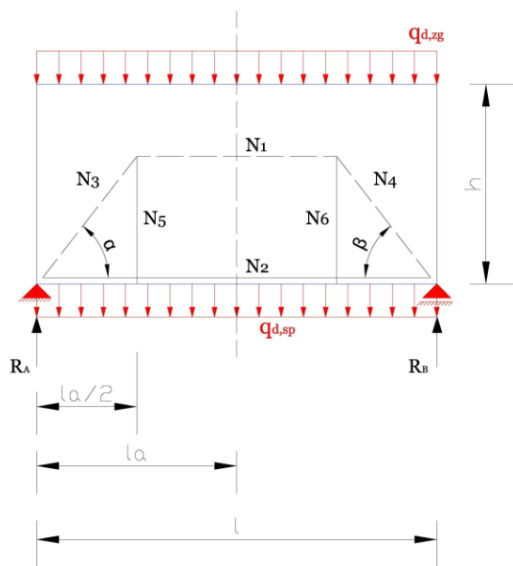
5.0 GLAVNE NAPETOSTI PO ELEMENTU OBREMENJENEM Z LINIJSKO OBTEŽ BO NA ZGORNJEM IN SPODNJEM ROBU NA PODLAGI LINEARNO ELASTIČNE ANALIZE S PROGRAMSKIM PAKETOM "SOFISTIK" IN SIMBOLNI PRIKAZ MODELA PALIJA



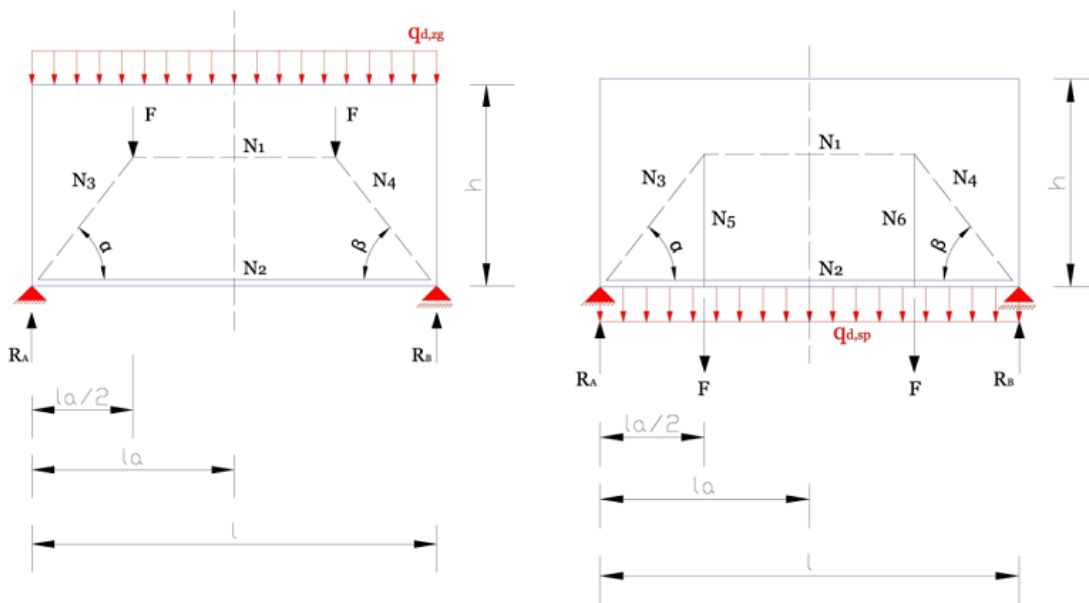
Slika 2: Glavne napetosti σ_I in σ_{II}



Slika 3: Normalne napetosti σ_{xx} v smeri lokalne koordinate x



Slika 4: Obtež bana zgornjem in spodnjem robu stenastega nosilca in prikaz paličnega mehanizma



Slika 5: Obtež bana zgornjem robu in spodnjem robu nosilca ter pripadajoči mehanizma

Opombe k sliki 4 in sliki 5:

- slika 5 predstavlja palični mehanizem za prenos obtež bedeljujena zgornjem in spodnjem robu nosilca ter kombinacijo,
- sila v zgornjem pasu N_1 in sila v spodnjem pasu N_2 sta si nasprotno enaki in predstavljata rezultanti napetosti v tlačin natezni coni, dobljeni s programskim paketom "Sofistik",
- diagonalni tlačnisili N_3 in N_4 ter njuna naklona sta iskani količini, potrebni za dimenzioniranje,
- na sliki 5 nastopita še dve količini N_5 in N_6 , preko katerih se prenaša spodnja (obeš ena) obtež bana d tlačin lok (N_3, N_1, N_4) in
- v primeru neenakomerne zvezne obtež bene smemo upoštevati simetrije.

6.0 MEJNA STANJA NOSILNOSTI (MSN): DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ■EZ ENO POLJE

- 6.1 Ra■un vrednosti sile v razpori in pripadajo■ega kota naklona [kN, °]:

Podatki potrebni za izra■un:

$$R = 2700;$$

$$N_{2d} = 1996;$$

Na■ira:

$$\text{FindRoot}\left[\left\{N_{2d} == -N_{3d} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right], R == -N_{3d} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]\right\}, \left\{\{N_{3d}, 15000\}, \{\alpha, 2\pi\}\right\}\right]$$
$$\{N_{3d} \rightarrow -3357.68, \alpha \rightarrow 53.526\}$$

Na■irb:

$$\alpha = N\left[\text{ArcTan}\left[\frac{R}{N_{2d}}\right] \frac{180}{\pi}\right]$$

$$53.526$$

$$N_{3d} = -\frac{R}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$-3357.68$$

Na■irc, predstavlja uporabo ena■b predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.1, ena■ba 4.10:

$$l = 18;$$

$$h = 9;$$

$$l$$

$$\bar{h}$$

$$2$$

$$\alpha = -6.18 \left(\frac{l}{h}\right)^2 + 7.34 \left(\frac{l}{h}\right) + 63.4$$

$$53.36$$

$$N_{3d} = -\frac{R}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$-3364.9$$

Clear[l, h]

Sila v tla■nidiagonalni razpori N_3 [kN]

$$N_{3d} = -3357.6801515331986;$$

Naklon sile v tla■nidiagonalni razpori N_3 [°]

$$\alpha = 53.52599255268551;$$

Kontrola

$$N_{2d} = -N_{3d} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

1996.

$$R = -N_{3d} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

2700.

■ 6.2 Notranje statične količine [kN]

Reakcija

$$R = 2700;$$

Natezna sila v spodnjem pasu paliča

$$N_{2d} = 1996;$$

Diagonalna tlačna razpora

$$N_{3d} = -3357.680;$$

■ 6.3 Dimenzioniranje

6.3.1 Določitev potrebne armature

6.3.1.1 Potrebna količina natezne armature v polju [cm²]:

$$A_s = \frac{N_{2d}}{f_{yd}}$$

$$45.908$$

Izberem: 15 ϕ 20mm (47,12cm²).

$$A_{s,izbran} = 47.12;$$

6.3.1.2 Potrebna količina ortogonalne mreže armature [cm²]:

Priporočilo SIST EN 1992-1-1:

Vrednost $A_{s,dbmin} = \max \{ 0,1 \% A_c \text{ ali } 1.50 \text{ cm}^2/\text{m} \}$ na vsaki strani in v vsaki smeri elementa

$$A_{s,dbmin} = \text{Max}\left[\frac{0.1}{100} b, 1.5\right]$$

3.

Izberem mrežo oQ308

Komentar: potrebna je kontrola mreže glede na prečnatege v tlačnih razporah

6.3.1.3 Potrebna količina obične/stremenske armature, "dvo - strižnostre" [cm^2/m] :

$$A_{\text{sw,ob,rac}} = \frac{q_{\text{d,sp}}}{2 f_{\text{yd}}}$$

1.15

Potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 50 \text{ cm}$ ($2.01 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

Minimalna potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 30 \text{ cm}$ ($3.35 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

Izbrana armatura :

$$A_{\text{sw,ob}} = \text{Max}[A_{\text{sw,ob,rac}}, 3.35]$$

3.35

6.3.2 Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] po določilih SIST EN 1992-1-1, (glej 4.4.1):

Najmanjši dopustni krovni sloj betona c_{min} [mm] :

$c_{\text{min,b}}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve prijemnosti, glej 4.4.1.2 (3). Za posamezne palice ne sme biti manjša od premera palice

$$c_{\text{min,b}} = 20;$$

$c_{\text{min,dur}}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja, glej 4.4.1.2 (5). Za izbran razred izpostavljenosti X0 in XC1 ter razred konstrukcije S4, ustreza:

$$c_{\text{min,dur}} = 15;$$

$c_{\text{dur,\gamma}}$ dodatni varnostni sloj, glej 4.4.1.2 (6)

$$c_{\text{dur,\gamma}} = 0;$$

$c_{\text{dur,st}}$ zmanjšana najmanjša debelina krovne plasti pri uporabi nerjavečega jekla, glej 4.4.1.2 (7)

$$c_{\text{dur,st}} = 0;$$

$c_{\text{dur,add}}$ zmanjšana najmanjša debelina krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite, glej 4.4.1.2 (8)

$$c_{\text{dur,add}} = 0;$$

Najmanjši dopustni krovni sloj betona

$$c_{\text{min}} = \text{Max}[c_{\text{min,b}}, c_{\text{min,dur}} + c_{\text{dur,\gamma}} - c_{\text{dur,st}} - c_{\text{dur,add}}, 10]$$

20

Dovoljeno projektno odstopanje krovne plasti Δc_{dev} [od 0 do 10 mm]:

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10;$$

Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] :

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

30

Izbran krovni sloj betona : $c_{\text{nom}} = 50 \text{ mm}$

6.3.3 Najmanjša vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] po določilih SIST EN 1992-1-1:

Svetla medsebojna razdalja (vodoravna in navpična) med posameznimi vzporednimi palicami oziroma med vodoravnimi legami vzporednih palic ne sme biti manjša od največje izmed naslednjih treh vrednosti: $k_1 \times$ premer palice, $(d_g + k_2)$ mm) oziroma 20 mm pri čemer je d_g premer največje žagazne agregata.

Opomba: Vrednosti k_1 in k_2 za uporabo v posamezni državi lahko najdemo v njenem nacionalnem dodatku. Priporočene vrednosti sta $k_1=1$ mm in $k_2=5$ mm.

Najmanjša vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

$$k_1 = 1;$$

$$k_2 = 5;$$

$$\phi = 20;$$

$$d_g = 16;$$

$$l_{v,n} = \text{Max}[k_1 \phi, d_g + k_2, 20]$$

$$21$$

Največja vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

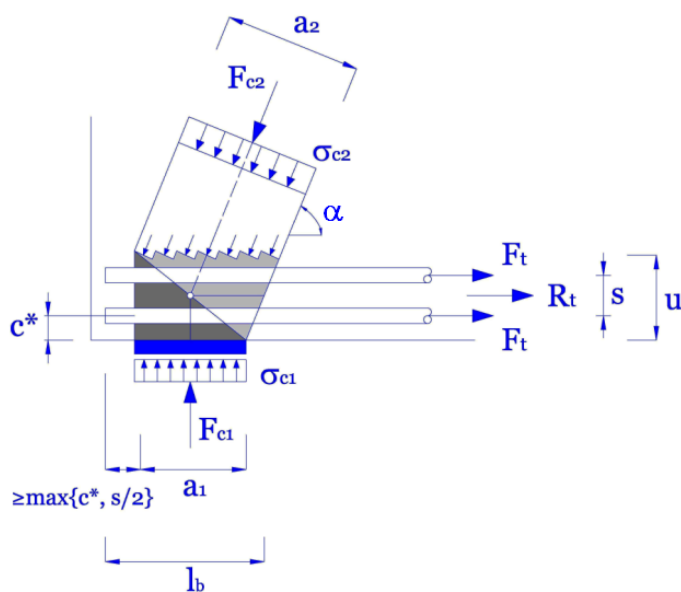
$$l_{v,n} = \text{Min}[2 * b * 10, 300]$$

$$300$$

6.3.4 Kontrola krajnega vozlišča in pripadajoči razpored

6.3.4.1 Obravnavam vozlišča nad podporo v skladu s simboli na sliki.

Opomba: v računih upoštevamo $\alpha_1 = \alpha_A$



Slika 6: Prikaz vojalnega vozlišča

6.3.4.2 Dimenzije vozlišč glede na izbrane dimenzije glavne vzdolžne armature (15 $\phi 20$ mm) in vertikalne razdalje med njimi:

Efektivna višina vozlišča h_{ef} [cm]:

$$c^* = \text{krvni sloj (5 cm)} + \text{stremenska armatura } (\phi 0.8 \text{ cm}) + \frac{\text{vzdolžna armatura } (\phi 2.0 \text{ cm})}{2}$$

n ... število slojev glavne vzdolžne armature

s ... osna razdalja med armaturnimi palicami

$$c^* = 6.8;$$

$$n = 5;$$

$$s = 5.0;$$

$$u = 2c^* + (n - 1)s$$

$$33.6$$

Dolžina inastika razpore z vozliščem:

Dolžina inapodaljša inegavozlišča a

$$a_{stik1} = a_A + \frac{u}{\tan\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$99.8391$$

Dolžina inadiagonalne stranice trikotnega podvozlišča a

$$\gamma = \text{ArcTan}\left[\frac{u}{a_A}\right] \frac{180}{\pi}$$

$$24.1324$$

$$a_{stik2} = \frac{a_A}{\cos\left[\gamma \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$82.1825$$

Širina tla in razpore (pravokotno na razpore, t.j. vsota diagonalnih nazobanih delov na sliki):

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

$$80.2833$$

6.3.4.3 Kontrola tlak in napetosti na mestu podpiranja:

$$F_{c1} = R$$

$$2700$$

$$a_A$$

$$75$$

$$\sigma_{c1} = N \left[\frac{F_{c1}}{a_A b} \right]$$

1.2

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd}$$

True

6.3.4.4 Kontrola tla ■ nilnapetosti na stiku diagonalne razpore z vozliš ■ em:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

3357.68

Napetost na nazob ■ anemdelu:

$$a_2 = u \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] + a_A \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

80.2833

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.3941

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.3.4.5 Kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

3357.68

α

53.526

$$a_2 = u \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] + a_A \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

80.2833

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.3941

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

False

Povečanoviš inovoziš ali dolž inopodpornega elementa ali pa omenjena ukrepa kombiniramo:

Potrebna viš inavoziš "u" [cm] :

Clear[u]

$$\text{Solve} \left[\frac{F_{c2}}{\left(u \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] + a_A \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] \right) b} == 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}, u \right]$$

{{u → 76.8395}}

$$u = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - a_A \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}{\cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

76.8395

ali potrebna širinapodpore "a_A" [cm] :

Clear[u]

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

33.6

$$a_A = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - u \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}{\sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

106.965

Za zagotavljanje nosilnosti voziš in diagonalne razpore izberem povečanoviš inovoziš "u".

6.3.4.6 Dimenzije voziš glede na izbrane dimenzije glavne vzdolž nearmature (15 ϕ 20mm) in povečan vertikalne razdalje med njimi:

$$a_A = 75;$$

$$c^* = 6.8;$$

$$n = 5;$$

$$s = 16.5;$$

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

79.6

6.3.4.7 Ponovna kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

3357.68

α

53.526

Širina tla α razpore :

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

107.628

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.0399

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.3.4.8 Kontrola območja viš in voziš "u" glavne vzdolž nearmature:

u

79.6

l = 1800;

h = 900;

$u \leq 0.12 \text{ Min}[l, h]$

True

6.3.5 Kontrola prečnihategov v diagonalni razpori (popolna prekinitev), v območju podpore:

6.3.5.1 Oddaljenost "z" med zgornjim in spodnjim pasom paličja[cm]:

$a_A = 75$;

$$z_A = \left(\frac{l}{4} - \left(\text{Max}\left[c^*, \frac{s}{2}\right] + \frac{a_A}{2}\right)\right) \tan\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

546.831

$z = z_A$;

6.3.5.2 Določitev prenosne sile v diagonalni razpore:

Širina razpore [cm]:

$$a = a_2$$
$$107.628$$

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom palic [cm]:

$$z$$
$$546.831$$

Naklon diagonalne razpore [°]:

$$\alpha$$
$$53.526$$

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$
$$680.031$$

Območje vpliva prenosnihategov v diagonalni razpore [cm]:

$$a_A = 75;$$
$$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_A$$
$$388.766$$

Polovičn dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$
$$340.016$$

Prenosna sila v diagonalni razpore [kN]:

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a}{h_r} \right) F_{c2}$$
$$653.423$$

a) Določitev potrebne natezne armature v ortogonalni smeri za prevzem prenosne sile T
Kontrola ortogonalne mreže narmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočim):

Razdelitev prenosne sile, ki deluje pravokotno na diagonalno razpore, na horizontalno in vertikalno komponento [kN]:

$$T_h = T * \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$
$$525.435$$

$$T_v = T * \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

388.433

Potrebna količina armature na tekočimeter v horizontalni smeri (cm²/m):

$$A_{sh} = \frac{T_h/1}{f_{yd}}$$

12.085

$$\Delta A_{sh} = A_{sh} - 2 \times 3.08$$

5.92501

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sh}}{2}$$

2.9625

Izberem dodatne horizontalne palice $\phi 8 / 15 \text{ cm}$ (3.35 cm² / m) k mrežni armaturi Q308

Potrebna količina armature na tekočimeter v vertikalni smeri (cm²/m):

$$A_{sv} = \frac{T_v/1}{f_{yd}}$$

8.93395

$$\Delta A_{sv} = A_{sv} - 2 \times 3.08$$

2.77395

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sv}}{2}$$

1.38698

Izberem dodatne vertikalne palice $\phi 8 / 30 \text{ cm}$ (1.68 cm² / m) k mrežni armaturi Q308

b) Določite potrebne natezne armature za prevzem prečnatezne sile T v smeri sile:

Kontrola ortogonalne mreže armature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimeter):

Potrebna količina armature na tekočimeter v smeri sile T (cm²/m):

$$A_{sT} = \frac{T/1}{f_{yd}}$$

15.0287

Prispevek horizontalnih palic mreže armature Q308 glede na naklon sile T:

Ash = 3.08;

$$A_h = A_{sh} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

2.47671

Prispevek vertikalnih palic mrež nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sv} = 3.08;$$

$$A_v = A_{sv} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

1.83093

$$\Delta A_{sT} = A_{sT} - 2(A_h + A_v)$$

6.41345

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sT}}{2}$$

3.20673

Izberem dodatne palice : $\phi 8 / 12.5 \text{ cm}$ ($4.02 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

6.3.6 Kontrola razpore v zgornjem pasu paličja:

$$N_{1d} = N_{2d}$$

1996

Dimenzija razpore gledano na lice elementa je enaka viš inikrajnega vozliš "u":

u

79.6

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{2d}}{u b}$$

0.835846

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.3.7 Kontrola sidranja armature nad krajno podporo (SIST EN 1992-1-1, poglavje 8)

6.3.7.1 Mejna sprijemna napetost:

f_{bd} mejne napetosti sidranja za rebraste palice [$\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$]

f_{ctd} raunskavrednost natezne trdnosti betona v skladu s 3.1.6 (2) P.

η_1 koeficient, ki je odvisen od kvalitete pogojev sidranja in od lege palic med betoniranjem

η_2 koeficient, ki je odvisen od premera palice

$$\alpha_{ct} = 1;$$

$$f_{ctk0,05} = 0.2;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk0,05}}{\gamma_C}$$

$$0.133333$$

$$\eta_1 = 0.7;$$

$$\eta_2 = 1.0;$$

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

$$0.21$$

6.3.7.2 Osnovna sidrna dolž $in_{b,rqd}$ [mm]:

σ_{sd} ra \blacksquare unskanapetost v palici na mestu od katerega merimo dolž inosidranja [cm].

Dolž inasidranja mora prevzeti celotno natezni silo [mm]:

$$N_{2d}$$

$$1996$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{2d}}{A_{s_{izbran}}}$$

$$42.3599$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$1008.57$$

6.3.7.3 Ra \blacksquare unskasidrna dolž in_{bd} [mm]:

α_1 je koeficient, ki upošteva u \blacksquare inekoblake palice ob predpostavki ustreznega krovnega sloja betona

$$\alpha_1 = 1.0;$$

α_2 je koeficient, ki upošteva u \blacksquare ineknajmanjš egakrovnega sloja betona

$$\alpha_2 = 1.0;$$

α_3 koeficient za upoštevanje u \blacksquare inkaobjetja s pre \blacksquare noarmaturo

$$\alpha_3 = 1.0;$$

α_4 koeficient za upoštevanje vpliva ene ali ve \blacksquare privarjenih pre \blacksquare nilpalic ($\phi_t > 0.6 \phi$)
vdolžra \blacksquare unskedolžne sidranja l_{bd} , ki je podan z vrednostjo 1.0 zaradi numerike,
sicer pa varjene palice niso uporabljene (lahko bi bile dodane kot ukrep)

$$\alpha_4 = 1;$$

α_5 koeficient za upoštevanje u \blacksquare inkalaka pre \blacksquare nona ravnino cepitve vzdolž ra \blacksquare unskesidrne dolž ine

$\alpha_5 \in [0.7 - 1.0]$ redukcija sidrne dolžne glede na ugoden vpliv prenapetosti.

Določitev prenapetosti p [MPa]:

$$a_A = 75;$$

$$\text{Abs}[N_{3,d}]$$

$$3357.68$$

$$p = \frac{\text{Abs}[N_{3,d}] \text{Sin}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\left(a_A + \frac{u}{\text{Tan}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}\right) b} 10$$

$$6.72419$$

$$\alpha_5 = 1.0 - 0.04 p$$

$$0.731032$$

$$\text{If}[\alpha_5 < 0.7, 0.7, \alpha_5]$$

$$0.731032$$

Kontrola : Produkt ($\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5$) ≥ 0.7

$$\text{Produkt} = \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7]$$

$$0.731032$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_4 \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7] l_{b,rqd}$$

$$737.297$$

6.3.7.4 Minimalna sidrna dolžina $l_{b,min}$ [mm]:

$$l_{b,min,nateg} = \text{Max}[0.3 l_{b,rqd}, 10 \phi, 100]$$

$$302.571$$

6.3.7.5 Dejanska sidrna dolžina $l_{b,dej}$ [mm]:

$$l_{b,dej} = \left(\text{Max}\left[c^*, \frac{s}{2}\right] + a_A + \frac{u/2}{\text{Tan}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]} \right) 10$$

$$1126.73$$

6.3.7.6 Kontrola dolžine sidranja

Razporeditev sidrne dolžine $l_{b,d}$ [mm] :

$$l_{b,dej} \geq l_{bd}$$

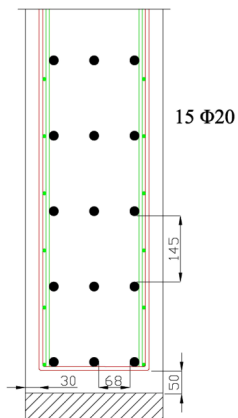
$$\text{True}$$

Minimalna sidrna dolžina $l_{b,d}$ [mm] :

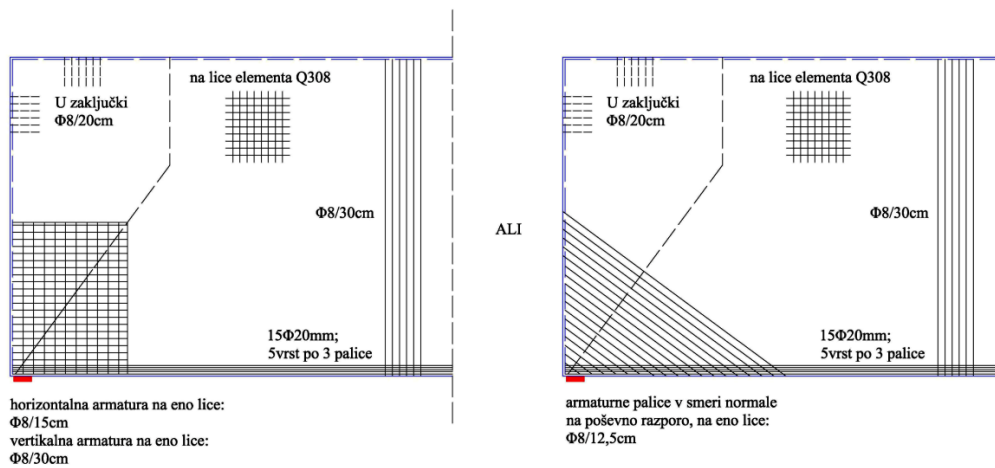
$$l_{b,dej} \geq l_{b,min,nateg}$$

$$\text{True}$$

6.3.8 Prikaz dejanskega armiranja



Slika 7: Armiranje v polju

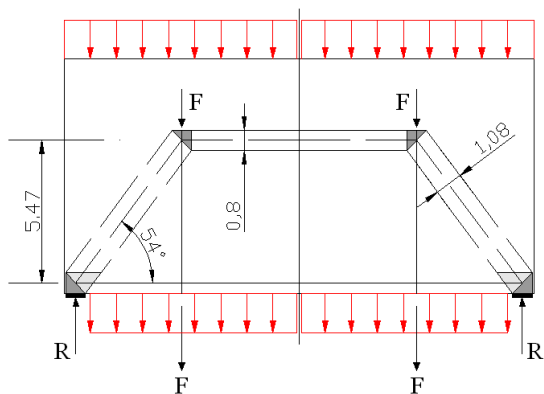


Slika 8: Prikaz armiranja na lice elementa z ortogonalno armaturo v vogalu in z alternativno armaturo v smeri normale na poševno razporo

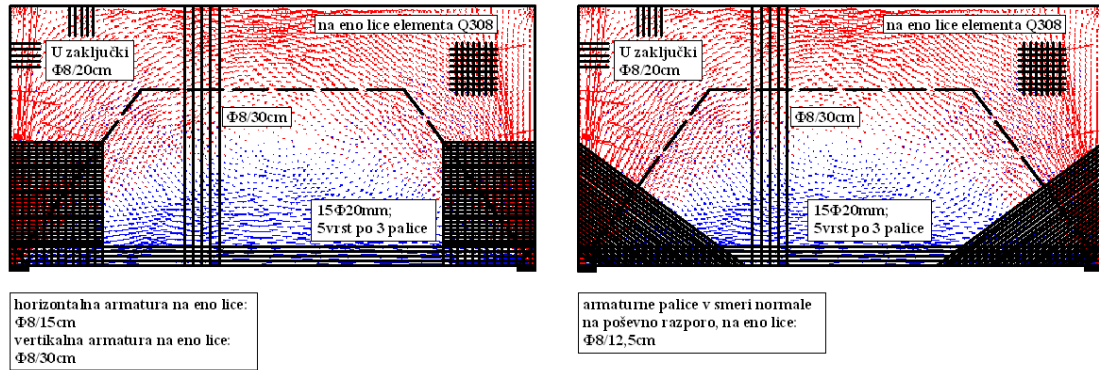
6.3.9 Konstruktivna palijana in položaj armature glede na potek glavnih napetosti:

Komentar :

Razdalja med rezultantami tlašnih nateznih napetosti dobljenih iz programskega paketa "Sofistik" pri integraciji napetosti po linearni teoriji elastičnosti po vertikalnih prerezih znaša za ročico polju $z = 6.09\text{ m}$.



Slika 9: Paličnimehanizem



Slika 10: Glavne napetosti in položaj armature

Clear $[\alpha, \gamma, R]$

7.0 MEJNA STANJA UPORABNOSTI (MSU): KONTROLA RAZPOK

7.1 Obremenitev:

- $q_{zg} = 142 \text{ kN/m}$
- $q_{sp} = 71 \text{ kN/m}$

7.2 Rezultanta nateznih napetosti v polju [kN]:

$$N_2 = 1415;$$

7.3. Kontrola razpok (SIST EN 1992-1-1, poglavje 7.3)

7.3.1 Minimalna potrebna količina armature za zagotavljanje robustnosti:

$$A_{s,\min} = k_c k \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\sigma_s} A_{ct}$$

σ_s ... absolutna vrednost največje dovoljene napetosti armature takoj po nastanku razpoke. Vzamemo lahko, da je to napetost na meji elastičnosti armature, f_{yk} . Pri zagotovitvi omejitve širine razpok glede na največji prečni presek palic (SIST EN 1992-1-1, preglednica 7.2) in z največjo medsebojno razdaljo palic, je lahko potrebna tudi manjša vrednost:

$$\sigma_s = f_{yk}$$

$$50$$

k_c ... koeficient, ki upošteva razporeditev napetosti prereza neposredno pred nastankom razpok in vpliv spremembe ročic notranjih sil. Vrednosti pogoj:

$$k_c = 0.4;$$

k ... koeficient, ki omogoča upoštevanje neenakomernih samouravnavežnih napetosti, ki vodijo v zmanjšanje vplivov, ki izvirajo iz preprečitve deformiranja:

$$k = 0.65;$$

$f_{ct,eff}$... srednja vrednost učinkovite natezne trdnosti betona v času, ko pri naključnem nastanku prve razpoke:
 $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ oziroma manjša od $f_{ctm}(t)$, nastanek razpok pri naključnem opreju kot pri starosti 28 dni.

$$f_{ct,eff} = 0.29;$$

A_{ct} ... prerez betona v natezni coni. Natezna cona je tisti del prereza, za katerega računamo, da je tegnjen tik pred nastankom prve razpoke.

z

$$546.831$$

Če je osna sila $N_{Ed} = 0$, pomeni da je delež prereza v nategu enak $\lambda = 0.5$.

$$\lambda = 0.5;$$

$$A_{ct} = \lambda b z$$

$$8202.47$$

Minimalno potrebna armatura:

$$A_{s,min} = k c k \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} A_{ct}$$

$$12.3693$$

$$A_{s,izbran} > A_{s,min}$$

True

7.3.2 Kontrola razpok z uporabo preglednic 7.2 in 7.3 v SIST EN 1992-1-1:

Vsaj en pogoj mora biti izpolnjen, da širina razpok verjetno ne bodo prekomerne.

Pogoj a: glede na prerez palic $\phi = 20\text{mm}$, naj bi bila največja napetost v jeklu 240MPa; preglednica 7.2 ali pogoj b: dejanske napetosti v palicah pripadajo največji razmak med palicami ni presežen; preglednica 7.3.

Pogoj a:

Dejanska napetost v palicah [kN/cm^2]:

N_2

$$1415$$

$A_{s,izbran}$

$$47.12$$

$$\sigma_s = \frac{N_2}{A_{s,izbran}}$$

$$30.0297$$

Kontrola:

$$\sigma_s < 24$$

False

Pogoj b:

Kontrola maksimalnega razmaka med palicami glede na dejansko napetost σ_s v armaturnih palicah [mm] :

$$e_{dej} = 145;$$

$$e_{max} = 175;$$

$$e_{dej} < e_{max}$$

True

KOMENTAR: glede na količino dejansko vgrajene armature in ustreznim razmakom med palicami naj ne bi bile širine razpoka prekomerne.

7.3.3 Račun širine razpoka w_k :

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Komentar: račun širine razpoka v primeru vsaj ene izpolnjene kontrole iz preglednic 7.2 in 7.3 ni potreben. Prikazan je račun širine razpoka, v primeru, ko ne bi izpolnjevali pogojev iz preglednice 7.2 in preglednice 7.3.

7.3.3.1 Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$):

Račun napetosti v armaturi σ_s :

$$\sigma_s = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed} - N_{Ed} z_s}{z A_s} \rightarrow \sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z A_s} \rightarrow \sigma_s = \frac{N_2 z}{z A_s} \rightarrow \sigma_s = \frac{N_2}{A_s}$$

$$N_2$$

$$1415$$

$$A_{s,izbran}$$

$$47.12$$

$$\sigma_s = \frac{N_2}{A_{s,izbran}}$$

$$30.0297$$

kt... faktor, ki je odvisen od trajanja obtež be

kt = 0, 6 za kratkotrajno obtež bo

kt = 0, 4 za dolgotrajno obtež bo

$$k_t = 0.4;$$

$A_{c,eff}$ je učinkovit del betonskega prereza v natezni coni, ki obdaja armaturo oziroma prednapete kable z višino $h_{c,eff}$ (glej sliko 7.1, pogl.: 7.3.2).

$$A_{c,eff} = b u$$

$$2388.$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,izbran}}{A_{c,eff}}$$

$$0.019732$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\frac{200}{33}$$

Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami $\Delta\epsilon_{def} = \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$\Delta\epsilon_{def} = \text{Max} \left[\frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s} \right]$$

$$0.0011724$$

7.3.3.2 Račun dela enačbe s_{rmax} :

c... debelina krovne plasti betona nad vzdolžno armaturo

$$c = 5;$$

k1... koeficient s katerim upoštevamo pogoje sidranja s sprejemnimi napetostmi sidrane armature :

= 0,8 za palice z dobro sprejemnostjo

= 1,6 za palice z gladko površino (kot npr. prednapeti kabli)

$$k_1 = 0.8;$$

k2... koeficient, ki upošteva vpliv razporeditve deformacij po prerezu :

= 0,5 za upogib

= 1,0 za istinatog

$$k_2 = 0.5;$$

ϕ premer palic:

$$\phi = 2.0;$$

$$s_{rmax} = 3.4 c + \frac{0.425 k_1 k_2 \phi}{\rho_{p,eff}}$$

$$34.2309$$

7.3.3.3 Širina razpoke [mm]

$$w_k = s_{rmax} \Delta\epsilon_{def} 10$$

$$0.401321$$

7.3.3.4 Kontrola širine razpok [mm]:

Za razred izpostavljenosti X0 in XC1 pri navidezno stalni obteži nikombinaciji, zanaša priporočena širina razpoke 0.4 mm

$$w_{k,prp} = 0.4;$$

$$w_k \leq w_{k,prp}$$

False

$$\Delta w_k = w_k - w_{k,prp}$$

$$0.00132142$$

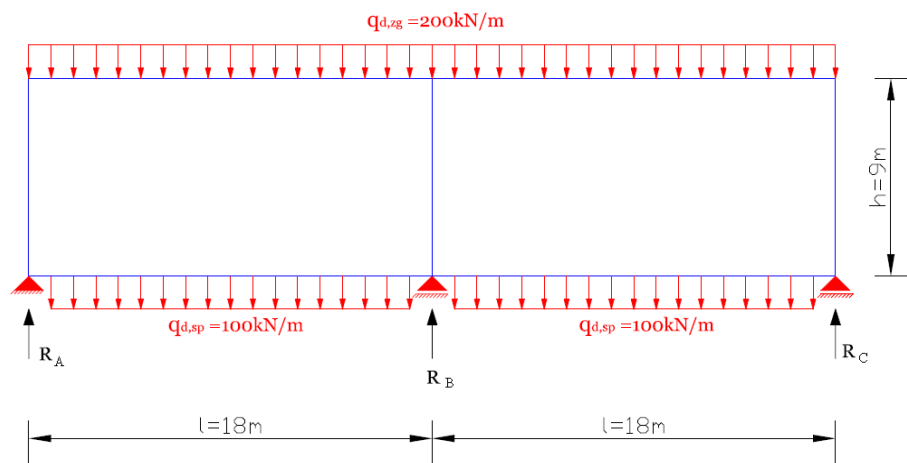
Komentar :

Za razreda izpostavljenosti X0, XC1, širinarazpok ne vpliva na trajnost, navedena omejitev širinarazpok je določena zaradi zagotavljanja sprejemljivega izgleda. V primeru, da glede izgleda ni nobenih zahtev, lahko to omejitev ublažimo.

Zavedati se je potrebno, da je navidezno stalna obtež kombinacija zapisana kot $1,0 \cdot G + 0,4 \cdot Q$, kar v našem primeru pomeni, da je obtež bremenja od analizirane, kjer sta obtež bina zgornjem in spodnjem robu zmanjšana za globalni faktor $\frac{1,35 + 1,5}{2} = 1,42$. Pomeni varna stran.

PRILOGA 2: DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ■EZDVE POLJI;
 $l = 18 \text{ m}$, $h = 9 \text{ m}$, $l/h = 2$

1.0 PRIKAZ STENASTEGA NOSILCA [kN/m;m]



Slika 1: Obremenitev in geometrija

2.0 GEOMETRIJA

Stenast nosilec [cm]:

$$l = 1800;$$

$$h = 900;$$

$$b = 30;$$

Prerez podpornih elementov (steber ali pre■nastena) [cm]:

$$b_s = 30;$$

$$a_A = 50;$$

$$a_B = 125;$$

Dejanska dimenzija podpornega elementa predstavlja razliko med kon■noizbrano dimenzijo a_A in a_B in vplivom plo■ ■ad podporo, pomeni $a_{A, \text{dejanski}} = a_A - \frac{h_{pl}}{\tan\alpha}$ in $a_{B, \text{dejanski}} = a_B - 2 \frac{h_{pl}}{\tan\beta}$, ki sta ve■jaod najmanjš e dovoljene dimenzije podpornega elementa, sicer minimalna dimenzija podpore. Naklonska kota α in β predstavljata naklon diagonalne razpore.

3.0 MATERIAL [kN/cm²]

Armatura S500

$$f_{yk} = 50;$$

$$\gamma_S = 1.15;$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S};$$

$$E_s = 20\,000;$$

Beton C30/37

$$f_{ck} = 3;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C};$$

$$E_{cm} = 3300;$$

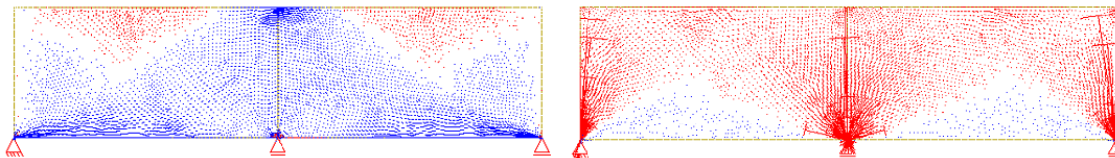
4.0 OBREMENITEV [kN/m]

$$q_{d,zg} = 200;$$

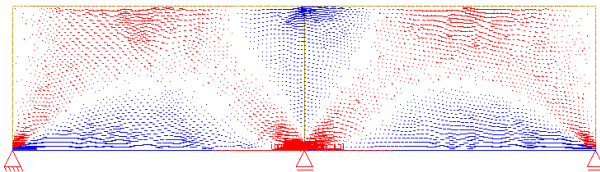
$$q_{d,sp} = 100;$$

5.0 GLAVNE NAPETOSTI PO ELEMENTU OBREMENJENEM Z LINIJSKO OBTEŽ BO NA ZGORNJEM IN SPODNJEM ROBU NA PODLAGI LINEARNO ELASTIČNE ANALIZE S PROGRAMSKIM PAKETOM "SOFISTIK" IN SIMBOLNI PRIKAZ MODELA PALIČNEGA

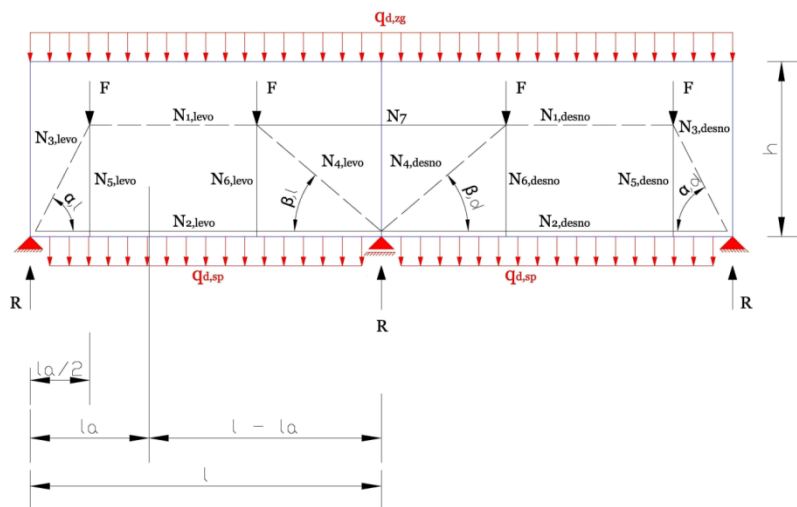
Prikaz glavnih normalnih napetosti



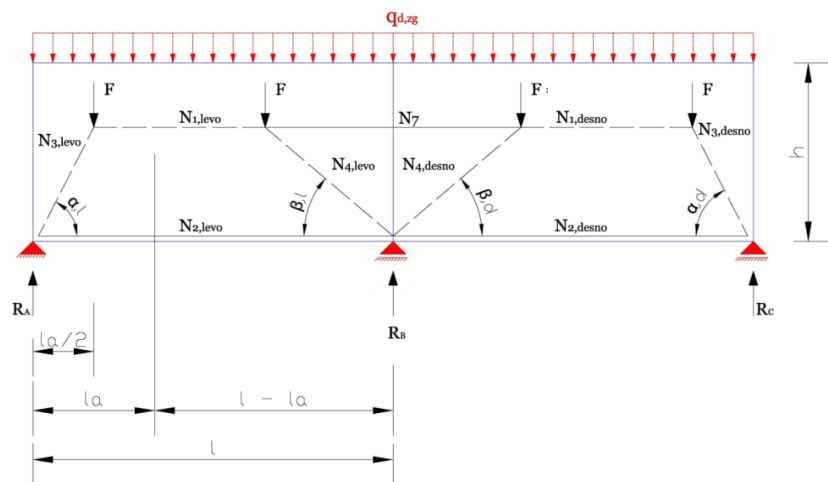
Slika 2: Glavne napetosti σ_I in σ_{II}



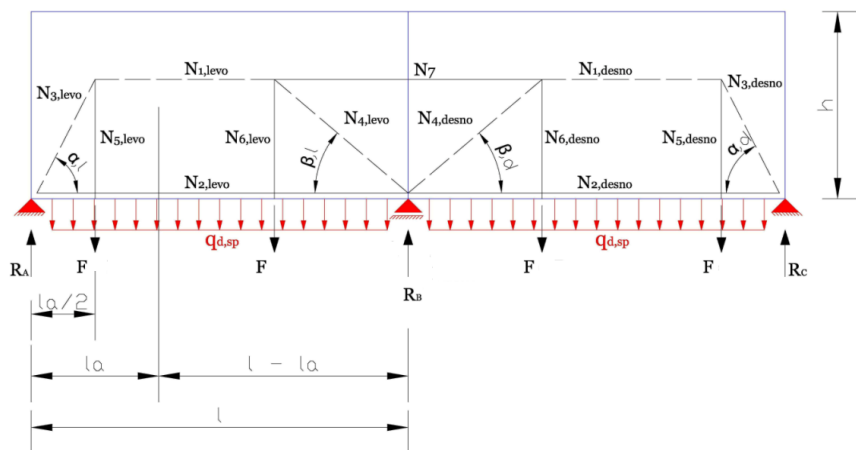
Slika 3: Normalne napetosti σ_{xx} v smeri lokalne koordinate x



Slika 4: Obtež bana zgornjem in spodnjem robu stenastega nosilca in prikaz paličnega mehanizma



Slika 5: Obtež bana zgornjem robu nosilca in pripadajoči mehanizem



Slika 6: Obtež bana spodnjem robu nosilca in pripadajoči mehanizem

Opombe k sliki 5 in sliki 6:

- sliki 5 in 6 predstavljata paličnimehanizma za prenos obtež bedelujena zgornjem in spodnjem robu nosilca ter kombinacijo,
- oblika paličjaje simetrična, kar kaž ena enakomerno delovanje obtež bein hkrati na enake razpone v polju pri konstantni viš inj
- sila v zgornjem pasu N_1 in sila v spodnjem pasu N_2 sta si nasprotno enaki in predstavljata rezultanti napetosti v tlačin natezni coni, dobljeni s programskim paketom "Sofistik"
- sila N_7 predstavlja rezultanto nateznih napetosti nad podporo, dobljeno s programskim paketom "Sofistik",
- diagonalni tlačnisi N_3 in N_4 ter njuna naklona sta iskani količini, potrebni za dimenzioniranje,
- na sliki 6 nastopita še dve količini N_5 in N_6 , preko katerih se prenaša spodnja (obeš ena) obtež banad tlačnilo (N_3, N_1, N_4) in
- v primeru neenakomerne zvezne obtež bein/ali različnih razpetin nosilca ne smemo upoštevati simetrije

6.0 MEJNA STANJA NOSILNOSTI (MSN): DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA ■EZ DVE POLJI

- 6.1 Ra■un vrednosti sile v razpori in pripadajo■ega kota naklona pri podpori "A" [kN, °]:

Podatki potrebni za izra■un:

$$R_A = 2113;$$

Dolž ina, kjer je moment maksimalen in pre■nasila enaka ni■[m]:

$$l_A = N \left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}} \right]$$

$$7.04333$$

Rezultanta natezних napetosti v krajnem polju [kN]:

$$N_{2d} = 1217;$$

Na■ina:

$$\text{FindRoot} \left[\left\{ N_{2d} == -N_{3d} \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right], R_A == -N_{3d} \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] \right\}, \{ \{N_{3d}, 15000\}, \{ \alpha, 2\pi \} \} \right]$$

$$\{ N_{3d} \rightarrow -2438.41, \alpha \rightarrow 60.0598 \}$$

Na■irb:

$$\alpha = N \left[\text{ArcTan} \left[\frac{R_A}{N_{2d}} \right] \frac{180}{\pi} \right]$$

$$60.0598$$

$$N_{3d} = - \frac{R_A}{\sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

$$-2438.41$$

Na■inc, predstavlja uporabo ena■b predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.2, ena■ba 4.15:

$$l = 18;$$

$$h = 9;$$

$$\frac{l}{h}$$

$$2$$

$$\alpha = -5.43 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 8.38 \left(\frac{l}{h} \right) + 65$$

$$60.04$$

$$N_{3d} = - \frac{R_A}{\sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

$$-2438.9$$

Clear[l, h]

Sila v tla \square ndiagonalni razpori N_3 [kN]

$$N_{3d} = -2438.4130084954845;$$

Naklon sile v tla \square ndiagonalni razpori N_3 [$^\circ$]

$$\alpha = 60.05984924049096;$$

Kontrola

$$N_{2d} = -N_{3d} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

$$1217.$$

$$R_A = -N_{3d} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

$$2113.$$

■ 6.2 Ra \square unvrednosti sile v razpori in pripadajo \square egakota naklona pri podpori "B" [kN, $^\circ$]:

Podatki potrebni za izra \square un:

$$R_B = 6573;$$

Dolž inana levi strani podpore [m]:

$$l_1 = 18;$$

$$l_A = N\left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}}\right];$$

$$l_{B,levo} = l_1 - l_A$$

$$10.9567$$

Vrednost pre \square nesile na levi strani reakcije "R $_B$ " [kN]:

$$V_{Blevo} = l_{B,levo} (q_{d,zg} + q_{d,sp})$$

$$3287.$$

Vrednost pre \square nesile na desni strani reakcije "R $_B$ " [kN]:

$$V_{Bdesno} = V_{Blevo};$$

Rezultanta nateznih napetosti nad podporo "B" [kN]:

$$N_{7d} = 2294;$$

Na \square ira:

$$\text{FindRoot}\left[\left\{N_{7d} == -N_{4d} \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right], V_{Blevo} == -N_{4d} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]\right\}, \{N_{4d}, 15000\}, \{\beta, 2\pi\}\right]$$

$$\{N_{4d} \rightarrow -4008.34, \beta \rightarrow 55.0888\}$$

Načrt:

$$\beta = N \left[\text{ArcTan} \left[\frac{V_{\text{Blevo}}}{N_{7d}} \right] \frac{180}{\pi} \right]$$

55.0888

$$N_{4d} = - \frac{V_{\text{Blevo}}}{\text{Sin} \left[\beta \frac{\pi}{180} \right]}$$

-4008.34

Načrt, predstavlja uporabo enačb predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.2, enačba 4.20:

$l = 18;$

$h = 9;$

l

h

2

$$\beta = 2.6 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 11.1 \left(\frac{l}{h} \right) + 70$$

58.2

$$N_{4d} = - \frac{V_{\text{Blevo}}}{\text{Sin} \left[\beta \frac{\pi}{180} \right]}$$

-3867.55

Clear[l, h]

Sila v tlačni diagonalni razpori N_4 [kN]

$$N_{4d} = -4008.341926532715;$$

Naklon sile v tlačni diagonalni razpori N_4 [°]

$$\beta = 55.088780287167445;$$

Kontrola

$$N_{7d} = -N_{4d} \text{Cos} \left[\beta \frac{\pi}{180} \right]$$

2294.

$$V_{\text{Blevo}} = -N_{4d} \text{Sin} \left[\beta \frac{\pi}{180} \right]$$

3287.

■ 6.3 Notranje statične količine [kN]

Reakcija in prenosila

$$R_A = 2113;$$

$$R_B = 6573;$$

$$V_{Blevo} = 3287;$$

$$V_{Bdesno} = V_{Blevo};$$

Natezna sila v spodnjem pasu paličja

$$N_{2d} = 1217;$$

Natezna sila nad podporo

$$N_{7d} = 2294;$$

Diagonalna tlačna razpora

$$N_{3d} = -2438.413;$$

$$N_{4d} = -4008.34;$$

■ 6.4 Dimenzioniranje

6.4.1 Določitev potrebne armature

6.4.1.1 Potrebna količina natezne armature v polju [cm²]:

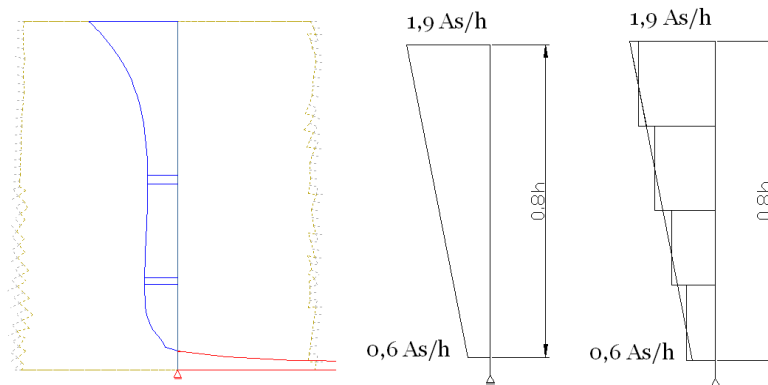
$$A_s = \frac{N_{2d}}{f_{yd}}$$

$$27.991$$

Izberem : 15 ϕ 16mm (30,16cm²)

$$A_{s_{izbran}} = 30.16;$$

6.4.1.2 Potrebna količina natezne armature nad podporo [cm²]:



Slika 7: Načrtovanje armiranja nad podporo

$$h = 900;$$

$$A_{s2} = \frac{N_{7d}}{f_{yd}}$$

$$52.762$$

$$As2_{sp} = 0.6 \frac{As2}{h} * 100$$

3.51747

$$As2_{zg} = 1.9 \frac{As2}{h} * 100$$

11.1386

$$\Delta As2 = As2_{zg} - As2_{sp}$$

7.62118

Povešujemkvadrato armature na 0, 2h (stopniženje armature) :

$$\frac{\Delta As2}{4}$$

1.90529

od 0 do 0, 2 h :

$$\frac{\left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) + As2_{sp}}{2}$$

4.47011

od 0,2h do 0, 4 h :

$$\frac{\left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) 2 + \left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right)}{2}$$

6.37541

od 0,4h do 0, 6 h :

$$\frac{\left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) 3 + \left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) 2}{2}$$

8.2807

od 0,6h do 0, 8 h :

$$\frac{\left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) 4 + \left(As2_{sp} + \frac{\Delta As2}{4} \right) 3}{2}$$

10.186

Izberem :

od 0 do 0.2 h : $\phi 12 / 20$ cm (5, 085 cm² / m) ; 180 / 20 = 9 palic (izberem 2 x6 palic, $\phi 12 / 30$ cm na lice)

od 0.2 h do 0.4 h : $\phi 12 / 15$ cm (6, 78 cm² / m) ; 180 / 15 = 12 palic (izberem 2 x6 palic, $\phi 12 / 30$ cm na lice)

od 0.4 h do 0.6 h : $\phi 12 / 12$ cm (9, 04 cm² / m) 180 / 12 = 15 palic (izberem 2 x8 palic, $\phi 12 / 22.5$ cm na lice)

od 0.6 h do 0.8 h : $\phi 12 / 10$ cm (11, 31 cm² / m) ; 180 / 10 = 18 palic (izberem 2 x9 palic, $\phi 12 / 20$ cm na lice)

6.4.1.3 Potrebna količina ortogonalne mreže armature [cm²] :

Priporoča SIST EN 1992-1-1:

Vrednost $A_{s,dbmin} = \max \{ 0,1 \% A_c \text{ ali } 1.50 \text{ cm}^2/\text{m} \}$ na vsaki strani in v vsaki smeri elementa:

$$A_{s,dbmin} = \text{Max} \left[\frac{0.1}{100} b, 100, 1.5 \right]$$

3.

Izberem mrežo oQ308

Komentar: potrebna je kontrola mreže glede na prečnatege v tla v razporah.

6.4.1.4 Potrebna količina obsežne/stremenske armature, "dvo - strižnostre" [cm²/m] :

$$A_{sw,ob,rac} = \frac{q_{d,sp}}{2 f_{yd}}$$

1.15

Potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 50 \text{ cm} (2.01 \text{ cm}^2 / \text{m})$

Minimalna potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 30 \text{ cm} (3.35 \text{ cm}^2 / \text{m})$

Izbrana armatura :

$$A_{sw,ob} = \text{Max} [A_{sw,ob,rac}, 3.35]$$

3.35

6.4.2 Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] po določeni SIST EN 1992-1-1, (glej 4.4.1):

Najmanjši dopustni krovni sloj betona c_{min} [mm] :

$c_{min,b}$ najmanjša debelina krovne plasti glede na zahteve prijemnosti, glej 4.4.1.2 (3). Za posamezne palice ne sme biti manjša od premera palice:

$$c_{min,b} = 16;$$

$c_{min,dur}$ najmanjša debelina krovne plasti glede na pogoje okolja, glej 4.4.1.2 (5). Za izbran razred izpostavljenosti X0 in XC1 ter razred konstrukcije S4, ustreza:

$$c_{min,dur} = 15;$$

$c_{dur,\gamma}$ dodatni varnostni sloj, glej 4.4.1.2 (6):

$$c_{dur,\gamma} = 0;$$

$c_{dur,st}$ zmanjšanje najmanjša debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla, glej 4.4.1.2 (7):

$$c_{dur,st} = 0;$$

$c_{dur,add}$ zmanjšanje najmanjša debeline krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite, glej 4.4.1.2 (8):

$$c_{dur,add} = 0;$$

Najmanjši dopustni krovni sloj betona :

$$c_{\min} = \text{Max}[c_{\min,b}, c_{\min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}, 10]$$

16

Dovoljeno projektno odstopanje krovnega sloja Δc_{dev} [od 0 do 10 mm]:

$$\Delta c_{dev} = 10;$$

Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] :

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}$$

26

Izbran krovni sloj betona : $c_{nom} = 50$ mm

6.4.3 Najmanjša avodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] po določilih SIST EN 1992-1-1:

Svetla medsebojna razdalja (vodoravna in navpična) med posameznimi vzporednimi palicami oziroma med vodoravnimi legami vzporednih palic ne sme biti manjša od največje izmed naslednjih treh vrednosti: $k_1 \times$ premer palice, $(d_g + k_2)$ mm oziroma 20 mm priemer največje agregata.

Opomba: Vrednosti k_1 in k_2 za uporabo v posamezni državi lahko najdemo v njenem nacionalnem dodatku. Priporočene vrednosti sta $k_1=1$ mm in $k_2=5$ mm.

Najmanjša vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

$$k_1 = 1;$$

$$k_2 = 5;$$

$$\phi = 16;$$

$$d_g = 16;$$

$$l_{v,n} = \text{Max}[k_1 \phi, d_g + k_2, 20]$$

21

Največja vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

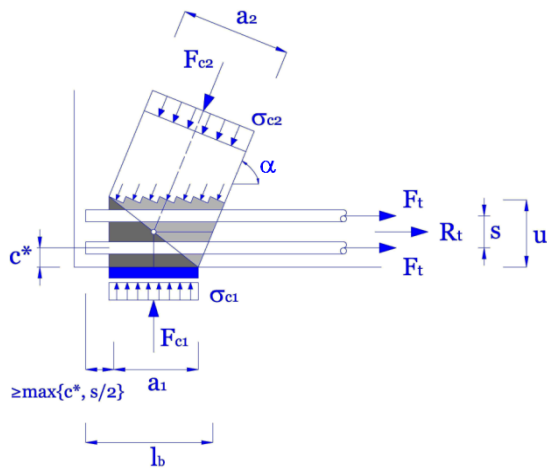
$$l_{v,n} = \text{Min}[2 * b * 10, 300]$$

300

6.4.4 Kontrola krajnega vozlišča in pripadajoči razpore

6.4.4.1 Obravnavam vozlišča nad podporo v skladu s simboli na sliki.

Opomba: v računih upoštevamo $a_1 = a_A$



Slika 8: Prikaz vogalnega vozlišča

6.4.4.2 Dimenzije vozlišča glede na izbrane dimenzije glavne vzdolžne armature (15 $\phi 16$ mm) in vertikalne razdalje med njimi:

Efektivna višina vozlišča "u" [cm]:

$$c^* = \text{krvni sloj (5 cm) + stremenska armatura (\phi 0.8 cm) + } \frac{\text{vzdolžna armatura (\phi 1.6 cm)}}{2}$$

n ... število slojev glavne vzdolžne armature

s ... osna razdalja med armaturnimi palicami

$$c^* = 6.6;$$

$$n = 5;$$

$$s = 10.0;$$

$$u = 2c^* + (n - 1)s$$

$$53.2$$

Dolžina nastika razpore z vozliščem:

Dolžina podaljšane glave vozlišča

$$a_{\text{stikl}} = a_A + \frac{u}{\tan\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$80.641$$

Dolžina nadiagonalne stranice trikotnega podvozlišča

$$\gamma = \text{ArcTan}\left[\frac{u}{a_A}\right] \frac{180}{\pi}$$

$$46.776$$

$$a_{\text{stik2}} = \frac{a_A}{\text{Cos}\left[\gamma \frac{\pi}{180}\right]}$$

73.0085

Širina tla ■ nerazpore (pravokotno na razpore, t.j. vsota diagonalnih nazob ■ anihdelov na sliki) :

$$a_2 = u \text{Cos}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \text{Sin}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

69.8792

6.4.4.3 Kontrola tla ■ ni napetosti na mestu podpiranja:

$$F_{c1} = R_A$$

2113

a_A

50

$$\sigma_{c1} = N\left[\frac{F_{c1}}{a_A b}\right]$$

1.40867

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.4.4 Kontrola tla ■ ni napetosti na stiku diagonalne razpore z vozliš ■ em:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2438.41

Napetost na nazob ■ anemdelu:

$$a_2 = u \text{Cos}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \text{Sin}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

69.8792

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.16316

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.4.5 Kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2438.41

α

60.0598

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

69.8792

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.16316

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

False

Povešamoviš inozvoliš ali dolž inopodpornega elementa ali pa omenjena ukrepa kombiniramo:

Potrebna viš inavozliš "u" [cm] :

Clear[u]

$$\text{Solve}\left[\frac{F_{c2}}{(u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]) b} == 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}, u\right]$$

{{u → 67.4075}}

$$u = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

67.4075

ali potrebna širinapodpore "a_A" [cm] :

Clear[u]

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

53.2

$$a_A = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

58.1829

Za zagotavljanje nosilnosti vozliš in diagonalne razpore izberemo povečanoviš inovoziš "au".

6.4.4.6 Dimenzije vozliš glede na izbrane dimenzije glavne vzdolž nearmature (15 ϕ 16mm) in povečan vertikalne razdalje med njimi:

$$a_A = 50;$$

$$c^* = 6.7;$$

$$n = 5;$$

$$s = 14;$$

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

69.4

6.4.4.7 Ponovna kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2438.41

$$\alpha$$

60.0598

Širina tla nerazpore :

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

77.9646

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.04253

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.4.8 Kontrola območja viš inovoziš "au" glavne vzdolž nearmature:

$$u$$

69.4

$$l = 1800;$$

$$h = 900;$$

$$u \leq 0.12 \text{ Min}[l, h]$$

True

6.4.5 Kontrola prenilnategov v diagonalni razpori (popolna prekinitev), v območju podpore:

6.4.5.1 Oddaljenost "z" med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

$$a_A = 50;$$

$$l_A = N \left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}} \right] * 100$$

$$704.333$$

$$z_A = \left(\frac{l_A}{2} - \left(\text{Max} \left[c^*, \frac{s}{2} \right] + \frac{a_A}{2} \right) \right) \text{Tan} \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

$$555.885$$

6.4.5.2 Določitev prenenatezne sile v diagonalni razpori:

Širinarazpore [cm]:

$$a = a_2$$

$$77.9646$$

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

$$z_A$$

$$555.885$$

Naklon diagonalne razpore [°]:

$$\alpha$$

$$60.0598$$

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z_A}{\text{Sin} \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

$$641.494$$

Območjepliva prenilnategov v diagonalni razpori [cm]:

$$a_A = 50;$$

$$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_A$$

$$353.247$$

Polovičnadolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$

$$320.747$$

Prečnanatezna sila v diagonalni razpori [kN]:

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a}{h_r} \right) F_{c2}$$

505.879

a) Določite potrebne natezne armature v ortogonalni smeri za prevzem prečnanatezne sile T
Kontrola ortogonalne mreže armature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimer):

Razdelitev prečnanatezne sile, ki deluje pravokotno na diagonalno razporo, na horizontalno in vertikalno komponento [kN]:

$$T_h = T * \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

438.368

$$T_v = T * \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

252.482

Potrebna količina armature na tekočimer v horizontalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sh} = \frac{T_h / 1}{f_{yd}}$$

10.0825

$$\Delta A_{sh} = A_{sh} - 2 \times 3.08$$

3.92247

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sh}}{2}$$

1.96123

Izberem dodatne horizontalne palice $\phi 8 / 25 \text{ cm}$ ($2.01 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mreži armaturi Q308

Potrebna količina armature na tekočimer v vertikalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sv} = \frac{T_v / 1}{f_{yd}}$$

5.80708

$$\Delta A_{sv} = A_{sv} - 2 \times 3.08$$

-0.352919

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sv}}{2}$$

-0.176459

Ni potrebe po dodatnih vertikalnih palicah

b) Določite potrebne natezne armature za prevzem prečne natezne sile T v smeri sile:
Kontrola ortogonalne mreže narmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimetro):

Potrebna količina armature na tekočimetro v smeri sile T (cm^2/m):

$$A_{sT} = \frac{T/1}{f_{yd}}$$

11.6352

Prispevek horizontalnih palic mreže narmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sh} = 3.08;$$

$$A_h = A_{sh} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

2.66897

Prispevek vertikalnih palic mreže narmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sv} = 3.08;$$

$$A_v = A_{sv} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

1.53721

$$\Delta A_{sT} = A_{sT} - 2(A_h + A_v)$$

3.22286

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sT}}{2}$$

1.61143

Izberem dodatne palice : $\phi 8 / 30 \text{ cm}$ ($1.68 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

6.4.6 Kontrola razpore v zgornjem pasu paličja:

$$N_{1d} = N_{2d}$$

1217

Dimenzija razpore gledano na lice elementa je enaka višini najkrajnjega vozlišča "u":

u

69.4

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{2d}}{u b}$$

0.584534

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.7 Kontrola sidranja armature nad krajno podporo (SIST EN 1992-1-1, poglavje 8)

6.4.7.1 Mejna sprijemna napetost:

f_{bd} mejne napetosti sidranja za rebraste palice [$\frac{kN}{cm^2}$]

f_{ctd} računskavrednost natezne trdnosti betona v skladu s 3.1.6 (2) P.

η_1 koeficient, ki je odvisen od kvalitete pogojev sidranja in od lege palic med betoniranjem

η_2 koeficient, ki je odvisen od premera palice

$$\alpha_{ct} = 1;$$

$$f_{ctk0,05} = 0.2;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk0,05}}{\gamma_C}$$

$$0.133333$$

$$\eta_1 = 0.7;$$

$$\eta_2 = 1.0;$$

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

$$0.21$$

6.4.7.2 Osnovna sidrna dolž $in_{b,rqd}$ [mm]:

σ_{sd} računskanapetost v palici na mestu od katerega merimo dolž inosidranja [cm]

Dolž inosidranja mora prevzeti celotno natezni silo

$$N_{2d}$$

$$1217$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{2d}}{A_{s_{izbran}}}$$

$$40.3515$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$768.599$$

6.4.7.3 Računskasidrana dolž $in_{b,d}$ [mm]:

α_1 je koeficient, ki upošteva uoblike palice ob predpostavki ustreznega krovnega sloja betona :

$$\alpha_1 = 1.0;$$

α_2 je koeficient, ki upošteva inek najmanjši egakrovnega sloja betona:

$$\alpha_2 = 1.0;$$

α_3 koeficient za upoštevanje tevanja objekta s premo armaturo:

$$\alpha_3 = 1.0;$$

α_4 koeficient za upoštevanje vpliva ene ali več privarjenih premo palic ($\phi_t > 0.6 \phi$) vzdolž nesidrane dolžine sidranja l_{bd} , ki je podan z vrednostjo 1.0 zaradi numerike, sicer pa varjene palice niso uporabljene (lahko bi bile dodane kot ukrep)

$$\alpha_4 = 1.0;$$

α_5 koeficient za upoštevanje naklona premo ravnino cepitve vzdolž nesidrane dolžine $\alpha_5 \in [0.7 - 1.0]$ redukcija sidrne dolžine glede na ugoden vpliv premo tlakov.

Določitev premo tlaka p [MPa]:

$$a_A = 50;$$

$$\text{Abs}[N_{3d}]$$

$$2438.41$$

$$p = \frac{\text{Abs}[N_{3d}] \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\left(a_A + \frac{u}{\tan\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}\right) b} 10$$

$$7.8284$$

$$\alpha_5 = 1.0 - 0.04 p$$

$$0.686864$$

$$\text{If}[\alpha_5 < 0.7, 0.7, \alpha_5]$$

$$0.7$$

Kontrola: Produkt ($\alpha_2; \alpha_3; \alpha_5$) ≥ 0.7

$$\text{Produkt} = \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7]$$

$$0.7$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_4 \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7] l_{b,rqd}$$

$$538.019$$

6.4.7.4 Minimalna sidrna dolžina $l_{b,min}$ [mm]:

$$l_{b,min,nateg} = \text{Max}[0.3 l_{b,rqd}, 10 \phi, 100]$$

$$230.58$$

6.4.7.5 Dejanska sidrana dolžinal $l_{b,dej}$ [mm]:

$$l_{b,dej} = \left(\text{Max} \left[c^*, \frac{s}{2} \right] + a_A + \frac{u/2}{\text{Tan} \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]} \right) 10$$

769.858

6.4.7.6 Kontrola dolžinesidranja

Raunskaidna dolžinal $l_{b,d}$ [mm] :

$$l_{b,dej} \geq l_{bd}$$

True

Minimalna sidrna dolžinal $l_{b,d}$ [mm] :

$$l_{b,dej} \geq l_{b,min,nateg}$$

True

6.4.8 Kontrola vmesnega vozlišča "B" in pripadajočihrazpor

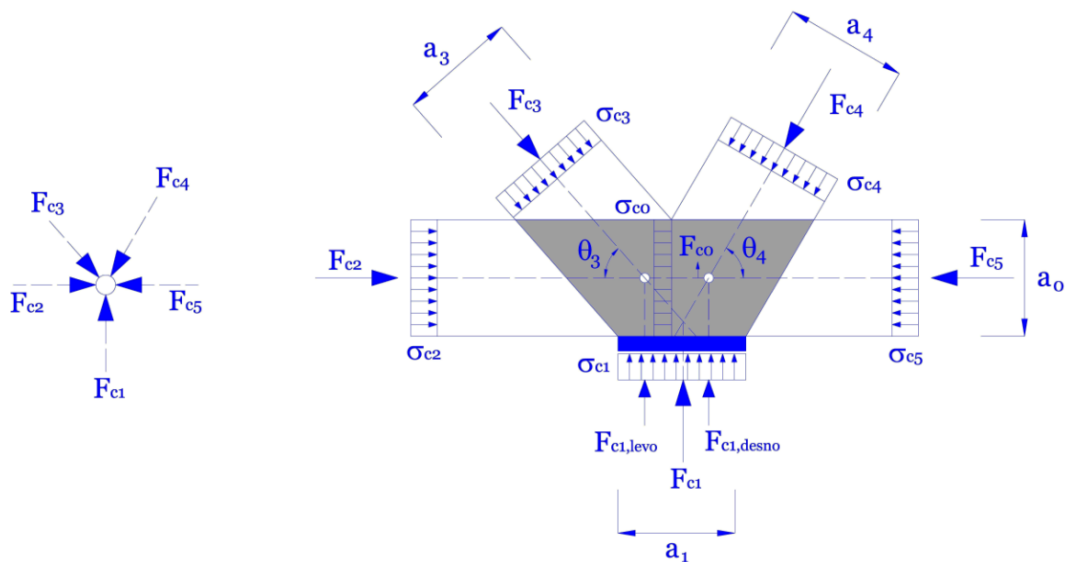
6.4.8.1 Obravnavam vozlišča nad vmesno podporo in prikažemsimboli nosiliko, razpori na spodnji sliki N_3 in N_4 imata enake geometrijske karakteristike in vrednosti sile, zaradi simetrije:

Opomba: v računuje upoštevano $a_1 = a_B$

$$\theta_3 = \beta$$

$$\theta_4 = \beta$$

Znotraj vozlišča opazimo tla nosilo F_{c0} , ki je za ta primer enaka nič (simetrija).



Slika 9: Klasično vozlišče tik nad vmesno podporo

6.4.8.2 Dimenzije vozliš in razpore glede na geometrijo, t.j. naklon razpore in dimenzije podpore [cm]:

$$a_B = 125;$$

$$\beta$$

$$55.0888$$

Viš inavozliš a

$$a_0 = \frac{a_B}{2} \operatorname{Tan}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

$$89.5543$$

Dolž inastika razpore z vozliš em:

Dolž inapodaljš anegavozliš a, t.j. trapezna oblika (enako a_B):

$$a_{\text{trapez}} = 2 \frac{a_0}{\operatorname{Tan}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$125.$$

Dolž inadiagonalne stranice trikotnega podvozliš a

$$a_{\text{stik}} = \frac{a_0}{\operatorname{Sin}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$109.207$$

Š irinatla nerazpore ($a_3 = a_4$), t.j. dolž inpravokotna na razpore:

$$a_3 = a_0 \operatorname{Cos}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] + \frac{a_B}{2} \operatorname{Sin}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

$$102.505$$

$$\text{ali } a_3 = a_B \operatorname{Sin}\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

6.4.8.3 Kontrola tlaninapetosti na mestu podpiranja:

$$F_{c1} = R_B$$

$$6573$$

$$a_B$$

$$125$$

$$\sigma_{c1} = N\left[\frac{F_{c1}}{a_B b}\right]$$

$$1.7528$$

$$\sigma_{Rd} = 1.2 \left(0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd} \right)$$

$$1.7952$$

Pogoj :

$$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.8.4 Kontrola tlačnih napetosti na stiku diagonalne razpore z vozliščem:

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

4008.34

β

55.0888

Višina vozlišča a

$$a_0 = \frac{a_B}{2} \tan\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

89.5543

Napetost pravokotno širina razpore ($a_3 = a_4$), t.j. dolžina pravokotna na razpore:

$$a_3 = a_0 \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] + \frac{a_B}{2} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

102.505

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

1.30346

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.8.5 Kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

4008.34

β

55.0888

$$a_3 = a_0 \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] + \frac{a_B}{2} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

102.505

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

1.30346

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c3} < \sigma_{Rd}$$

False

Potrebna viš inavozliš a_0 [cm], ni smiselna ker viš inavozliš a_0 > dolžina kotnaka razpore in geometrija podpore, zato potreben račun podpore:

$$a_B = \frac{F_{c3}}{\left(0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd} \right) b \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

154.292

6.4.8.6 Konstante in razpore [cm]:

$$a_B = 155;$$

$$\beta$$

55.0888

Viš inavozliš a_0

$$a_0 = \frac{a_B}{2} \tan\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

111.047

Dolžina inastika razpore z vozliščem:

Dolžina inapodaljša inavozliš a_0 , t.j. trapezna oblika (enako a_B):

$$a_{trapez} = 2 \frac{a_0}{\tan\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

155.

Dolžina inadiagonalne stranice trikotnega podvozlišča a

$$a_{stik} = \frac{a_0}{\sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

135.417

Širina inavozlišča $a_3 = a_4$, t.j. dolžina inpravokotna na razpore:

$$a_3 = a_0 \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] + \frac{a_B}{2} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

127.106

6.4.8.7 Ponovna kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

4008.34

β

55.0888

$$a_3 = a_0 \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] + \frac{a_B}{2} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

127.106

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

1.05118

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c3} < \sigma_{Rd}$$

True

6.4.9 Kontrola prekinitev v diagonalni razpore (popolna prekinitev), v območju podpore:

6.4.9.1 Oddaljenost "z" med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

$$l_{B,levo} = 10.9567;$$

$$z_B = \frac{l_{B,levo}}{2} \tan\left[\beta \frac{\pi}{180}\right] * 100 - \frac{u}{2}$$

750.275

Izberem viš inopaličja:

$$z = \text{Min}[z_A, z_B]$$

555.885

6.4.9.2 Določitev prečne sile v diagonalni razpore:

Širinarazpore [cm]:

$$a = a_3$$

127.106

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

z

555.885

Naklon diagonalne razpore [°]:

$$\beta$$

55.0888

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z}{\sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]}$$

677.876

Območje vpliva prečnih nategov v diagonalni razpore [cm]:

$$a_B = 155;$$

$$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_B$$

439.688

Polovičn dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$

338.938

Prečna natezna sila v diagonalni razpore [kN]:

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a}{h_r} \right) F_{c3}$$

739.028

a) Določite potrebne natezne armature v ortogonalni smeri za prevzem prečne natezne sile T
Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočim meter):

Razdelitev prečne natezne sile, ki deluje pravokotno na diagonalno razpore, na horizontalno in vertikalno komponento [kN]:

$$T_h = T * \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

606.033

$$T_v = T * \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

422.951

Potrebna količina armature na tekočim meter v horizontalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sh} = \frac{T_h / 1}{f_{yd}}$$

13.9388

$$\Delta A_{sh} = A_{sh} - 2 \times 3.08$$

7.77875

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sh}}{2}$$

3.88938

Izberem dodatne horizontalne palice : $\phi 10 / 20 \text{ cm}$ ($3.94 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

Potrebna količina armature na tekočimenter v vertikalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sv} = \frac{T_v / 1}{f_{yd}}$$

9.72787

$$\Delta A_{sv} = A_{sv} - 2 \times 3.08$$

3.56787

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sv}}{2}$$

1.78393

Izberem dodatne verikalne palice $\phi 10 / 30 \text{ cm}$ ($2.62 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

b) Določite potrebne natezne armature za prevzem prečne natezne sile T v smeri sile:
Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimenter):

Potrebna količina armature na tekočimenter v smeri sile T (cm^2/m):

$$A_{sT} = \frac{T / 1}{f_{yd}}$$

16.9977

Prispevek horizontalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sh} = 3.08;$$

$$A_h = A_{sh} \sin\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

2.52572

Prispevek vertikalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sv} = 3.08;$$

$$A_v = A_{sv} \cos\left[\beta \frac{\pi}{180}\right]$$

1.7627

$$\Delta A_{sT} = A_{sT} - 2 (A_h + A_v)$$

8.4208

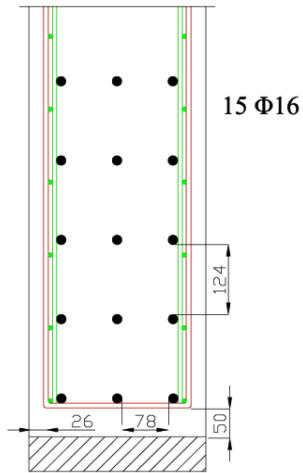
Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sT}}{2}$$

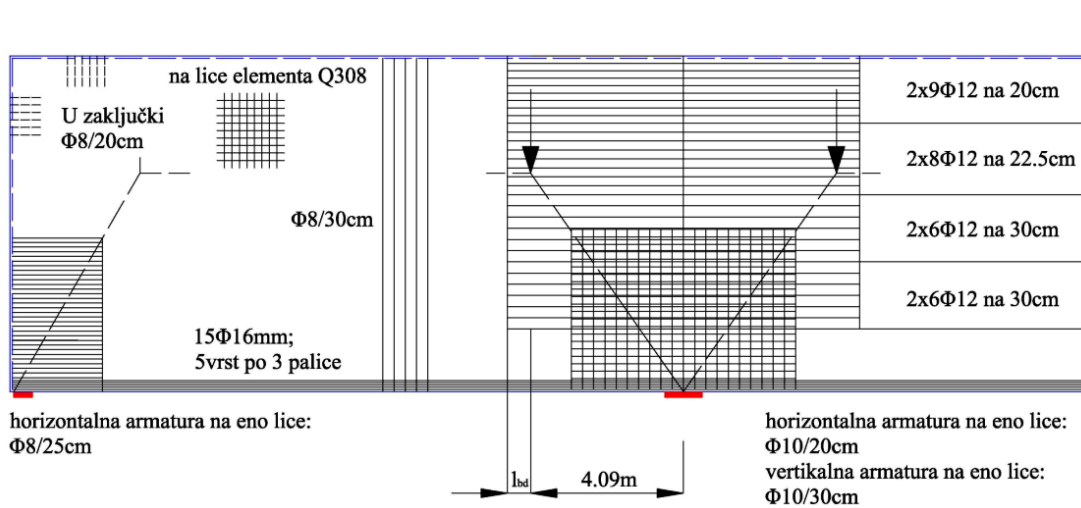
4.2104

Izberem palice : $\phi 10 / 17.5 \text{ cm}$ ($4.49 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mreži armaturi Q308

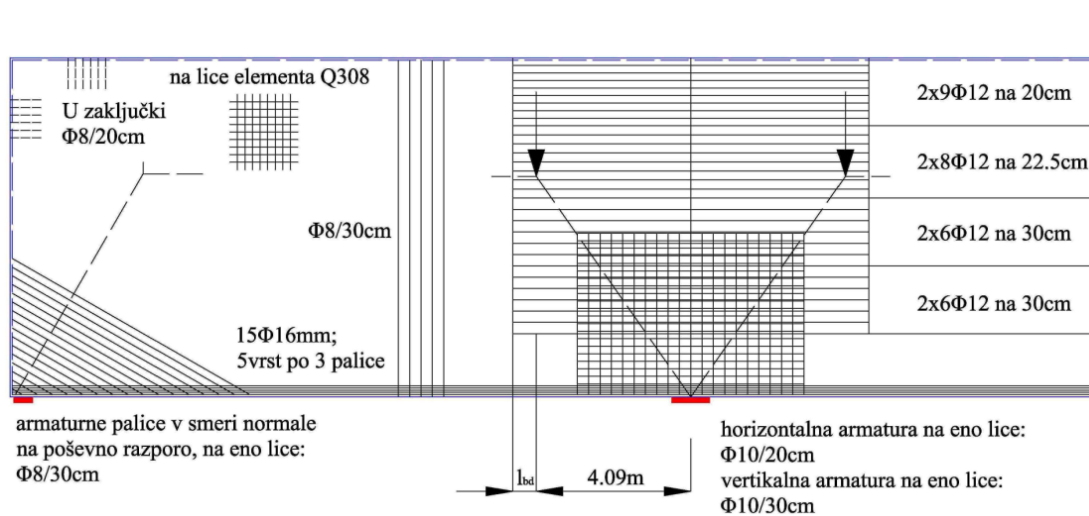
6.4.10 Prikaz dejanskega armiranja



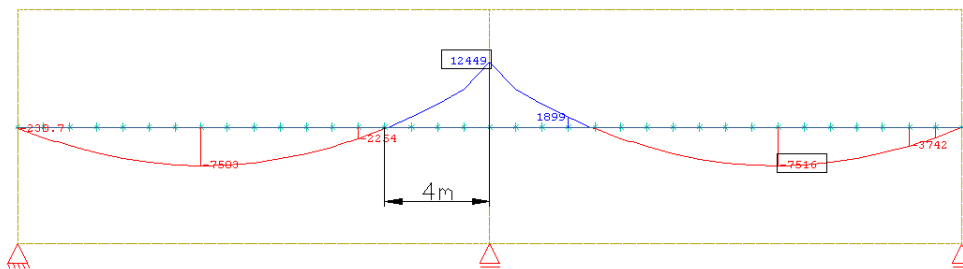
Slika 10: Armiranje v polju



Slika 11: Prikaz armiranja na licu elementa z ortogonalno armaturo



Slika 12: Prikaz armiranja na licu elementa alternativno armaturo v smeri normale na poš evnorazpore



Slika 13: Prikaz dolž inenativnega momenta

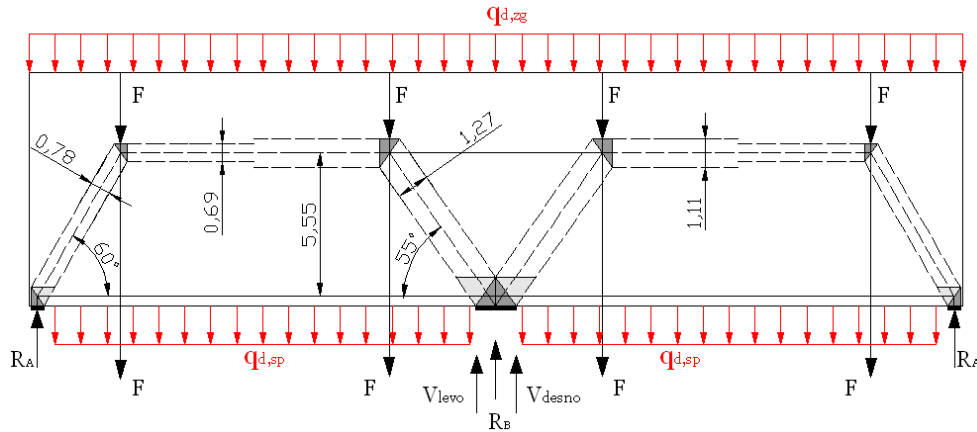
Določitev potrebne dolž inenativne armature "l" nad notranjo podporo:

1. Model razpore in vezi: $l = 4,09 + 4,09 = 8,18 \rightarrow 8.20\text{m}$
2. Leonhardt: $l = 2 * (40\% * \min(l, h)) = 2 * 0,4 * 9\text{m} = 7.20\text{m}$
3. Dolž in, ki ustreza linijskemu nosilcu ($l_{db} = l_{b,reqd}$): $l = 2 * 4\text{m} + 2 * \left(\frac{\phi}{4}\right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right) = 8\text{m} + 1.24\text{m} = 9.25\text{m}$

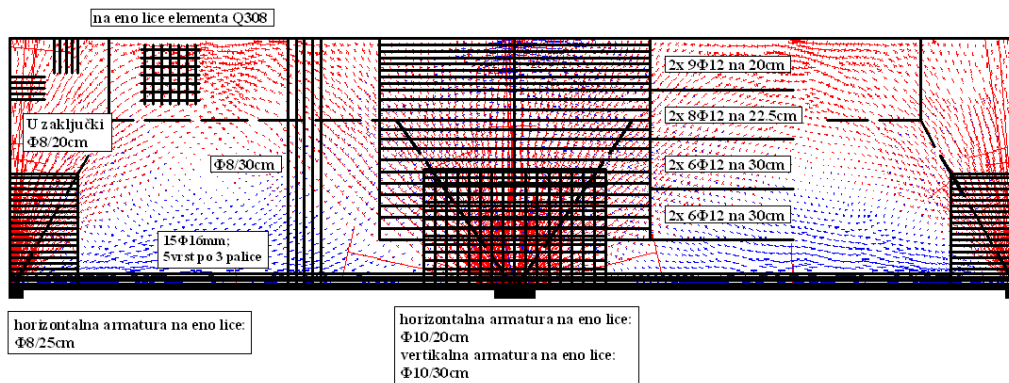
6.4.11 Konstruktivna oblika palij [m, °] in položaj armature glede na poteg glavnih napetosti:

Komentar :

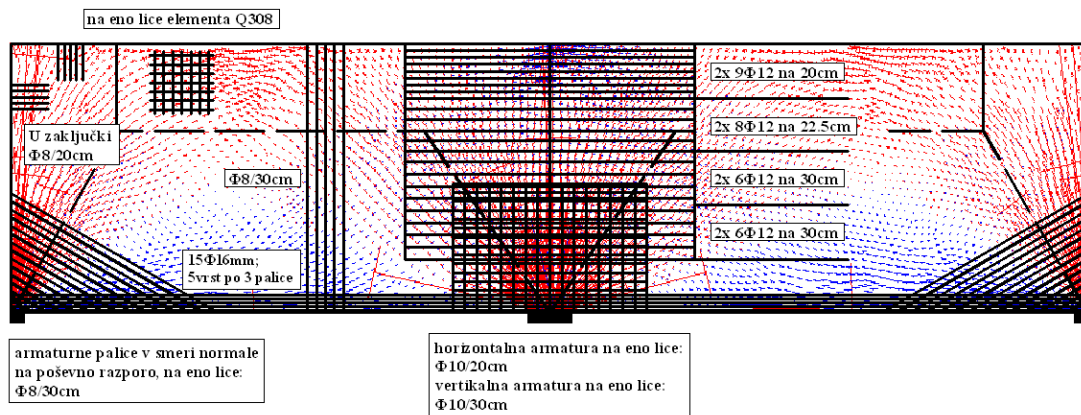
Razdalja med resultantami tlačnih nateznih napetosti dobljenih iz programskega paketa "Sofistik" pri integraciji napetosti po linearni teoriji elastičnosti po vertikalnih prerezih znaša razdaljo $z = 6.13$ m in nad podporo $z_B = 5.42$ m.



Slika 14: Paličnimehanizem



Slika 15: Glavne napetosti in položaj armature



Slika 16: Glavne napetosti in položaj armature

Clear[α, γ, R]

7.0 MEJNA STANJA UPORABNOSTI (MSU): KONTROLA RAZPOK

■ 7.1 Obremenitev:

$$q_{d,zg} = 142;$$

$$q_{d,sp} = 71;$$

■ 7.2 Rezultanta nateznih napetosti v polju in nad podporo [kN]:

$$N_2 = 870.3;$$

$$N_7 = 1575;$$

■ 7.3 Kontrola razpok (SIST EN 1992-1-1, poglavje 7.3)

7.3.1 Minimalna potrebna količina armatura za zagotavljanje robustnosti:

$$A_{s,min} = kc k \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} A_{ct}$$

σ_s ... absolutna vrednost največje dovoljene napetosti armature takoj po nastanku razpoke. Vzamemo lahko, da je to napetost na meji elastičnosti armature, f_{yk} . Pri zagotovitvi omejitve širine razpok glede na največji prerez palic (SIST EN 1992-1-1, preglednica 7.2) in z največjo medsebojno razdaljo palic, je lahko potrebna tudi manjša vrednost.

$$\sigma_s = f_{yk}$$

$$50$$

k_c ... koeficient, ki upošteva razporeditev napetosti prereza neposredno pred nastankom razpok in vpliv spremembe ročnice notranjih sil. Pri upogibu:

$$k_c = 0.4;$$

k ... koeficient, ki omogoča upoštevanje neenakomernih samouravnovežnih napetosti, ki vodijo v zmanjšanje vplivov, ki izvirajo iz preprečitve deformiranja:

$$k = 0.65;$$

$f_{ct,eff}$... srednja vrednost učinkovite natezne trdnosti betona v času, ko pričakujemo nastanek prve razpoke:

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ oziroma manjša, $e_{ct}(t)$, nastanek razpok pričakujemo prej kot pri starosti 28 dni.

$$f_{ct,eff} = 0.29;$$

A_{ct} ... prerez betona v natezni coni. Natezna cona je tisti del prereza, za katerega računamo, da je tegnen tik pred nastankom prve razpoke.

$$z$$

$$555.885$$

λ je osna sila $N_{Ed} = 0$, pomeni da je delež prereza v nategu enak $\lambda = 0.5$.

$$\lambda = 0.5;$$

$$A_{ct} = \lambda b z$$

$$8338.28$$

Minimalno potrebna armatura

$$A_{s,min} = k c k \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} A_{ct}$$

$$12.5741$$

Kontrola potrebne količine armature v polju

$$A_{s,izbran} > A_{s,min}$$

True

Kontrola potrebne količine armature v polju

$$A_{s2} > A_{s,min}$$

True

7.3.2 Kontrola razpok v polju z uporabo preglednic 7.2 in 7.3 v SIST EN 1992-1-1:

Vsaj en pogoj mora biti izpolnjen, da širina razpok verjetno ne bodo prekomerne

Pogoj a: glede na prerez palic $\phi = 16\text{mm}$, naj bi bila največja napetost v jeklu 280MPa; preglednica 7.2 ali pogoj b: dejanski napetosti v palicah pripadajo največji razmak med palicami ni presežen; preglednica 7.3

Pogoj a:

Dejanska napetost v palicah [kN/cm^2] :

$$N_2$$

$$870.3$$

$$A_{s,izbran}$$

$$30.16$$

$$\sigma_s = \frac{N_2}{A_{s,izbran}}$$

$$28.8561$$

Kontrola :

$$\sigma_s < 28$$

False

Pogoj b:

Kontrola maksimalnega razmaka med palicami glede na dejansko napetost σ_s v armaturnih palicah [mm] :

$$e_{dej} = 140;$$

$$e_{max} = 194;$$

$$e_{dej} < e_{max}$$

True

KOMENTAR: glede na količino dejansko vgrajene armature in ustreznim razmakom med palicami naj ne bi bile širine razpok prekomerne.

7.3.3 Kontrola razpok nad podporo z uporabo preglednic 7.2 in 7.3 v SIST EN 1992-1-1:

Vsaj en pogoj mora biti izpolnjen, da širine razpok verjetno ne bodo prekomerne

Pogoj a: glede na prerez palic $\phi = 12\text{mm}$, naj bi bila največja napetost v jeklu 320MPa ; preglednica 7.2 ali

pogoj b: dejanski napetosti v palicah pripadajo največji razmak med palicami ni presežen; preglednica 7.3

Pogoj a:

Dejanska napetost v palicah [kN/cm^2] :

$$N_7$$

$$1575$$

$$As_2$$

$$52.762$$

$$\sigma_s = \frac{N_7}{As_2}$$

$$16.4948$$

Kontrola

$$\sigma_s < 32$$

True

Pogoj b:

Kontrola maksimalnega razmaka med palicami glede na dejansko napetost σ_s v armaturnih palicah [mm] :

$$e_{dej} = 200;$$

$$e_{max} = 175;$$

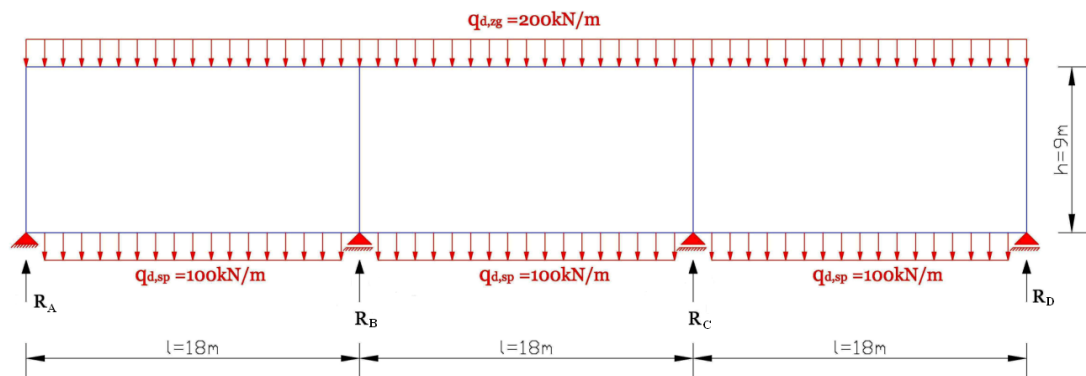
$$e_{dej} < e_{max}$$

False

KOMENTAR: glede na količino dejansko vgrajene armature in ustreznim razmakom med palicami naj ne bi bile širine razpok prekomerne.

PRILOGA 3: DIMENZIONIRANJA STENASTEGA NOSILCA ■EZTRI POLJA;
 $l = 18 \text{ m}$, $h = 9 \text{ m}$, $l/h = 2$

1.0 PRIKAZ STENASTEGA NOSILCA [kN/m;m]



Slika 1: Obremenitev in geometrija

2.0 GEOMETRIJA

Stenast nosilec [cm]:

$$l = 1800;$$

$$h = 900;$$

$$b = 30;$$

Prerez podpornih elementov (steber ali pre■nastena) [cm]:

$$b_s = 30;$$

$$a_A = 50;$$

$$a_B = 135;$$

Dejanska dimenzija podpornega elementa predstavlja razliko med kon■noizbrano dimenzijo a_A in a_B in vplivom ploš■ad podpora, pomeni $a_{A,dejanski} = a_A - \frac{h_{pl}}{\tan\alpha}$ in $a_{B,dejanski} = a_B - \frac{h_{pl}}{\tan\beta_1} - \frac{h_{pl}}{\tan\beta_d}$, ki sta ve■jaod najmanjš edovljene dimenzije podpornega elementa, sicer minimalna dimenzija podpore. Naklonska kota α in β predstavljata naklon diagonalne razpore.

3.0 MATERIAL [kN/cm²]

Armatura S500

$$f_{yk} = 50;$$

$$\gamma_s = 1.15;$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s};$$

$$E_s = 20000;$$

Beton C30/37

$$f_{ck} = 3;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C};$$

$$E_{cm} = 3300;$$

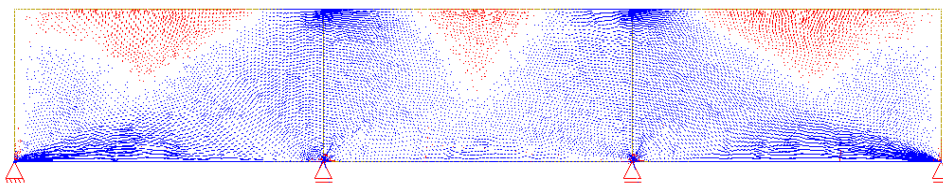
4.0 OBREMENITEV [kN/m]

$$q_{d,zg} = 200;$$

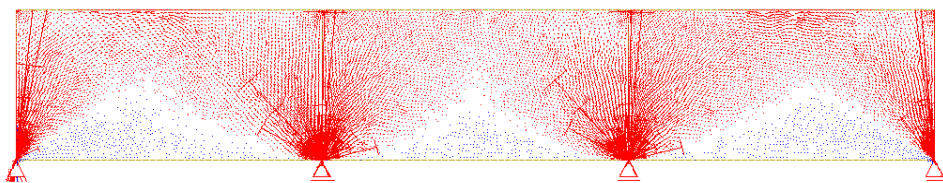
$$q_{d,sp} = 100;$$

5.0 GLAVNE NAPETOSTI PO ELEMENTU OBREMENJENEM Z LINIJSKO OBTEŽBO NA ZGORNJEM IN SPODNJEM ROBU NA PODLAGI LINEARNO ELASTIČNE ANALIZE S PROGRAMSKIM PAKETOM "SOFISTIK" IN SIMBOLNI PRIKAZ MODELA PALIČJA

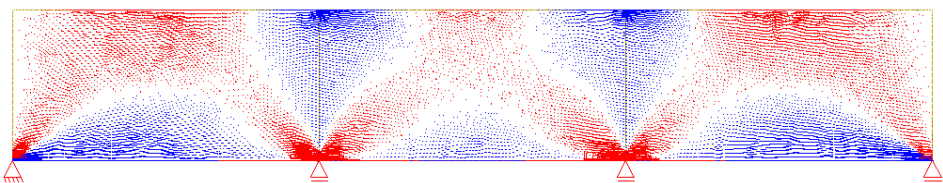
Prikaz glavnih normalnih napetosti



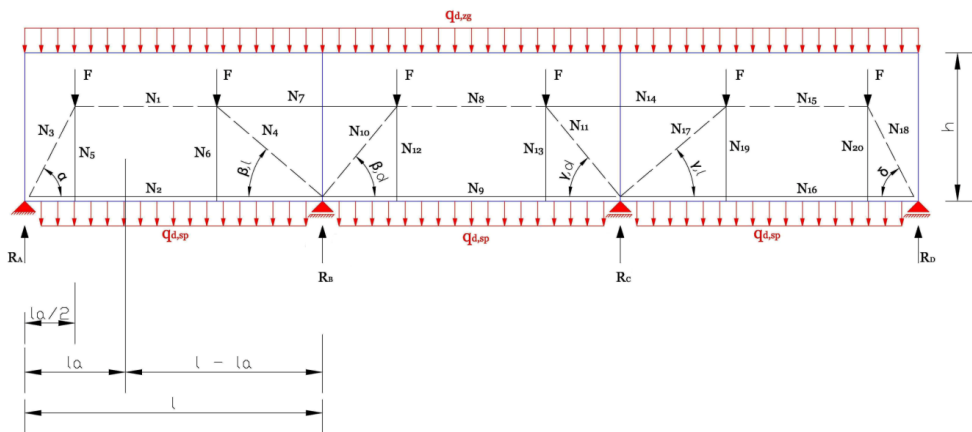
Slika 2: Glavne napetosti σ_I



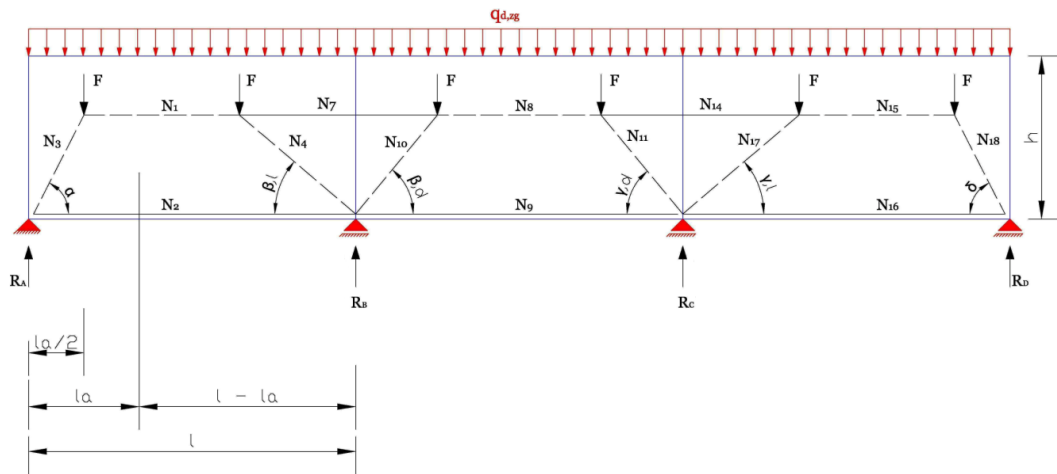
Slika 3: Glavne napetosti σ_{II}



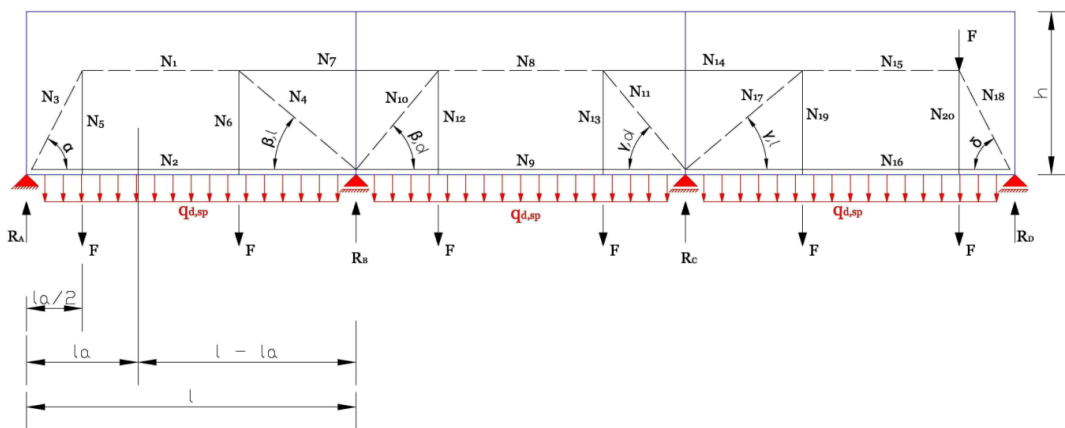
Slika 4: Normalne napetosti σ_{xx} v smeri lokalne koordinate x



Slika 5: Obtež bana zgornjem in spodnjem robu stenastega nosilca in prikaz pali-mehanizma



Slika 6: Obtež bana zgornjem robu nosilca in pripadajo-mehanizem



Slika 7: Obtež bana spodnjem robu nosilca in pripadajo-mehanizem

Opombe k slikam 5, 6, 7

a) slike 5, 6 in 7 predstavljajo pali-mehanizem za prenos obtež bedeljuje na zgornjem in spodnjem robu ter kombinacijo,

b) oblika palij je simetrična, kar kaže na enakomerno delovanje obtež bein hkrati na enake razpone v polju, pri konstantni višini.

c) sili v zgornjem pasu N_1 in sila v spodnjem pasu N_2 sta si

nasprotno enaki in predstavljata rezultanti napetosti v tla in natezni coni,

dobljeni s programskim paketom "Sofistik". Enako velja za sile N_8 in N_9 , N_{15} in N_{16} ,

d) sili

N_7 in N_{14} predstavljata rezultanto nateznih napetosti nad podporo, dobljeno s programskim paketom "Sofistik",

e) diagonalni tla nile N_3 , N_4 , N_{10} , N_{11} , N_{17} in N_{18} ter njihov naklon sta iskani količini, potrebni za dimenzioniranje,

f) na sliki 7 nastopijo še naslednje količine N_5 in N_6 , N_{12} in N_{13} , N_{17} in N_{18} , preko katerih se prenaša spodnja (obešena) obtež banad tla nilok, naprimer: N_3, N_1, N_4 .

g) v primeru neenakomerne zvezne obtež bein/ali različnih razpetin nosilca ne smemo upoštevati.

6.0 MEJNA STANJA NOSILNOSTI (MSN): DIMENZIONIRANJE STENASTEGA NOSILCA NA TRI POLJA

■ 6.1 Računrednosti sile v razpori in pripadajočega kota naklona pri podpori "A" [kN, °]:

Podatki potrebni za izračun:

$$R_A = 2162.5;$$

Dolžina, kjer je moment maksimalen in prenosila enaka nič [m]:

$$l_A = N \left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}} \right]$$

$$7.20833$$

Rezultanta nateznih napetosti v krajnem polju [kN]:

$$N_{2d} = 1275;$$

Načrt:

$$\text{FindRoot} \left[\left\{ N_{2d} == -N_{3d} \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right], R_A == -N_{3d} \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right] \right\}, \left\{ \{N_{3d}, 15000\}, \{\alpha, 2\pi\} \right\} \right]$$

$$\{N_{3d} \rightarrow -2510.38, \alpha \rightarrow 59.4766\}$$

Načrt:

$$\alpha = N \left[\text{ArcTan} \left[\frac{R_A}{N_{2d}} \right] \frac{180}{\pi} \right]$$

$$59.4766$$

$$N_{3d} = - \frac{R_A}{\sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

$$-2510.38$$

Načrt, predstavlja uporabo enačb predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.3, enačba 4.30:

$$l = 18;$$

$$h = 9;$$

$$l$$

$$h$$

$$2$$

$$\alpha = -6.26 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 9.77 \left(\frac{l}{h} \right) + 64.7$$

$$59.2$$

$$N_{3d} = - \frac{R_A}{\sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]}$$

$$-2517.58$$

Clear[l, h]

Sila v tlačni diagonalni razpori N_3 [kN]

$$N_{3d} = -2510.3846816772925;$$

Naklon sile v tlačni diagonalni razpori N_3 [°]

$$\alpha = 59.47659518653703;$$

Kontrola

$$N_{2d} = -N_{3d} \cos \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

$$1275.$$

$$R_A = -N_{3d} \sin \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

$$2162.5$$

6.2 Račun vrednosti sile v razpori in pripadajočega kota naklona pri podpori "B" [kN, °]:

Podatki potrebni za izračun:

$$R_B = 5937.5;$$

Dolžina na levi strani podpore [m]:

$$l_1 = 18;$$

$$l_A = N \left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}} \right];$$

$$l_{B,levo} = l_1 - l_A$$

$$10.7917$$

Vrednost prenesile na levi strani reakcije "R_B" [kN]:

$$V_{Blevo} = l_{B,levo} (q_{d,zg} + q_{d,sp})$$
$$3237.5$$

Vrednost prenesile na desni strani reakcije "R_B" [kN]:

$$V_{Bdesno} = R_B - V_{Blevo}$$
$$2700.$$

Dolž inana desni strani podpore [m]:

$$l_{B,desno} = \frac{V_{Bdesno}}{q_{d,zg} + q_{d,sp}}$$
$$9.$$

Rezultanta nateznih napetosti nad podporo "B" [kN]:

$$N_{7d} = 1878;$$

6.2.1 Računskota razpore na levi strani podpore "B":

Načrt:

$$\text{FindRoot}\left[\left\{N_{7d} == -N_{4d} \cos\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right], V_{Blevo} == -N_{4d} \sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]\right\}, \left\{\{N_{4d}, 15000\}, \{\beta_L, 2\pi\}\right\}\right]$$
$$\{N_{4d} \rightarrow -3742.77, \beta_L \rightarrow 59.883\}$$

Načrt:

$$\beta_L = N\left[\text{ArcTan}\left[\frac{V_{Blevo}}{N_{7d}}\right] \frac{180}{\pi}\right]$$

$$59.883$$

$$N_{4d} = -\frac{V_{Blevo}}{\sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$-3742.77$$

Načrt, predstavlja uporabo enačb predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.3, enačba 4.40:

$$l = 18;$$

$$h = 9;$$

$$\frac{l}{h}$$

$$2$$

$$\beta_L = -5.2 \left(\frac{l}{h}\right)^2 + 20.5 \left(\frac{l}{h}\right) + 39.5$$

$$59.7$$

$$N_{4d} = -\frac{V_{\text{Blevo}}}{\text{Sin}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

-3749.73

Clear[l, h]

Sila v tla ■ndiagonalni razpori N_4 [kN]

$$N_{4d} = -3742.7650540743266;$$

Naklon sile v tla ■ndiagonalni razpori N_4 [°]

$$\beta_L = 59.88295628613134;$$

Kontrola

$$N_{7d} = -N_{4d} \text{Cos}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

1878.

$$V_{\text{Blevo}} = -N_{4d} \text{Sin}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

3237.5

6.2.2 Ra ■urkota razpore na desni strani podpore "B":

$$N_{7d} = 1878;$$

Na ■ira:

$$\text{FindRoot}\left[\left\{N_{7d} == -N_{10d} \text{Cos}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right], V_{\text{Bdesno}} == -N_{10d} \text{Sin}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]\right\}, \left\{\{N_{10d}, 15000\}, \{\beta_D, 2\pi\}\right\}\right]$$

{ $N_{10d} \rightarrow -3288.9$, $\beta_D \rightarrow 55.1792$ }

Na ■irb:

$$\beta_D = \text{N}\left[\text{ArcTan}\left[\frac{V_{\text{Bdesno}}}{N_{7d}}\right] \frac{180}{\pi}\right]$$

55.1792

$$N_{10d} = -\frac{V_{\text{Bdesno}}}{\text{Sin}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

-3288.9

Na ■inc, predstavlja uporabo ena ■b predstavljenih v poglavju 4.5.1.3.3, ena ■ba 4.44:

$$l = 18;$$

$$h = 9;$$

1

h

2

$$\beta_D = 4.25 \left(\frac{l}{h} \right)^2 - 15 \left(\frac{l}{h} \right) + 69.3$$

56.3

$$N_{10d} = - \frac{V_{Bdesno}}{\sin\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

-3121.38

Clear[l, h]

Sila v tla \blacksquare nudiagonalni razpori N_4 [kN]

$$N_{10d} = -3288.903160629695;$$

Naklon sile v tla \blacksquare nudiagonalni razpori N_4 [°]

$$\beta_D = 55.179241522782256;$$

Kontrola

$$N_{7d} = -N_{10d} \cos\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

1878.

$$V_{Bdesno} = -N_{10d} \sin\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

2700.

- 6.3 Ra \blacksquare urnrednosti sile v razpori in pripadajo \blacksquare egakota glede na vrednost rezultante na vmesnem polju:

Vrednost pre \blacksquare nesile na desni strani reakcije "R_B" [kN]:

$$V_{Bdesno}$$

2700.

Dolž inana desni strani podpore [m]:

$$l_{B,desno} = \frac{V_{Bdesno}}{q_{d,zg} + q_{d,sp}}$$

9.

Rezultanta nateznih napetosti v vmesnem polju:

$$N_{9d} = 395.5;$$

Na \blacksquare ira:

$$\text{FindRoot}\left[\left\{N_{9d} == -N_{10d} \cos\left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180}\right], V_{Bdesno} == -N_{10d} \sin\left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180}\right]\right\},\right.$$

$$\left.\left\{\{N_{10d}, 15000\}, \{\beta_{Dpolje}, 2\pi\}\right\}\right]$$

Na¹irb:

$$\beta_{Dpolje} = N \left[\text{ArcTan} \left[\frac{V_{Bdesno}}{N_{9d}} \right] \frac{180}{\pi} \right]$$

81.6665

$$N_{10d} = - \frac{V_{Bdesno}}{\text{Sin} \left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180} \right]}$$

-2728.81

Na¹irc, predstavlja uporabo ena¹bpredstavljenih v poglavju 4.5.1.3.3, ena¹ba4.35:

l = 18;

h = 9;

l

h

2

$$\beta_{Dpolje} = -4.62 \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 14.53 \left(\frac{l}{h} \right) + 70.74$$

81.32

$$N_{10d} = - \frac{V_{Bdesno}}{\text{Sin} \left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180} \right]}$$

-2731.28

Clear[l, h]

Sila v tla¹nidiagonalni razpori N₄ [kN]

$$N_{10d} = -2728.8129745367305;$$

Naklon sile v tla¹nidiagonalni razpori N₄ [°]

$$\beta_{Dpolje} = 81.66649558790124;$$

Kontrola

$$N_{9d} = -N_{10d} \text{Cos} \left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180} \right]$$

395.5

$$V_{Bdesno} = -N_{10d} \text{Sin} \left[\beta_{Dpolje} \frac{\pi}{180} \right]$$

2700.

■ 6.4 Notranje stati¹nekoli¹ine[kN]

Reakcija

$$R_A = 2162.5;$$

$$R_B = 5937.5;$$

$$V_{Blevo} = 3237.5;$$

$$V_{Bdesno} = 2700;$$

Natezna sila v spodnjem pasu paličja

$$N_{2d} = 1275;$$

$$N_{9d} = 395.5;$$

Natezna sila nad podporo

$$N_{7d} = 1875;$$

Diagonalna tlačna razpora

$$N_{3d} = -2510.385;$$

$$N_{4d} = -3742.765;$$

$$N_{10d} = -3288.903;$$

■ 6.5 Dimenzioniranje

6.5.1 Določitev potrebne armature

6.5.1.1 Potrebna količina natezne armature na vmesnem polju [cm²]:

$$Aspolje2 = \frac{N_{9d}}{f_{yd}}$$

$$9.0965$$

Izberem : 4 ϕ 18mm (10,18cm²)

$$Aspolje2 = 10.18;$$

6.5.1.2 Potrebna količina natezne armature na krajnem polju [cm²]:

$$Aspolje1 = \frac{N_{2d}}{f_{yd}}$$

$$29.325$$

$$\Delta As = Aspolje1 - Aspolje2$$

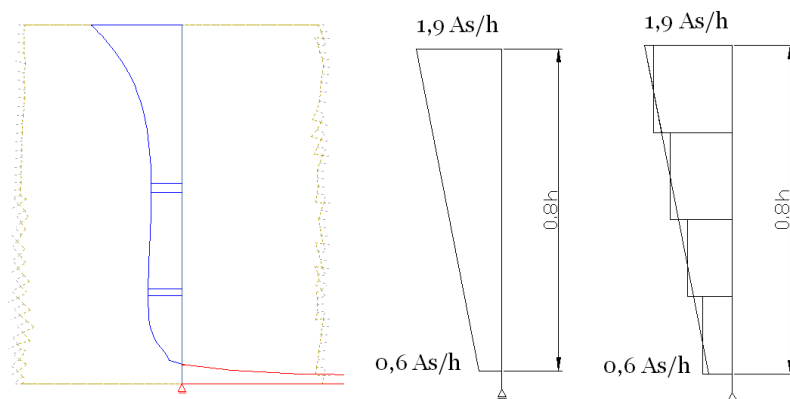
$$19.145$$

Izberem : 8 ϕ 18mm (20,36cm²)

$$Aspolje1 = 20.36 + 10.18$$

$$30.54$$

6.5.1.3 Potrebna količina natezne armature nad podporo [cm²] :



Slika 8: Način armiranja nad podpro

$$h = 900;$$

$$AsB = \frac{N_{7d}}{f_{yd}}$$

$$43.125$$

$$AsB_{sp} = 0.6 \frac{AsB}{h} * 100$$

$$2.875$$

$$AsB_{zg} = 1.9 \frac{AsB}{h} * 100$$

$$9.10417$$

$$\Delta AsB = AsB_{zg} - AsB_{sp}$$

$$6.22917$$

Povečanje kvadrature armature na 0, 2h (stopniženje armature) :

$$\frac{\Delta AsB}{4}$$

$$1.55729$$

od 0 do 0, 2 h :

$$\frac{\left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4}\right) + AsB_{sp}}{2}$$

$$3.65365$$

od 0,2 do 0, 4 h :

$$\frac{\left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4} \cdot 2\right) + \left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4}\right)}{2}$$

$$5.21094$$

od 0,4 do 0,6 h :

$$\frac{\left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4} 3\right) + \left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4} 2\right)}{2}$$

6.76823

od 0,6 do 0,8 h :

$$\frac{\left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4} 4\right) + \left(AsB_{sp} + \frac{\Delta AsB}{4} 3\right)}{2}$$

8.32552

Izberem :

od 0 do 0.2 h : $\phi 10 / 17.5 \text{ cm } (4.49 \text{ cm}^2 / \text{m})$; $180 / 17.5 = 12$ palic (izberem 2 x6 palic, $\phi 10 / 30$ cm na lice)

od 0.2 do 0.4 h : $\phi 10 / 15 \text{ cm } (5.24 \text{ cm}^2 / \text{m})$; $180 / 15 = 12$ palic (izberem 2 x6 palic, $\phi 10 / 30$ cm na lice)

od 0.4 do 0.6 h : $\phi 10 / 10 \text{ cm } (7.87 \text{ cm}^2 / \text{m})$; $180 / 10 = 18$ palic (izberem 2 x9 palic, $\phi 10 / 20$ cm na lice)

od 0.6 do 0.8 h : $\phi 10 / 7.5 \text{ cm } (10.47 \text{ cm}^2 / \text{m})$; $180 / 7.5 = 24$ palic (izberem 2 x12 palic, $\phi 10 / 15$ cm na lice)

6.5.1.4 Potrebna količina ortogonalne mreže nearmatore [cm²] :

Priporočilo SIST EN 1992-1-1:

Vrednost $A_{s,dbmin} = \max \{ 0,1 \% A_c \text{ ali } 1.50 \text{ cm}^2/\text{m} \}$ na vsaki strani in v vsaki smeri elementa

$$A_{s,dbmin} = \text{Max} \left[\frac{0.1}{100} b, 100, 1.5 \right]$$

3.

Izberem mrežo Q308

Komentar: potrebna je kontrola mreže glede na prečnatege v tlačnih razporah

6.5.1.5 Potrebna količina obsežne/stremenske armature, "dvo - strižnostre" [cm²/m] :

$$A_{sw,ob,rac} = \frac{q_{d,sp}}{2 f_{yd}}$$

1.15

Potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 50 \text{ cm } (2.01 \text{ cm}^2 / \text{m})$

Minimalna potrebna stremenska armatura : $\phi 8 / 30 \text{ cm } (3.35 \text{ cm}^2 / \text{m})$

Izbrana armatura :

$$A_{sw,ob} = \text{Max} [A_{sw,ob,rac}, 3.35]$$

3.35

6.5.2 Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] po določilih SIST EN 1992-1-1, (glej 4.4.1):

Najmanjši dopustni krovni sloj betona c_{min} [mm] :

$c_{min,b}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprijemnosti, glej 4.4.1.2 (3). Za posamezne palice ne sme biti manjša od premera palice:

$$c_{min,b} = 18;$$

$c_{min,dur}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja, glej 4.4.1.2 (5). Za izbran razred izpostavljenosti X0 in XC1 ter razred konstrukcije S4, ustreza:

$$c_{min,dur} = 15;$$

$c_{dur,\gamma}$ dodatni varnostni sloj, glej 4.4.1.2 (6):

$$c_{dur,\gamma} = 0;$$

$c_{dur,st}$ zmanjšana najmanjša debelina krovne plasti pri uporabi nerjavečega jekla, glej 4.4.1.2 (7):

$$c_{dur,st} = 0;$$

$c_{dur,add}$ zmanjšana najmanjša debelina krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite, glej 4.4.1.2 (8):

$$c_{dur,add} = 0;$$

Najmanjši dopustni krovni sloj betona :

$$c_{min} = \text{Max}[c_{min,b}, c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}, 10]$$

$$18$$

Dovoljeno projektno odstopanje krovnega sloja Δc_{dev} [od 0 do 10 mm]:

$$\Delta c_{dev} = 10;$$

Nazivni krovni sloj betona c_{nom} [mm] :

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$28$$

Izbran krovni sloj betona : $c_{nom} = 50$ mm

6.5.3 Najmanjša avodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] po določilih SIST EN 1992-1-1:

Svetla medsebojna razdalja (vodoravna in navpična) med posameznimi vzporednimi palicami oziroma med vodoravnimi legami vzporednih palic ne sme biti manjša od največje izmed naslednjih treh vrednosti: $k_1 \times$ premer palice, $(d_g + k_2)$ mm) oziroma 20 mm pri omejevalni premer največje agregata.

Opomba: Vrednosti k_1 in k_2 za uporabo v posamezni državi lahko najdemo v njenem nacionalnem dodatku. Priporočene vrednosti sta $k_1=1$ mm in $k_2=5$ mm.

Najmanjša vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

$$k_1 = 1;$$

$$k_2 = 5;$$

$$\phi = 18;$$

$$d_g = 16;$$

$$l_{v,n} = \text{Max}[k_1 \phi, d_g + k_2, 20]$$

21

Največja vodoravna in navpična dopustna razdalja med palicami [mm] :

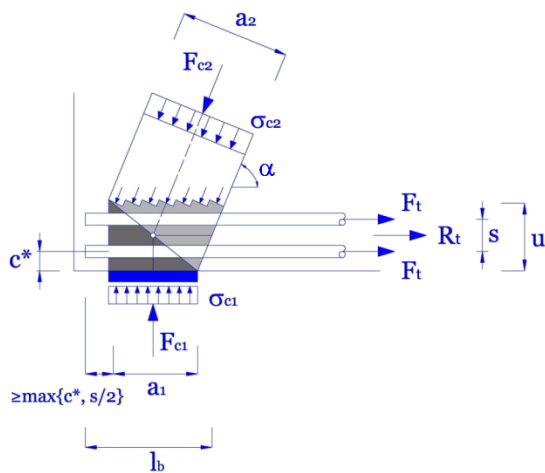
$$l_{v,n} = \text{Min}[2 * b * 10, 300]$$

300

6.5.4 Kontrola krajnega vozlišča in pripadajoči razpor

6.5.4.1 Obravnavam vozlišča nad podporo in prikaži simbolično sliko.

Opomba: v računuje upoštevamo $\alpha_1 = \alpha_A$



Slika 9: Prikaz vogalnega vozlišča

6.5.4.2 Dimenzije vozlišča glede na izbrane dimenzije glavne vzdolžne armature (12 $\phi 18$ mm) in vertikalne razdalje med njimi:

Efektivna višina vozlišča "u" [cm]:

$$c^* = \text{krvni sloj (5 cm) + stremenska armatura (\phi 0.8 cm)} + \frac{\text{vzdolžna armatura (\phi 1.8 cm)}}{2}$$

n ... število slojev glavne vzdolžne armature

s ... osna razdalja med armaturnimi palicami

$$c^* = 6.7;$$

$$n = 3;$$

$$s = 12.0;$$

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

37.4

Dolž inastika razpore z vozliš ■em:

Dolž inapodaljš anegavozliš ■a

$$a_{stik1} = a_A + \frac{u}{\tan\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

72.0509

Dolž inadiagonalne stranice trikotnega podvozliš ■a

$$\gamma = \text{ArcTan}\left[\frac{u}{a_A}\right] \frac{180}{\pi}$$

36.7965

$$a_{stik2} = \frac{a_A}{\cos\left[\gamma \frac{\pi}{180}\right]}$$

62.4401

Š irinatla ■nerazpore (pravokotno na razpore, t.j. vsota diagonalnih nazob ■anihdelov na sliki) :

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

62.0662

6.5.4.3 Kontrola tla ■nihnepetosti na mestu podpiranja:

$$F_{c1} = R_A$$

2162.5

a_A

50

$$\sigma_{c1} = N\left[\frac{F_{c1}}{a_A b}\right]$$

1.44167

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.4.4 Kontrola tla ■nihnepetosti na stiku diagonalne razpore z vozliš ■em:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2510.39

Napetost na nazob ■anemdelu:

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

62.0662

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.34823

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.4.5 Kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2510.39

α

59.4766

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

62.0662

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.34823

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

False

Pove ■amoviš inovozliš ■ali dolž inopodporna elementa ali pa omenjena ukrepa kombiniramo:

Potrebna viš inavozliš "u" [cm] :

Clear[u]

$$\text{Solve}\left[\frac{F_{c2}}{(u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]) b} == 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}, u\right]$$

{u → 71.2179}

$$u = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

71.2179

ali potrebna širina podpore "a_A" [cm] :

Clear[u]

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

37.4

$$a_A = \frac{\frac{F_{c2}}{\sigma_{Rd} b} - u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

69.9389

Za zagotavljanje nosilnosti vozliš in diagonalne razpore izberem povečanoviš inavozliš "u".

6.5.4.6 Dimenzije vozliš glede na izbrane dimenzije glavne vzdolž narmature (12 ϕ 18mm) in povečan vertikalne razdalje med njimi:

$$a_A = 60;$$

$$c^* = 6.7;$$

$$n = 3;$$

$$s = 21.0;$$

$$u = 2 c^* + (n - 1) s$$

55.4

6.5.4.7 Ponovna kontrola nosilnosti diagonalne razpore:

$$F_{c2} = \text{Abs}[N_{3d}]$$

2510.39

α

59.4766

Širina tla nerazpore :

$$a_2 = u \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right] + a_A \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

79.8224

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b}$$

1.04832

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.4.8 Kontrola območja viš in voziš "au" glavne vzdolž nearmature:

u

55.4

l = 1800;

h = 900;

$u \leq 0.12 \text{ Min}[l, h]$

True

6.5.5 Kontrola prečnihategov v diagonalni razpori (popolna prekinitev), v območju podpore:

6.5.5.1 Oddaljenost "z" med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

$a_A = 60$;

$$l_A = N \left[\frac{R_A}{q_{d,zg} + q_{d,sp}} \right] * 100$$

720.833

$$z_A = \left(\frac{l_A}{2} - \left(\text{Max} \left[c^*, \frac{s}{2} \right] + \frac{a_A}{2} \right) \right) \tan \left[\alpha \frac{\pi}{180} \right]$$

542.604

6.5.5.2 Določitev prečnihategov v diagonalni razpori:

Širina razpore [cm]:

a = a₂

79.8224

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

z_A

542.604

Naklon diagonalne razpore [°]:

α

59.4766

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z_A}{\sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}$$

629.893

Območje površine prečnega prereza v diagonalni razpore [cm]:

$a_A = 60$;

$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_A$

353.947

Polovična dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$

314.947

Prečnana natezna sila v diagonalni razpore [kN]:

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a}{h_r} \right) F_{c2}$$

516.252

a) Določite potrebne natezne armature v ortogonalni smeri za prevzem prečnane natezne sile T
Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimetro):

Razdelitev prečnane natezne sile, ki deluje pravokotno na diagonalno razpore, na horizontalno in vertikalno komponento [kN]:

$$T_h = T * \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

444.711

$$T_v = T * \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

262.2

Potrebna količina armature na tekočimetro v horizontalni smeri (cm²/m):

$$A_{sh} = \frac{T_h/1}{f_{yd}}$$

$$10.2284$$

$$\Delta A_{sh} = A_{sh} - 2 \times 3.08$$

$$4.06835$$

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sh}}{2}$$

$$2.03418$$

Izberem dodatne horizontalne palice $\phi 8 / 20 \text{ cm}$ ($2.51 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

Potrebna količina armature na tekočimeter v vertikalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sv} = \frac{T_v/1}{f_{yd}}$$

$$6.03059$$

$$\Delta A_{sv} = A_{sv} - 2 \times 3.08$$

$$-0.12941$$

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sv}}{2}$$

$$-0.064705$$

Ni potrebe po dodatnih vertikalnih palicah

b) Določite potrebne natezne armature za prevzem prečnatezne sile T v smeri sile:

Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimeter):

Potrebna količina armature na tekočimeter v smeri sile T (cm^2/m):

$$A_{sT} = \frac{T/1}{f_{yd}}$$

$$11.8738$$

Prispevek horizontalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sh} = 3.08;$$

$$A_h = A_{sh} \sin\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

$$2.65318$$

Prispevek vertikalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sv} = 3.08;$$

$$A_v = A_{sv} \cos\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]$$

1.5643

$$\Delta A_{sT} = A_{sT} - 2(A_h + A_v)$$

3.43884

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sT}}{2}$$

1.71942

Izberem palice : $\phi 8 / 25 \text{ cm}$ ($2.01 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

6.5.6 Kontrola razpore v zgornjem pasu paličja:

$$N_{1d} = N_{2d}$$

1275

Dimenzija razpore gledano na lice elementa je enaka viš in krajnega vozlišča "u":

u

55.4

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{2d}}{u b}$$

0.767148

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.056

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.7 Kontrola sidranja armature nad krajno podporo (SIST EN 1992-1-1, poglavje 8)

6.5.7.1 Mejna sprijemna napetost:

f_{bd} mejne napetosti sidranja za rebraste palice $\left[\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right]$

f_{ctd} računskavrednost natezne trdnosti betona v skladu s 3.1.6 (2) P.

η_1 koeficient, ki je odvisen od kvalitete pogojev sidranja in od lege palic med betoniranjem

η_2 koeficient, ki je odvisen od premera palice

$$\alpha_{ct} = 1;$$

$$f_{ctk0,05} = 0.2;$$

$$\gamma_C = 1.5;$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk0,05}}{\gamma_C}$$

$$0.133333$$

$$\eta_1 = 0.7;$$

$$\eta_2 = 1.0;$$

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

$$0.21$$

6.5.7.2 Osnovna sidrna dolž $in_{b,rqd}$ [mm]:

σ_{sd} računskanapetost v palici na mestu od katerega merimo dolž inosidranja [cm]:

Dolž inasidranja mora prevzeti celotno natezni silo

$$N_{2d}$$

$$1275$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{2d}}{A_{spolje1}}$$

$$41.7485$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$894.611$$

6.5.7.3 Računskasidrana dolž in_{bd} [mm]:

α_1 je koeficient, ki upošteva učinek oblike palice ob predpostavki ustreznega krovnega sloja betona :

$$\alpha_1 = 1.0;$$

α_2 je koeficient, ki upošteva učinek najmanjšega krovnega sloja betona:

$$\alpha_2 = 1.0;$$

α_3 koeficient za upoštevanje odklona od prečne armature:

$$\alpha_3 = 1.0;$$

α_4 koeficient za upoštevanje vpliva ene ali več privarjenih prečnih palic ($\phi_t > 0.6 \phi$)

v dolž računskedolžne sidranja l_{bd} , ki je podan z vrednostjo 1.0 zaradi numerike, sicer pa varjene palice niso uporabljene (lahko bi bile dodane kot ukrep)

$$\alpha_4 = 1.0;$$

α_5 koeficient za upoštevanje odklona od prečne armature vzdolž računskesidrne dolž ino

$\alpha_5 \in [0.7 - 1.0]$ redukcija sidrne dolžne glede na ugoden vpliv prečnih tlakov

Določitev prečne napetosti p [MPa]:

$$a_A = 60;$$

Abs[N_{3d}]

2510.39

$$p = \frac{\text{Abs}[N_{3d}] \text{Sin}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}{\left(a_A + \frac{u}{\text{Tan}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]}\right) b} 10$$

7.77904

$$\alpha_5 = 1.0 - 0.04 p$$

0.688839

If[$\alpha_5 < 0.7$, 0.7, α_5]

0.7

Kontrola : Produkt (α_2 ; α_3 ; α_5) ≥ 0.7

$$\text{Produkt} = \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7]$$

0.7

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_4 \text{Max}[\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5, 0.7] l_{b,rqd}$$

626.228

6.5.7.4 Minimalna sidrna dolž inal_{b,min} [mm]:

$$l_{b, \text{min,nateg}} = \text{Max}[0.3 l_{b,rqd}, 10 \phi, 100]$$

268.383

6.5.7.5 Dejanska sidrana dolž inal_{b,dej} [mm]:

$$l_{b, \text{dej}} = \left(\text{Max}\left[c^*, \frac{s}{2}\right] + a_A + \frac{u/2}{\text{Tan}\left[\alpha \frac{\pi}{180}\right]} \right) 10$$

868.318

6.5.7.6 Kontrola dolž in sidranja

Ra■unskaidrana dolžna l_{b,d} [mm] :

$$l_{b, \text{dej}} \geq l_{bd}$$

True

Minimalna sidrana dolžna l_{b,min} [mm] :

$$l_{b, \text{dej}} \geq l_{b, \text{min,nateg}}$$

True

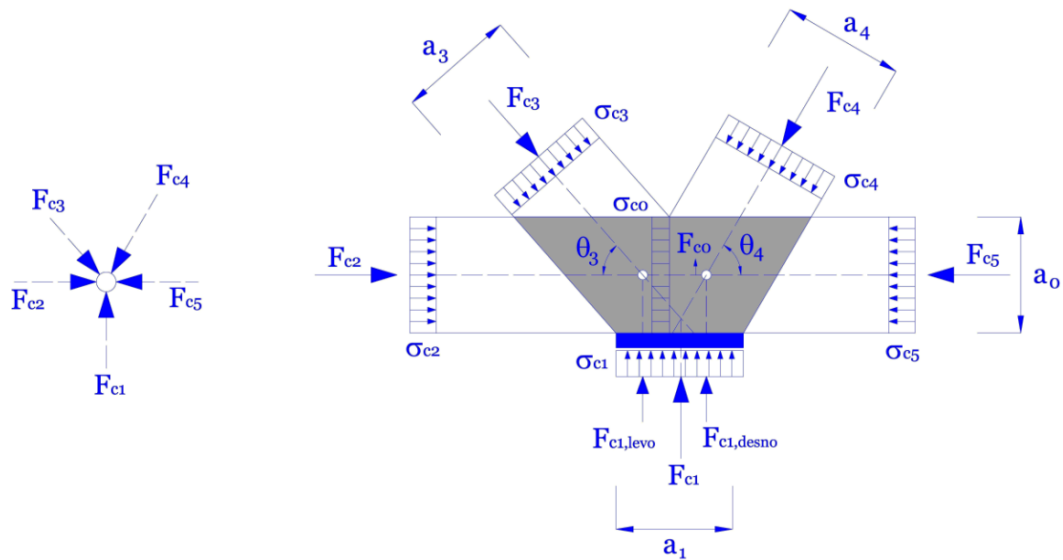
6.5.8 Kontrola vmesnega vozlišča "B" in pripadajoči izrazpor

6.5.8.1 Obravnavam vozlišča nad vmesno podporo in prikažem simbolično sliko.

Opomba: v enačbah uporabljamo: $a_1 = a_B$

$$\theta_3 = \beta_L$$

$$\theta_4 = \beta_D$$



Slika 10: Klasično vozlišče nad vmesno podporo

6.5.8.2 Dimenzije vozlišča in razpore glede na geometrijo, t.j. naklon razpore in dimenzije podpore [cm]:

$$a_B = 135;$$

$$\beta_L$$

$$59.883$$

$$\beta_D$$

$$55.1792$$

Višina vozlišča a_0 :

$$x = \frac{a_B \cdot \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}{\tan\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right] + \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

$$73.6105$$

$$a_0 = x \operatorname{Tan}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

105.83

$$a_0 = (a_B - x) \operatorname{Tan}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

105.83

Dolž inastika razpore z vozlišč **em**:

Dolž inastika desne in leve razpore z vozlišč **ent**,j trapezna oblika $a_3 = a_4 = 135\text{cm}$:

$$a_{\text{trapez}} = \frac{a_0}{\operatorname{Tan}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]} + \frac{a_0}{\operatorname{Tan}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

135.

Dolž inastika razpore z vozlišč **ent** so trikotna podobmo **ja**₃:

$$a_{3\text{stik}} = \frac{a_0}{\operatorname{Sin}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

128.913

Dolž inastika razpore z vozlišč **ent** so trikotna podobmo **ja**₄:

$$a_{4\text{stik}} = \frac{a_0}{\operatorname{Sin}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

122.346

Širinaleve tla **ner** razpore **a**₃:

$$a_3 = a_B \operatorname{Sin}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

116.775

Širina desne tla **ner** razpore **a**₄:

$$a_4 = a_B \operatorname{Sin}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

110.827

6.5.8.3 Kontrola tla **ni** napetosti na mestu podpiranja:

$$F_{c1} = R_B$$

5937.5

a_B

135

$$\sigma_{c1} = N \left[\frac{F_{c1}}{a_B b} \right]$$

1.46605

$$\sigma_{Rd} = 1.2 \left(0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd} \right)$$

1.7952

Pogoj :

$$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.8.4 Kontrola tla ■ nilnapetosti na stiku diagonane razpore z vozliš ■em:

6.5.8.4.1 Kontrola napetosti na površ invozliš ■aa levi strani; razpore N_{4d} :

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

3742.77

Viš inavozliš ■a

$$x = \frac{a_B \text{Tan} \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]}{\text{Tan} \left[\beta_D \frac{\pi}{180} \right] + \text{Tan} \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]}$$

73.6105

$$a_0 = x \text{Tan} \left[\beta_D \frac{\pi}{180} \right]$$

105.83

Napetost pravokotno na š irindeve tla ■nerazpore a_3 :

$$a_3 = a_B \text{Sin} \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]$$

116.775

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

1.06837

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.8.4.2 Kontrola napetosti na površ invozliš ■aa levi strani; razpore N_{10d} :

$$F_{c4} = \text{Abs}[N_{10d}]$$

3288.9

Viš inavozliš ■a

$$x = \frac{a_B \text{Tan}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}{\text{Tan}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right] + \text{Tan}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

73.6105

$$a_0 = x \text{Tan}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

105.83

Napetost pravokotno na š irinodesno tla ■nerazpore a₄:

$$a_4 = a_B \text{Sin}\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

110.827

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c4}}{a_4 b}$$

0.989198

Kontrola:

$$\sigma_{Rd} = 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

1.496

Pogoj :

$$\sigma_{c2} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.8.5 Kontrola nosilnosti diagonane razpore:

6.5.8.5.1 Kontrola leve razpore N_{4d}:

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

3742.77

β_L

59.883

$$a_3 = a_B \text{Sin}\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

116.775

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

1.06837

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c3} < \sigma_{Rd}$$

False

6.5.8.5.2 Kontrola desne razpore N_{10d} :

$$F_{c4} = \text{Abs}[N_{10d}]$$

3288.9

$$a_4 = a_B \text{Sin} \left[\beta_D \frac{\pi}{180} \right]$$

110.827

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c4}}{a_4 b}$$

0.989198

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd}$$

1.056

Pogoj :

$$\sigma_{c3} < \sigma_{Rd}$$

True

Potrebna viš inavozliš a_0 [cm], ni smiselna ker viš inavozliš a_0 > kot naklona razpore in geometrija podpore, zato je potreben račun inepodpore:

$$a_B = \frac{F_{c3}}{\left(0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250} \right) f_{cd} \right) b \text{Sin} \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]}$$

136.581

6.5.8.6 Konstantne dimenzije vozlišča in razpore [cm]:

$$a_B = 140;$$

$$\beta_L$$

59.883

$$\beta_D$$

55.1792

Viš inavozliš a_0 :

$$x = \frac{a_B \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}{\tan\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right] + \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

76.3368

$$a_0 = x \tan\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

109.749

$$a_0 = (a_B - x) \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

109.749

Dolž inastika razpore z vozliš a_m :

Dolž inastika desne in leve razpore z vozliš $a_3 = a_4 = 140\text{cm}$:

$$a_{\text{trapez}} = \frac{a_0}{\tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]} + \frac{a_0}{\tan\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

140.

Dolž inastika razpore z vozliš a_3 so trikotna podobmo a_3 :

$$a_{3\text{stik}} = \frac{a_0}{\sin\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

133.687

Dolž inastika razpore z vozliš a_4 so trikotna podobmo a_4 :

$$a_{4\text{stik}} = \frac{a_0}{\sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$

126.878

Širinaleve tla a_3 :

$$a_3 = a_B \sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

121.1

Širinadesne tla a_4 :

$$a_4 = a_B \sin\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]$$

114.932

6.5.8.7 Ponovna kontrola nosilnosti diagonane razpore:

$$F_{c3} = \text{Abs}[N_{4d}]$$

3742.77

$$\beta_L$$

$$59.883$$

$$a_3 = a_B \sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

$$121.1$$

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c3}}{a_3 b}$$

$$1.03021$$

$$\sigma_{Rd} = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} 10}{250}\right) f_{cd}$$

$$1.056$$

Pogoj :

$$\sigma_{c3} < \sigma_{Rd}$$

True

6.5.8 Kontrola prenikanjev v diagonalni razpori (popolna prekinitev), v območju podpore:

6.5.8.1 Oddaljenost "z" med zgornjim in spodnjim pasom paličja [cm]:

$$l_{B,levo} = 10.79167;$$

$$z_{BL} = \frac{l_{B,levo}}{2} \tan\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right] * 100 - \frac{u}{2}$$

$$902.493$$

$$l_{B,desno} = 9;$$

$$z_{BD} = \frac{l_{B,desno}}{2} \tan\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right] * 100 - \frac{u}{2}$$

$$619.265$$

Izberem viš inopaličja:

$$z = \min[z_A, z_{BL}, z_{BD}]$$

$$542.604$$

6.5.8.2 Določitev prečne sile v diagonalni razpori:

6.5.8.2.1 Račun prečne sile v razpori $F_{c3} = N_4$ (na levi strani vozlišča)

Širinarazpore [cm]:

$$a_L = a_3$$

$$121.1$$

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom pališja[cm]:

$$z$$
$$542.604$$

Naklon diagonalne razpore [°]:

$$\beta_L$$
$$59.883$$

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z}{\sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]}$$
$$627.286$$

Območjepliva prešnihategov v diagonalni razpore [cm]:

$$a_B = 140;$$
$$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_B$$
$$404.643$$

Polovišnadolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$
$$313.643$$

Prešnanatezna sila v diagonalni razpore [kN]:

$$T_L = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a_L}{h_r} \right) F_{c3}$$
$$682.796$$

6.5.8.2.2 Rašurprešnanatezne sile v razpore $F_{c4} = N_{10}$ (na desni strani vozliššja

Širinarazpore [cm]:

$$a_D = a_4$$
$$114.932$$

Razdalja med zgornjim in spodnjim pasom pališja[cm]:

$$z$$
$$542.604$$

Naklon diagonalne razpore [°]:

$$\beta_D$$
$$55.1792$$

Dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$H_r = \frac{z}{\sin\left[\beta_D \frac{\pi}{180}\right]}$$

660.952

Območje vpliva prečnih nategov v diagonalni razpori [cm]:

$$a_B = 140;$$

$$b_{\text{eff}} = 0.5 H_r + 0.65 a_B$$

421.476

Polovičn dolž inadiagonalne razpore [cm]:

$$h_r = \frac{H_r}{2}$$

330.476

Prečna natezna sila v diagonalni razpori [kN]:

$$T_D = \frac{1}{4} \left(1 - 0.7 \frac{a_D}{h_r} \right) F_{c4}$$

622.06

6.5.8.2.3 Maksimalna prečna natezna sila

$$T = \text{Max}[T_L, T_D]$$

682.796

a) Določitev potrebne natezne armature v ortogonalni smeri za prevzem prečne natezne sile T
Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimetro):

Razdelitev prečne natezne sile, ki deluje pravokotno na diagonalno razpore, na horizontalno in vertikalno komponento [kN]:

$$T_h = T * \sin\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

590.62

$$T_v = T * \cos\left[\beta_L \frac{\pi}{180}\right]$$

342.605

Potrebna količina armature na tekočimetro v horizontalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sh} = \frac{T_h / 1}{f_{yd}}$$

13.5843

$$\Delta A_{sh} = A_{sh} - 2 \times 3.08$$

7.42427

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sh}}{2}$$

3.71213

Izberem dodatne horizontalne palice : $\phi 10 / 20 \text{ cm}$ ($3.93 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

Potrebna količina armature na tekočimenter v vertikalni smeri (cm^2/m):

$$A_{sv} = \frac{T_v / 1}{f_{yd}}$$

7.87992

$$\Delta A_{sv} = A_{sv} - 2 \times 3.08$$

1.71992

Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sv}}{2}$$

0.859962

Izberem dodatne verikalne palice $\phi 8 / 30 \text{ cm}$ ($1.68 \text{ cm}^2 / \text{m}$) k mrežni armaturi Q308

b) Določite potrebne natezne armature za prevzem prečne natezne sile T v smeri sile:

Kontrola ortogonalne mreže nearmature Q308 (predstavlja 8 palic $\phi 7$ na razdalji 12.5cm, na tekočimenter):

Potrebna količina armature na tekočimenter v smeri sile T (cm^2/m):

$$A_{sT} = \frac{T / 1}{f_{yd}}$$

15.7043

Prispevek horizontalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sh} = 3.08;$$

$$A_h = A_{sh} \sin \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]$$

2.66421

Prispevek vertikalnih palic mreže nearmature Q308 glede na naklon sile T:

$$A_{sv} = 3.08;$$

$$A_v = A_{sv} \cos \left[\beta_L \frac{\pi}{180} \right]$$

1.54545

$$\Delta A_{sT} = A_{sT} - 2 (A_h + A_v)$$

7.28501

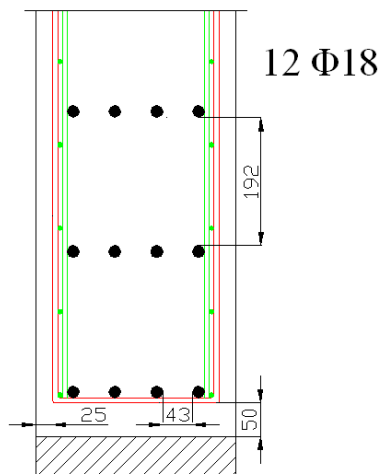
Na eno lice elementa :

$$\frac{\Delta A_{sT}}{2}$$

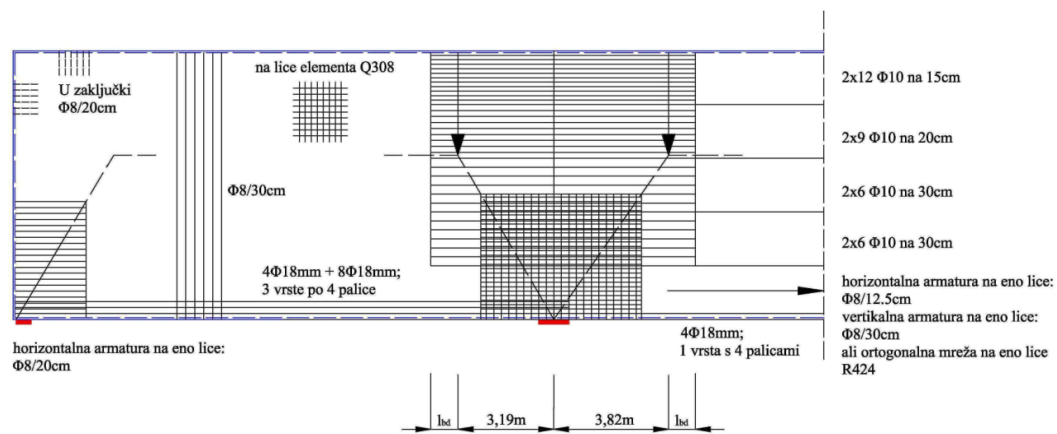
3.6425

Izberem palice : $\phi 10 / 20 \text{ cm}$ ($3.93 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

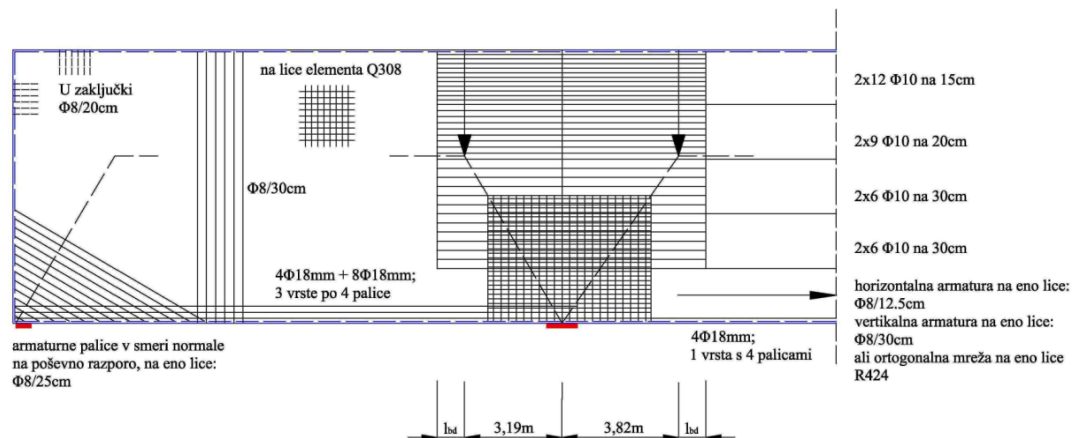
6.5.9 Prikaz dejanskega armiranja



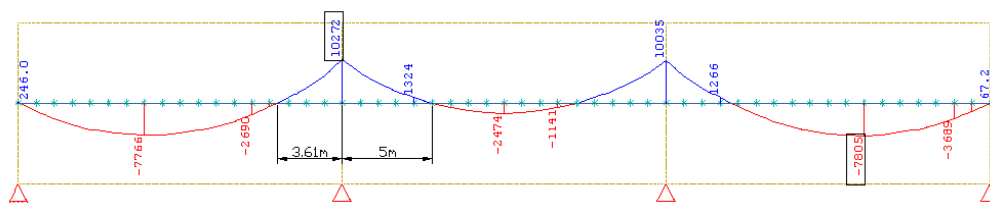
Slika 11: Armiranje v obeh krajnih poljih, kjer se samo spodnja vrsta nadaljuje v vmesno polje



Slika 12: Prikaz armiranja na licu elementa



Slika 13: Prikaz armiranja na licu elementa (vogal armiramo ortogonalno)



Slika 14: Prikaz dolž inenativnega momenta

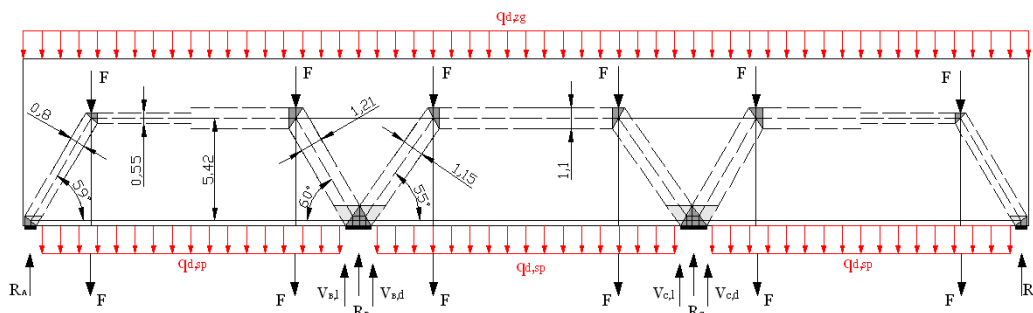
Določite potrebne dolž inenativne armature "l" nad notranjo podporo:

1. Model razpor in vezi: $l = 3,19 + 3,82 = 7,01 \rightarrow 7,00\text{m}$
2. Leonhardt: $l = 2 * (40\% * \min(l, h)) = 2 * 0,4 * 9\text{m} = 7.20\text{m}$
3. Dolž in, ki ustreza linijskemu nosilcu ($l_{db} = l_{b,rqd}$): $l = 3,61\text{m} + 5\text{m} + 2 * \left(\frac{\phi}{4}\right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right) = 8,61\text{m} + 1.86\text{m} = 10,5\text{m}$

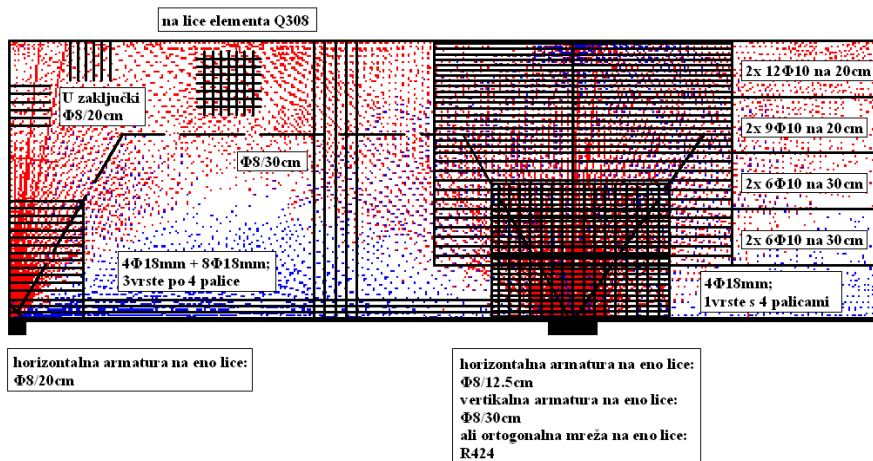
6.5.10 Konstruiraj in položi armaturo glede na poteg glavnih napetosti:

Komentar :

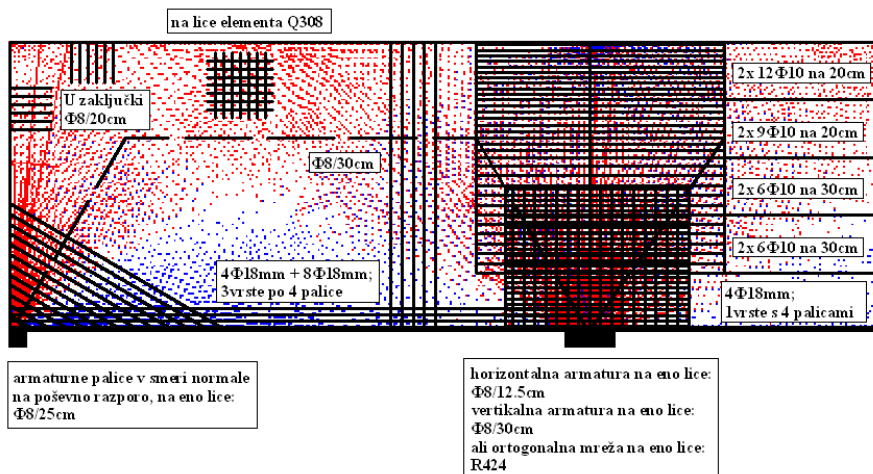
Razdalja med rezultantami tlačnih nateznih napetosti dobljenih iz programskega paketa "Sofistik" pri integraciji napetosti po linearni teoriji elastičnosti po vertikalnih prerezih znaša za robove krajnem polju $z = 6.13\text{ m}$, vmesnem polju $z = 6.25$ in nad podporo $z_B = 5.49\text{ m}$.



Slika 15: Paličnimehanizem



Slika 16: Glavne napetosti in polož ajarmature



Slika 17: Glavne napetosti in polož ajarmature

7.0 MEJNA STANJA UPORABNOSTI (MSU): KONTROLA RAZPOK

■ 7.1 Obremenitev:

$$q_{d,zg} = 142;$$

$$q_{d,sp} = 71;$$

■ 7.2 Rezultanta nateznih napetosti v polju in nad podporo [kN]:

$$N_2 = 900;$$

$$N_7 = 1440;$$

■ 7.3. Kontrola razpok (SIST EN 1992-1-1, poglavje 7.3)

7.3.1 Minimalna potrebna količina armature za zagotavljanje robustnosti:

$$A_{s,min} = k_c k \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} A_{ct}$$

σ_s ... absolutna vrednost največje dovoljene napetosti armature takoj po nastanku razpoke. Vzamemo lahko, da je to napetost na meji elastičnosti armature, f_{yk} . Pri zagotovitvi omejitve širine razpok glede na največji prerez palic (SIST EN 1992-1-1, preglednica 7.2) in z največjo medsebojno razdaljo palic, je lahko potrebna tudi manjša vrednost.

$$\sigma_s = f_{yk}$$

50

k_c ... koeficient, ki upošteva razporeditev napetosti prereza neposredno pred nastankom razpok in vpliv spremembe ročice notranjih sil. Pri istopogib:

$$k_c = 0.4;$$

k ... koeficient, ki omogoča upoštevanje neenakomernih samouravnatežnih napetosti, ki vodijo v zmanjšanje vplivov, ki izvirajo iz preprečitve deformiranja:

$$k = 0.65;$$

$f_{ct,eff}$... srednja vrednost učinkovite natezne trdnosti betona v času, ko pri nastanku prve razpoke:

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ oziroma manjša ($f_{ctm}(t)$), nastanek razpok pričakujemo prej kot pri starosti 28 dni.

$$f_{ct,eff} = 0.29;$$

A_{ct} ... prerez betona v natezni coni. Natezna cona je tisti del prereza, za katerega računamo, da je tegnen tik pred nastankom prve razpoke.

z

542.604

■ je osna sila $N_{Ed} = 0$, pomeni da je delež prereza v nategu enak $\lambda = 0.5$.

$$\lambda = 0.5;$$

$$A_{ct} = \lambda b z$$

8139.06

Minimalno potrebna armatura

$$A_{s,min} = k_c k \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} A_{ct}$$

12.2737

Kontrola potrebne količine armature v polju

$$A_{spolje} > A_{s,min}$$

True

Kontrola potrebne količine armature v polju

$$A_s B > A_{s, \min}$$

True

7.3.2 Kontrola razpok v polju z uporabo preglednic 7.2 in 7.3 v SIST EN 1992-1-1:

Vsaj en pogoj mora biti izpolnjen, da širina razpok verjetno ne bodo prekomerne

Pogoj a: glede na prerez palic $\phi = 18\text{mm}$, naj bi bila največja napetost v jeklu 260MPa ; preglednica 7.2 ali

pogoj b: dejanski napetosti v palicah pripadajo največji razmak med palicami ni presežen; preglednica 7.3

Pogoj a:

$$N_2$$

$$900$$

$$A_{spolje1}$$

$$30.54$$

$$\sigma_s = \frac{N_2}{A_{spolje1}}$$

$$29.4695$$

Kontrola :

$$\sigma_s < 26$$

False

Pogoj b:

Kontrola maksimalnega razmaka med palicami glede na dejansko napetost σ_s v armaturnih palicah [mm] :

$$e_{dej} = 192;$$

$$e_{max} = 175;$$

$$e_{dej} < e_{max}$$

False

KOMENTAR: glede na količino dejansko vgrajene armature in ustreznim razmakom med palicami naj ne bi bile širine razpok prekomerne.

7.3.3 Kontrola razpok nad podporo z uporabo preglednic 7.2 in 7.3 v SIST EN 1992-1-1:

Vsaj en pogoj mora biti izpolnjen, da širine razpok verjetno ne bodo prekomerne

Pogoj a: glede na prerez palic $\phi = 16\text{mm}$, naj bi bila največja napetost v jeklu 280MPa ; preglednica 7.2 ali

pogoj b: dejanski napetosti v palicah pripadajo največji razmak med palicami ni presežen; preglednica 7.3

Pogoj a:

Dejanska napetost v palicah [kN/cm^2] :

$$N_7$$

$$1440$$

AsB

43.125

$$\sigma_s = \frac{N_2}{AsB}$$

20.8696

Kontrola

$$\sigma_s < 28$$

True

Pogoj b:

Kontrola maksimalnega razmaka med palcami glede na dejansko napetost σ_s v armaturnih palicah [mm] :

$$e_{dej} = 200;$$

$$e_{max} = 175;$$

$$e_{dej} < e_{max}$$

False

KOMENTAR: glede na količino dejansko vgrajene armature in ustreznim razmakom med palicami naj ne bi bile širine razpoka prekomerne.