

# Određivanje kritične sile na zidanim lučnim konstrukcijama

---

**Ukotić, Sara**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:170332>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sara Ukotić**

**Određivanje kritične sile na zidanim lučnim konstrukcijama**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij**

**Konstrukcije**

**Masivni mostovi**

**Sara Ukotić**

**JMBAG: 0114032388**

**Određivanje kritične sile na zidanim lučnim konstrukcijama**

**Diplomski rad**

**Rijeka, studeni 2023.**

## **IZJAVA**

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Sara Ukotić

U Rijeci, 11.2023.

## **IZJAVA**

Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta

### **Poboljšanje proračunskih modela za ocjenu stanja građevinskih konstrukcija**

Voditeljica projekta: prof. dr. sc. Ivana Štimac Grandić

Šifra projekta: uniri-tehnic-18-127

Financijer projekta: Sveučilište u Rijeci

Pravna nadležnost: Republika Hrvatska

---

Ivana Štimac Grandić

U Rijeci, 11.2023.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem mentorici Ivani Štimac Grandić na nesebičnoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada. Veliko hvala i mojoj obitelji i prijateljima na strpljenju i podršci tijekom studiranja.

## **SAŽETAK**

U ovom radu analizirane su kružno oblikovane upete zidane lučne konstrukcije. U samom uvodu rada dan je kratak pregled povijesti zidanih lučnih konstrukcija te osnove proračuna istih prema J. Heymanu primjenom načela proračuna prema teoriji plastičnosti. U nastavku rada analizirane su tri zidane lučne konstrukcije uz pomoć računalnog programa *Arco*. Istražen je utjecaj specifične težine luka, visine nadsloja i njegove specifične težine, broja blokova u luku te kuta luka na položaj i veličinu kritične sile koja uzrokuje gubitak stabilnosti luka. Podaci o položaju i veličini kritične sile dani su tablično i grafički te je u analizi rezultata provedena njihova usporedba za istražene primjere zidanih lukova.

**KLJUČNE RIJEČI:** zidane konstrukcije, luk, teorija plastičnosti, specifična težina, nadsloj, kritična sila

## **ABSTRACT**

This paper presents circularly shaped braced masonry arch constructions. In the first part a brief overview of the history of arch constructions is given and the basis of design of masonry arches according to J. Heyman are described. He applied the theory of plasticity to masonry structures. In the main part, three masonry arch constructions were analyzed using the computer program *Arco*. The influence of the specific weight of the arch, the height of the overlay and its specific weight, the number of blocks in the arch and the angle of the arch on the position and magnitude of the critical force that causes loss of arch stability were analysed. The results are given in tables and graphics and their comparison was made for the investigated arches.

**KEY WORDS:** masonry structures, arch, theory of plasticity, specific gravity, overlay, critical force

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA POLUKRUŽNOM LUKU RASPONA $L=4.44$ m .....	12
2.1. Luk specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	13
2.2. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	19
2.3. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	21
2.4. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	23
2.5. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	25
2.6. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	27
2.7. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	29
2.8. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	31
2.9. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	33
2.10. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ...	35
2.11. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ...	37
2.12. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ ...	39
2.13. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ...	41
2.14. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ...	43
2.15. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ ...	45
2.16. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ...	47
2.17. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ...	49
2.18. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ ...	51
2.19. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ...	53
2.20. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ...	55
2.21. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ ...	57
2.22. Analiza rezultata za polukružni luk raspona $L=4.44$ m.....	59
2.22.1. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m bez nadsloja .....	59
2.22.2. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0 m.....	60
2.22.3. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.2 m.....	62
2.22.4. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.5 m.....	63
3. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA SEGMENTNOM LUKU RASPONA $L=4.12$ m.....	65
3.1. Luk specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	66
3.2. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	72
3.3. Luk specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja.....	74
3.4. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	76
3.5. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	78
3.6. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem visine 0 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	80



3.7. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> .....	82
3.8. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m <sup>3</sup> .....	84
3.9. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m <sup>3</sup> .....	86
3.10. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> ...	88
3.11. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m <sup>3</sup> ...	90
3.12. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m <sup>3</sup> ...	92
3.13. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> ...	94
3.14. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m <sup>3</sup> ...	96
3.15. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m <sup>3</sup> ...	98
3.16. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> .	100
3.17. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m <sup>3</sup> .	102
3.18. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m <sup>3</sup> .	104
3.19. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> .	106
3.20. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m <sup>3</sup> .	108
3.21. Luk specifične težine 26 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m <sup>3</sup> ..	110
3.22. Analiza rezultata za segmentni luk raspona L=4.12 m.....	112
3.22.1. Segmentni luk raspona L=4.12 m bez nadsloja.....	112
3.22.2. Segmentni luk raspona L=4.12 m s nadslojem visine 0 m.....	113
3.22.3. Segmentni luk raspona L=4.12 m s nadslojem visine 0.2 m.....	115
3.22.4. Segmentni luk raspona L=4.12 m s nadslojem visine 0.5 m.....	116
4. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA POLUKRUŽNOM LUKU RASPONA L=8.88 m .....	118
4.1. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , bez nadsloja.....	119
4.2. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> .....	121
4.3. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> ...	123
4.4. Luk specifične težine 22 kN/m <sup>3</sup> , s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m <sup>3</sup> ...	125
4.5. Usporedba rezultata polukružnih lukova raspona L=4.44 m i L=8.88 m.....	127
5. ZAKLJUČAK .....	129
LITERATURA .....	131





Tablica 49: Omjer kritične sile prema broju blokova luka s nadslojem i bez nadsloja za polukružni luk raspona $L=4.44$ m i $L=8.88$ m.....	128
--	-----

## POPIS SLIKA

Slika 1: Panteon, Rim [2] .....	1
Slika 2: Most Anji, Kina [4] .....	1
Slika 3: Most Školjić, Hrvatska [7] .....	2
Slika 4: Most Alcantara, Španjolska [8] .....	2
Slika 5: Most Leaderfoot, Škotska [9] .....	3
Slika 6: Različite vrste lukova [11] .....	3
Slika 7: Arch of Riccardo, Italija – primjer luka sa 7 blokova [13] .....	4
Slika 8: The arch of Drusus, Italija – primjer luka s 13 blokova [14] .....	5
Slika 9: Arch of Hadrian, Grčka – primjer luka s 19 blokova [15] .....	5
Slika 10: Slom polukružnog luka uslijed koncentrirane sile [16] .....	6
Slika 11: Geometrija polukružnog i segmentnog luka .....	7
Slika 12: Skica luka s iskazanim vrijednostima visina nadslojeva, specifičnih težina nadslojeva te specifičnih težina luka koje su korištene u proračunu u programu Arco .....	8
Slika 13: Definiranje geometrije luka u programu Arco .....	9
Slika 14: Položaj i oznake geometrijskih veličina u programu Arco .....	9
Slika 15: Model luka u programu Arco .....	10
Slika 16: Prikaz zadavanja opterećenja i optimizacije tlačne linije u programu Arco .....	10
Slika 17: Presjek i tlocrt polukružnog luka raspona $L=4.44$ m .....	12
Slika 18: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 5 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	13
Slika 19: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 11 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	14
Slika 20: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m sa 17 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	14
Slika 21: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 23 bloka i ulaznim podacima u programu Arco .....	15
Slika 22: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 29 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	15
Slika 23: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 35 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	16
Slika 24: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 41 blokom i ulaznim podacima u programu Arco .....	16
Slika 25: Geometrija polukružnog luka raspona $L=4.44$ m s 51 blokom i ulaznim podacima u programu Arco .....	17
Slika 26: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	18
Slika 27: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	18
Slika 28: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	20
Slika 29: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	20
Slika 30: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	22
Slika 31: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja .....	22
Slika 32: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	24





Slika 73: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.2 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	63
Slika 74: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	64
Slika 75: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	64
Slika 76: Presjek i tlocrt segmentnog luka raspona $L= 4.12$ m.....	65
Slika 77: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 5 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	66
Slika 78: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 11 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	67
Slika 79: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m sa 17 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	67
Slika 80: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 23 bloka i ulaznim podacima u programu Arco .....	68
Slika 81: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 29 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	68
Slika 82: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 35 blokova i ulaznim podacima u programu Arco .....	69
Slika 83: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 41 blokom i ulaznim podacima u programu Arco .....	69
Slika 84: Geometrija segmentnog luka raspona $L=4.12$ m s 51 blokom i ulaznim podacima u programu Arco .....	70
Slika 85: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	71
Slika 86: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	71
Slika 87: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	73
Slika 88: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	73
Slika 89: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	75
Slika 90: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	75
Slika 91: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine 0 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	77
Slika 92: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine 0 m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	77
Slika 93: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine 0 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	79
Slika 94: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine 0 m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	79
Slika 95: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine 0 m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	81





Slika 116: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	101
Slika 117: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ....	103
Slika 118: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	103
Slika 119: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ ....	105
Slika 120: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	105
Slika 121: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ....	107
Slika 122: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	107
Slika 123: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ ....	109
Slika 124: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $18 \text{ kN/m}^3$ .....	109
Slika 125: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	111
Slika 126: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m, specifične težine $26 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $20 \text{ kN/m}^3$ .....	111
Slika 127: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka .....	112
Slika 128: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka.....	113
Slika 129: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja .....	114
Slika 130: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	114
Slika 131: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0.2$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	115
Slika 132: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0.2$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	116
Slika 133: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0.5$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	117
Slika 134: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine $0.5$ m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja.....	117
Slika 135: Presjek i tlocrt polukružnog luka raspona $L= 8.88$ m.....	118
Slika 136: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	120

Slika 137: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ i bez nadsloja.....	120
Slika 138: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	122
Slika 139: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	122
Slika 140: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.2$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ....	124
Slika 141: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.2$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	124
Slika 142: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ ....	126
Slika 143: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona $L=8.88$ m, specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ s nadslojem visine $0.5$ m i specifične težine $16 \text{ kN/m}^3$ .....	126

## 1. UVOD

Luk je neizostavan element zidanih konstrukcija u povijesnim zgradama i drugim povijesnim građevinama. Pretpostavka je da se s primjenom luka u građevinskim konstrukcijama započelo prije 6000 godina na području Mezopotamije. Prvi lukovi bili su malih dimenzija te su korišteni za prekrivanje grobnica. Iako su Etrušćani prvi u Europi gradili konstrukcije od kamenog luka, on se značajnije počeo primjenjivati u graditeljstvu u doba Rimskog Carstva. Jedan od najpoznatijih tadašnjih primjera uporabe lučnih i kupolastih konstrukcija je *Panteon* sa slike 1, čiji promjer kupole doseže 43 m.[1]



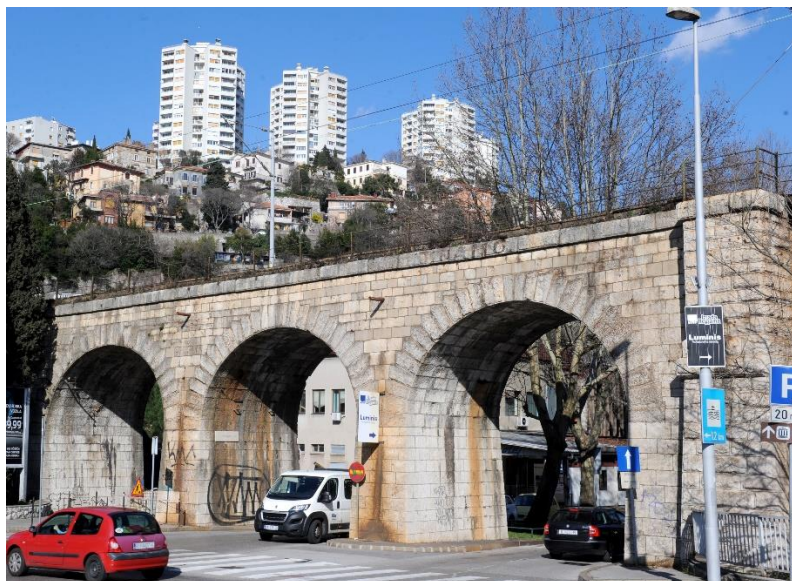
Slika 1: Panteon, Rim [2]

Osim na području današnjeg Bliskog Istoka i Europe, znanje starih Rimljana proširilo se i do područja Kine. Upravo je most *Anji* raspona 37.4 m prikazan na slici 2, najstariji lučni most s oteretnim otvorima na svijetu.[3]



Slika 2: Most Anji, Kina [4]

Sve do kraja 19. stoljeća svodovi i lukovi bili su osnovni konstrukcijski rasponski elementi. Zidani lukovi obuhvaćaju značajan dio europske kulturne baštine s bezbroj primjera u crkvama i zgradama. Italija, Španjolska i Ujedinjeno Kraljevstvo zajedno imaju više od 52000 zidanih lučnih mostova u aktivnoj uporabi. [5] Nadavna istraživanja procjenjuju da u svijetu postoji oko milijun kamenih lučnih mostova. Prema *Melbourneu*, oko 40% željezničkih mostova u Europi sastoji se od zidanih lučnih mostova, a više od 60% njih starije je od 100 godina. [6] Primjeri zidanih lučnih mostova dani su na slikama 3-5.



Slika 3: Most Školjić, Hrvatska [7]

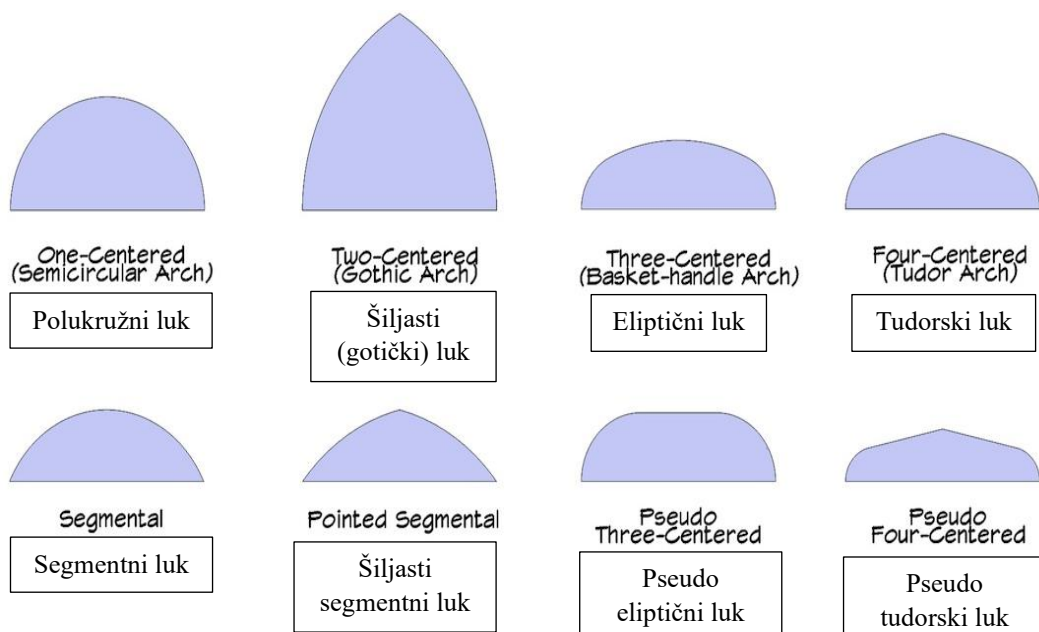


Slika 4: Most Alcántara, Španjolska [8]



Slika 5: Most Leaderfoot, Škotska [9]

Lukovi i svodovi mogu imati različite oblike. U rimsko doba je najčešće korišten polukružni oblik luka, a preuzet je od Etruraca. Rimljani su ga koristili za mostove, akvadukte i druge veće građevine. S druge strane, Arapi su popularizirali šiljasti luk koji kasnije u Europi, zbog svoje široke primjene, postaje temeljni pokazatelj gotičke arhitekture u zgradama i crkvama. U kasnom srednjem vijeku uveden je segmentni luk. On zajedno s eliptičnim i polukružnim lukom doseže veliki značaj u mostogradnji.[10] Spomenuti oblici lukova prikazani su na slici 6.



Slika 6: Različite vrste lukova [11]

Mnogi lukovi mostova i trijumfalnih lukova te drugih lučnih građevina, koji na području Europe egzistiraju i danas, su polukružnog oblika. Broj blokova (kamena ili opeka) u takvim lukovima veoma varira, a ovisi o veličini elementa i rasponu luka. U raznim izvorima mogu se pronaći lukovi izgrađeni sa sve do 50 kamenih blokova u jednom luku. Broj opeka u luku obično broji nekoliko desetina [12]. Primjeri polukružnih lukova s različitim brojem blokova dani su na slikama 7-9.



Slika 7: Arch of Riccardo, Italija – primjer luka sa 7 blokova [13]



Slika 8: The arch of Drusus, Italija – primjer luka s 13 blokova [14]



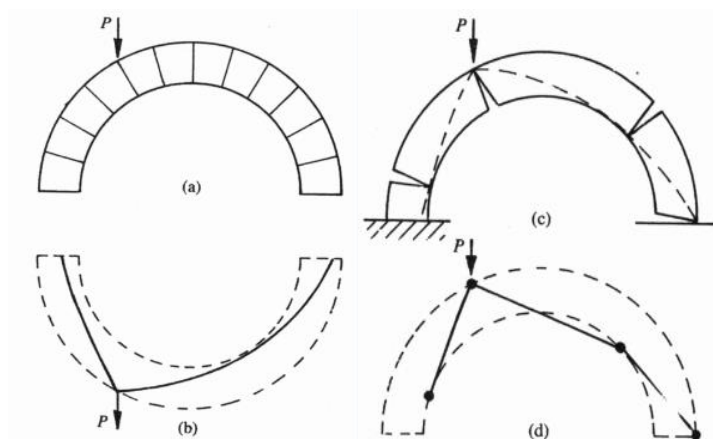
Slika 9: Arch of Hadrian, Grčka – primjer luka s 19 blokova [15]



Uvođenjem armiranog betona, zidane konstrukcije gube na popularnosti. Sve do 1966. godine kada Jacques Heyman predlaže novi pristup u analizu zidanih konstrukcija. Primjenom načela proračuna prema teoriji plastičnosti, postavlja 3 pretpostavke:[16,17]

1. Zide ima beskonačnu tlačnu čvrstoću.
2. Zide nema vlačnu čvrstoću.
3. Nema klizanja između blokova.

U skladu s ovim pretpostavkama zide djeluje kao skupina krutih elemenata. Njihova stabilnost proizlazi iz zatvorenog trokuta tlačnih sila i sile koja predstavlja vlastitu težinu elementa na dodirnim površinama s obje strane elementa. Za održavanje stabilnosti potrebno je da tlačna linija, koja spaja hvatišta tlačnih sila, bude sadržana unutar luka. Njezin idealni položaj podudara se s osi luka jer tada nema pojave momenta savijanja. Za slom  $n$ -tog stupnja statičke neodređenosti konstrukcije, potrebno je formiranje  $n+1$  plastičnih zglobova koji bi konstrukcijski sustav pretvorili u mehanizam. Plastični zglobovi pojavljuju se na mjestima gdje tlačna linija dodiruje rubne djelove luka što je prikazano na slici 10.



Slika 10: Slom polukružnog luka uslijed koncentrirane sile [16]

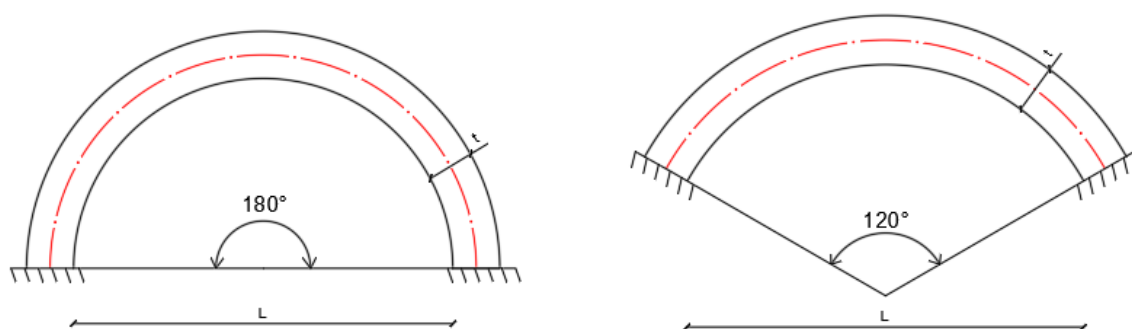
Uz primjenu teorije plastičnosti na zidane konstrukcije usko su vezana i dva teorema [18]: statički i kinematički teorem teorije plastičnosti kojima se predstavlja donja, odnosno gornja granica graničnog opterećenja. Određivanje graničnog opterećenja luka obuhvaća određivanje položaja i veličine koncentrirane sile koja djeluje na luk, a koja dovodi do otvaranja dovoljnog broja plastičnih zglobova. Taj postupak je dugotrajan jer zahtjeva

pomicanje sile duž luka te inkrementalno povećanje opterećenja da se odredi položaj i veličina graničnog opterećenja za svaki od kinematički dopustivih mehanizama.

U literaturi Heyman [17] navodi da se položaj kritičnog opterećenja nalazi u četvrtini raspona luka. Yu Meng u svome radu [12] uz pomoć programa *Ring* pronalazi položaj kritične sile u slučaju polukružnog luka s 51 blokom na  $0.434 L$  i 77 blokova na  $0.412 L$ , a Šćulac i Milić-Toljušić u članku [19] na polukružnom luku s 15 blokova korištenjem programa *Arco* utvrđuju kritični položaj sile na  $0.317 L$  od pete luka. Šćulac i Milić-Toljušić su vrijednosti dobivene programom *Arco* potvrdili i provedbom eksperimenta. Yu analizira i segmentni luk s unutarnjim kutom luka od  $120^\circ$  koji ima 51 blok i 77 blokova te utvrđuje kritični položaj sile na  $0.254 L$  i  $0.265 L$ .

Iz prethodno navedenih istraživanja vidljivo je da kritični položaj sile koja pri dovoljno velikom intenzitetu dovodi do pretvaranja luka u mehanizam te posljedično otkazivanja luka ovisi o broju blokova u luku te kutu luka.

U ovome radu položaj i veličinu sile koja uzrokuje gubitak stabilnosti luka pronalazi se uz pomoć računalnog programa *Arco* [20]. Analiza je provedena nad polukružnim i segmentnim lukom otvora  $L$  (slika 11) te polukružnim lukom otvora  $2L$ .



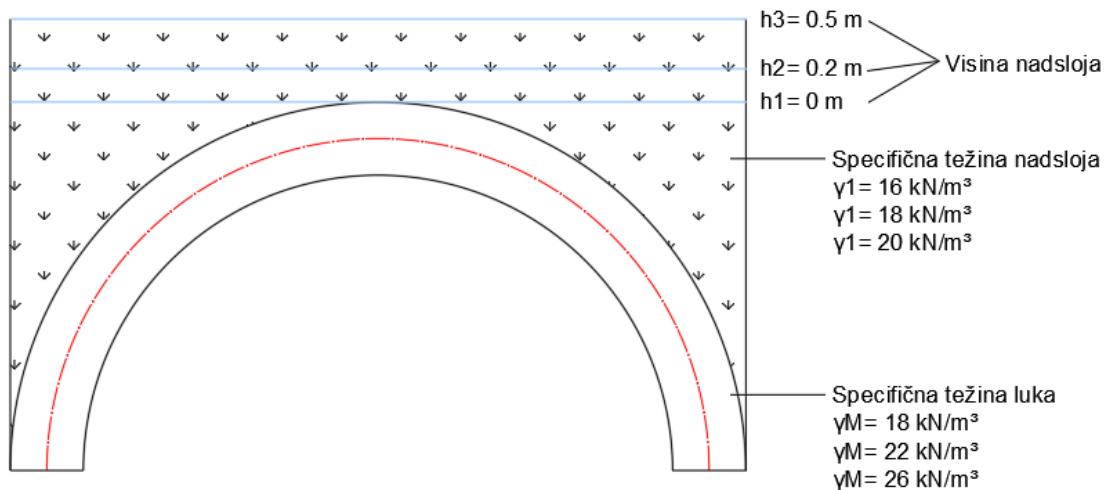
Slika 11: Geometrija polukružnog i segmentnog luka

Ukoliko je debljina luka  $t$  manja od minimalne dopuštene, dolazi do gubitka stabilnosti uslijed opterećenja vlastitom težinom. Ovaj problem određivanja minimalne debljine za nošenje vlastite težine naziva se *Couplet-Heymanov problem*. [21]

Preporučene granične vrijednosti omjera debljine luka i njegovog radijusa su prema [5] jednake  $0.11 < t/R < 0.33$ . Prilikom modeliranja polukružnog luka debljina  $t$  određena je iz

omjera  $t/R=0.2$ . S druge strane, debljina segmentnog luka  $t$  određena je iz omjera  $t/R=0.05$ , a donja granična vrijednost prema [22] iznosi  $0.0228$ .

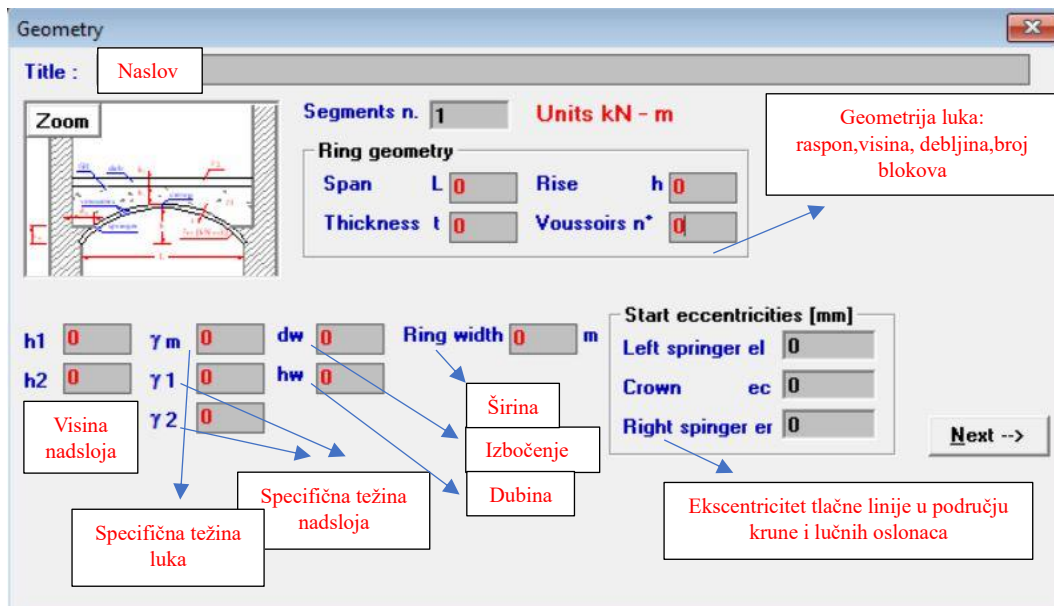
U radu je analiziran utjecaj polukružnog (kut luka  $180^\circ$ ) i segmentnog (kut luka  $120^\circ$ ) luka s 5, 11, 17, 23, 29, 35, 41 i 51 blokom na položaj i veličinu kritične sile koja uzrokuje gubitak stabilnosti luka. Osim toga, istražen je i utjecaj specifične težine luka, utjecaj visine nadsloja te njegova specifična težina na stabilnost luka. Prikaz luka s oznakama i vrijednostima istih dan je na slici 12.



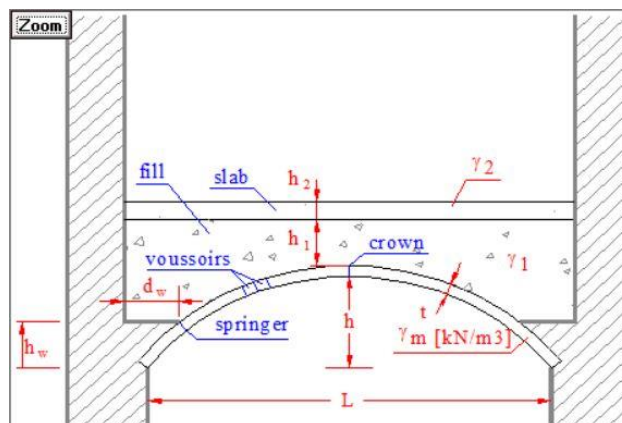
Slika 12: Skica luka s iskazanim vrijednostima visina nadslojeva, specifičnih težina nadslojeva te specifičnih težina luka koje su korištene u proračunu u programu Arco

Program *Arco* daje mogućnost kombiniranja svih veličina prikazanih na slici 12 na luku zadane geometrije. U nastavku je dan kratki pregled *software-a* te koraci pri zadavanju modela i opterećenja.

Na samom početku potrebno je unijeti geometriju luka (slika 13). Položaj i oznake veličina dani su i slikovno, a uvećani prikaz nalazi se na slici 14.



Slika 13: Definiranje geometrije luka u programu Arco



Slika 14: Položaj i oznake geometrijskih veličina u programu Arco

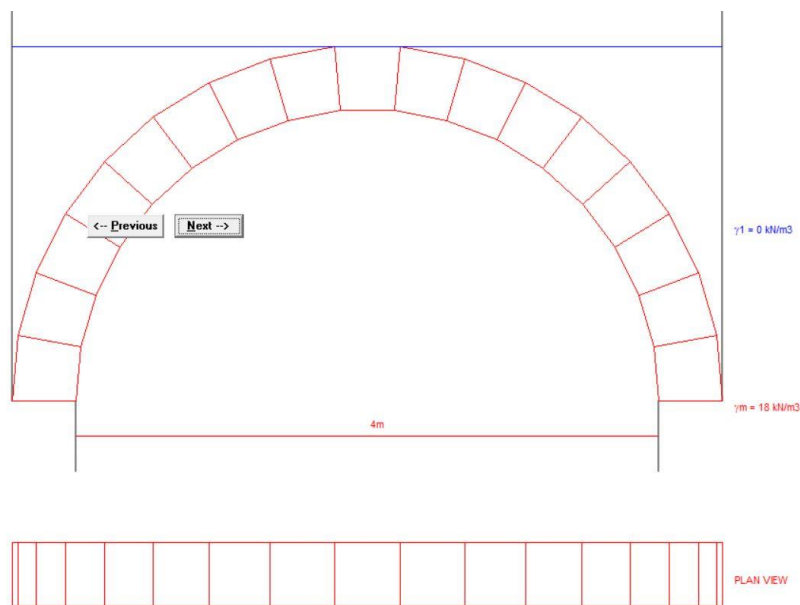
Raspon luka definira se uz pomoć dviju veličina:  $L$  i  $t$ .  $L$  predstavlja udaljenost između peta luka, a  $t$  debljinu luka. Na taj način raspon luka jednak je zbroju  $L+t$ . Također, i visina luka se definira uz pomoć dviju veličina:  $h$  i  $t$ .  $H$  predstavlja visinu do krune luka, te se na nju dodaje još polovica debljine luka  $t/2$  kako bi se dobila ukupna visina do osi luka  $h+t/2$ . Uz geometriju luka unosa se i broj blokova  $n$  od kojih se luk sastoji.

Nadalje, u programu je iznad luka moguće postaviti nadslojeve visina  $h_1$  i  $h_2$  specifičnih težina  $\gamma_1$  i  $\gamma_2$ , dok  $\gamma_m$  predstavlja specifičnu težinu samog luka. Ukoliko se luk nalazi između dva čvrsta oslonca moguće je zadati duljinu njihovog izbočenja prema središtu luka  $dw$  te dubinu koja seže do pete luka  $hw$ . Oznaka *ring width* odnosi se na širinu luka, mjerenu okomito na njegovu ravninu.

Na samom kraju, u program je moguće unijeti vrijednosti ekscentriciteta tlačne linije na području lučnog oslonca ili krune luka.

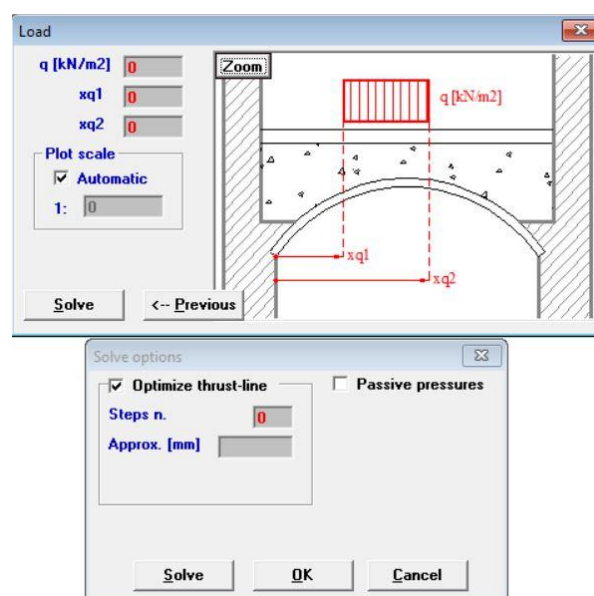
Mjerne jedinice kojima se program koristi su iz međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI).

Ukoliko je unos geometrije točan i potpun, pritiskom na naredbu *Next* pojavljuje se model luka s vrijednostima osnovnih veličina, primjer je prikazan na slici 15.



Slika 15: Model luka u programu Arco

Nakon modeliranja luka za proračun, u programu je potrebno zadati opterećenje te koristiti logaritam optimizacije tlačne linije kako bi se dobili što precizniji rezultati (slika 16).



Slika 16: Prikaz zadavanja opterećenja i optimizacije tlačne linije u programu Arco

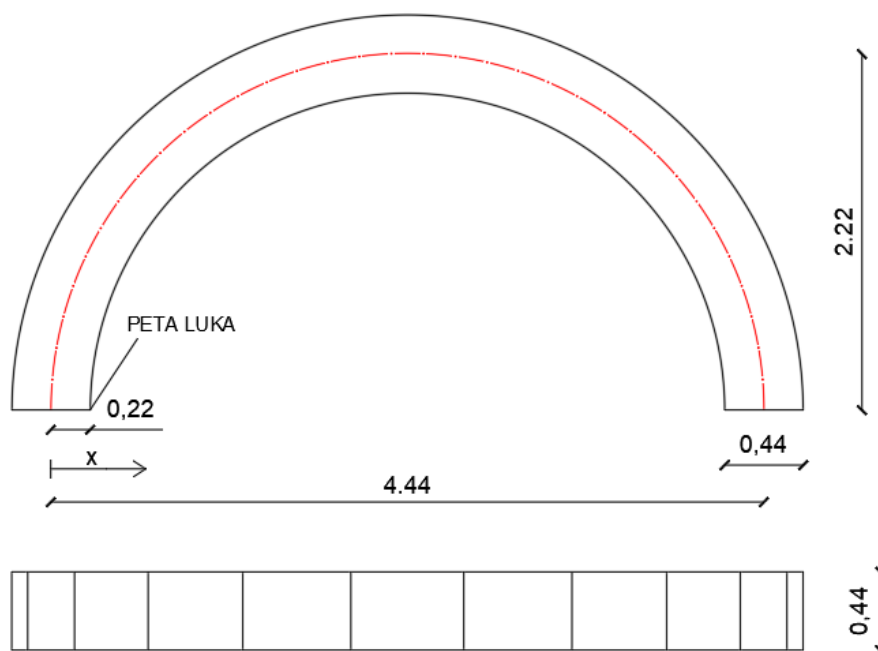
Opterećenje  $q$  se zadaje kao kontinuirano između točaka  $xq1$  i  $xq2$  unutar raspona luka. No ukoliko se radi o uskom području istraživanja između točaka, opterećenje se može interpretirati kao djelovanje koncentrirane sile. Njegovim povećanjem i pomicanjem duž raspona luka, određuje se položaj i veličina kritične sile koja djeluje na luk.

Za svaki istraženi položaj zabilježena je najveća vrijednost opterećenja (koncentrirane sile) pri kojoj je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dani tablično unutar poglavlja 2, 3 i 4, ovisno o geometriji luka. Dan je i grafički prikaz istih u ovisnosti o broju blokova luka. U analizi rezultata definirani su ključni parametri o kojima ovisi veličina kritične sile u analiziranim lukovima.

## 2. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA POLUKRUŽNOM LUKU RASPONA $L=4.44$ m

U ovom poglavlju prikazana je analiza polukružnog luka raspona  $L$  u iznosu od 4.44 m. Polumjer središnje osi luka  $R$  iznosi 2.22 m, a iz odnosa  $t/R=0.2$  proizlazi da je debljina luka  $t$  jednaka 0.44 m. Širina luka, mjerena okomito na njegovu ravninu, iznosi 0.44 m. Geometrijski prikaz opisanog luka dan je na slici 17.

Osim geometrijskih karakteristika, u programu se zadaje opterećenje (koncentrirana sila) na svakih 0.2 m udaljenosti od pete luka. Položaj sile  $x$  uključuje udaljenost između osi i pete luka u iznosu  $t/2$  odnosno 0.22 m (slika 17). Zbog simetričnosti luka, dovoljno je provesti analizu samo jedne polovice luka što ukupno daje 11 položaja opterećenja.

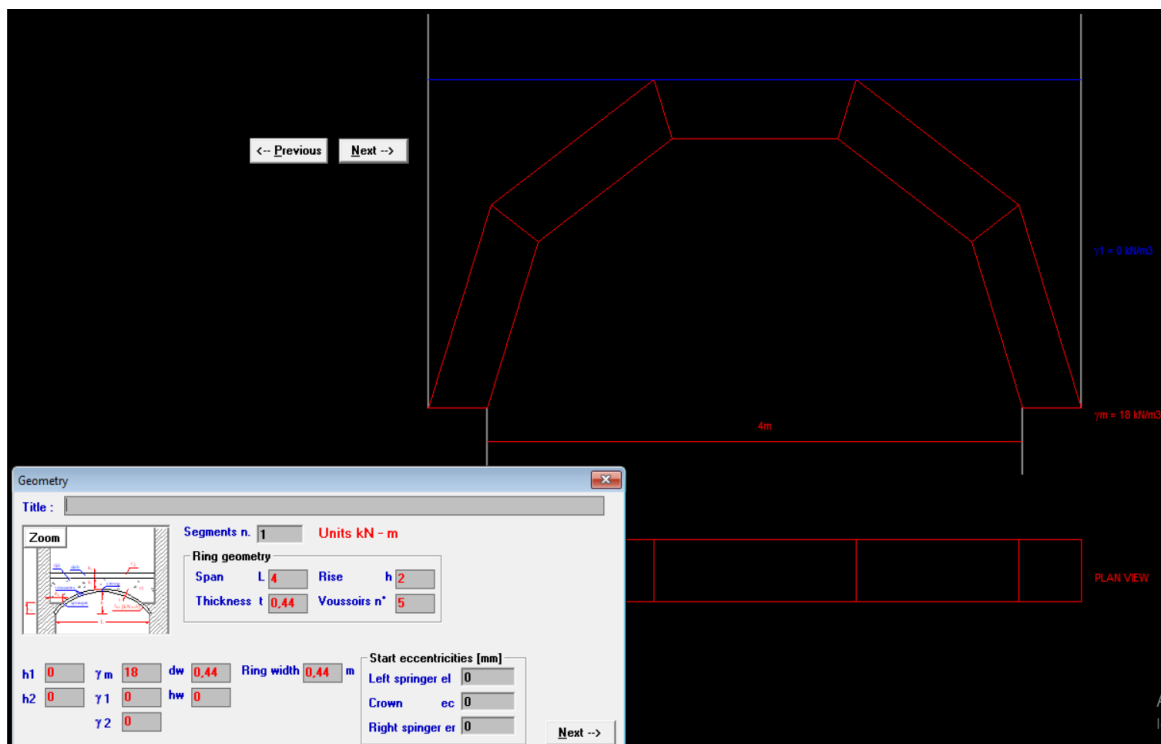


Slika 17: Presjek i tlocrt polukružnog luka raspona  $L= 4.44$  m

U potpoglavljima 2.1.-2.3. provedena je analiza luka s različitim brojem blokova bez nadsloja, mjenjajući specifičnu težinu luka. Unutar potpoglavlja 2.4.-2.9. analiziran je luk s različitim brojem blokova i s nadslojem visine 0 m, uz modificiranje specifične težine nadsloja i luka. Sukladno tome, u potpoglavljima 2.10.-2.15 prikazani su rezultati analize luka s nadslojem visine 0.2 m a u poglavljima 2.16.-2.21. luka s nadslojem visine 0.5 m.

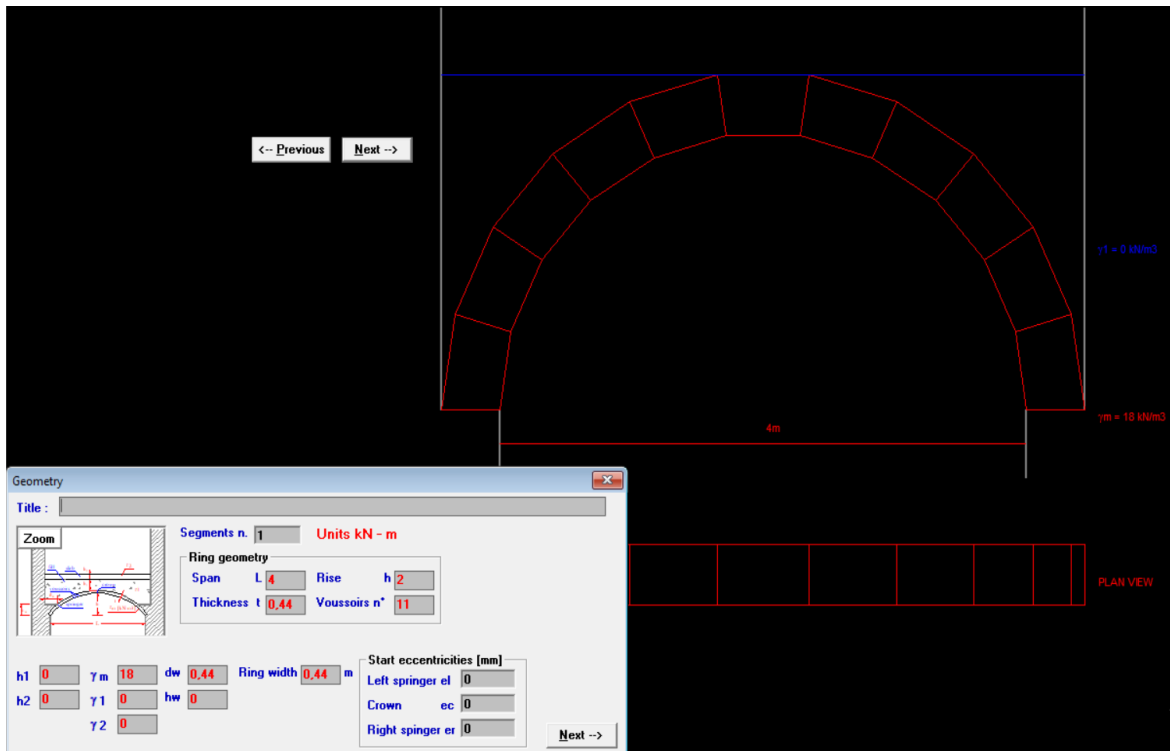
## 2.1. Luk specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja. Na slikama 18-25 prikazana je geometrija spomenutog luka za 5, 11, 17, 23, 29, 35, 41 i 51 broj blokova luka. Pored geometrije priloženi su i ulazni podaci preuzeti iz programa *Arco*.

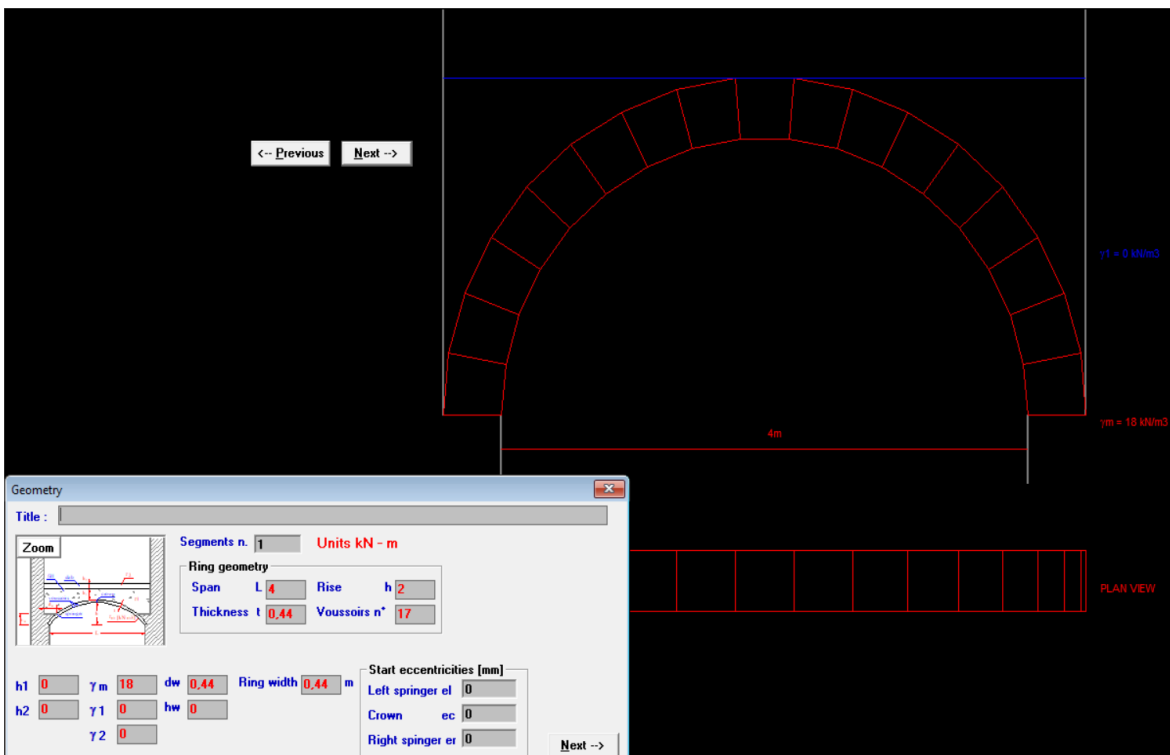


Slika 18: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 5 blokova i ulaznim podacima u programu *Arco*

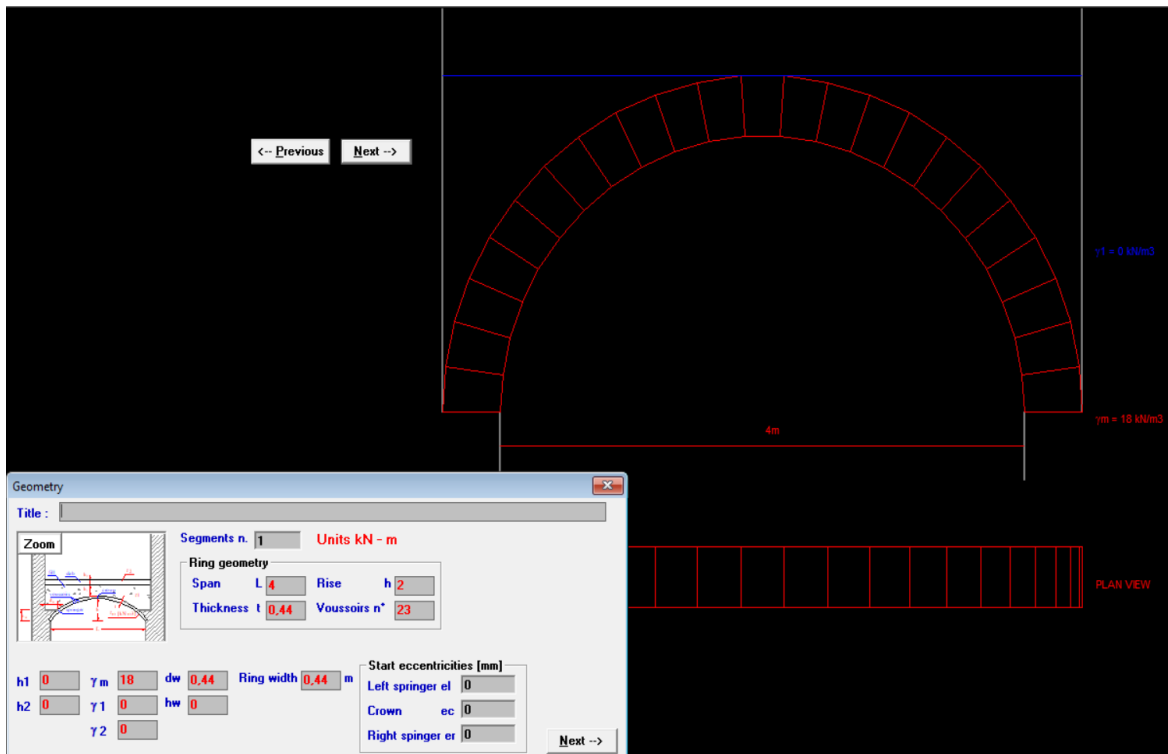




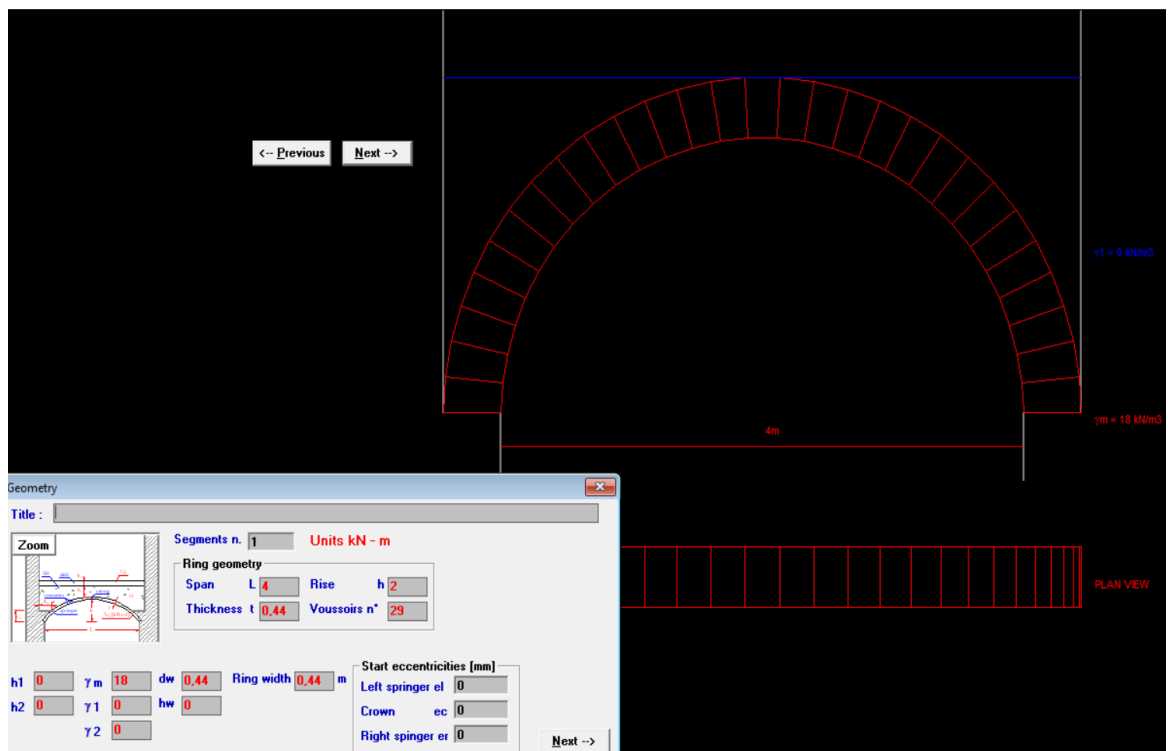
Slika 19: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 11 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



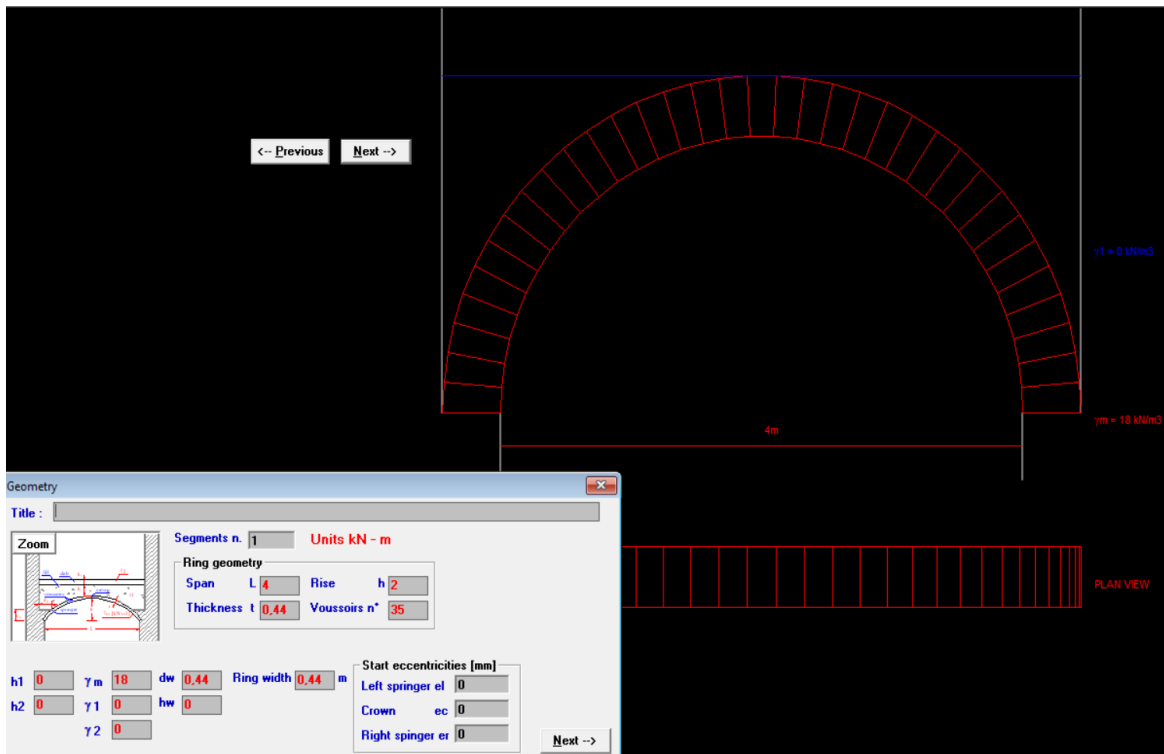
Slika 20: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m sa 17 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



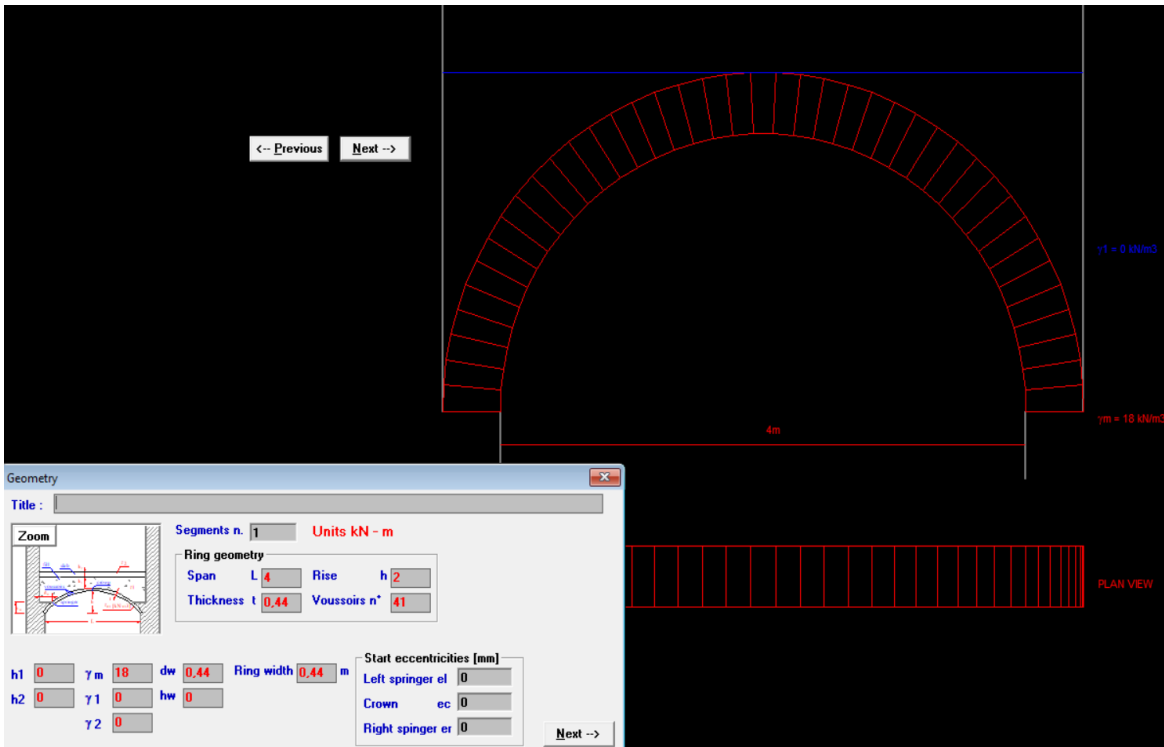
Slika 21: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 23 bloka i ulaznim podacima u programu Arco



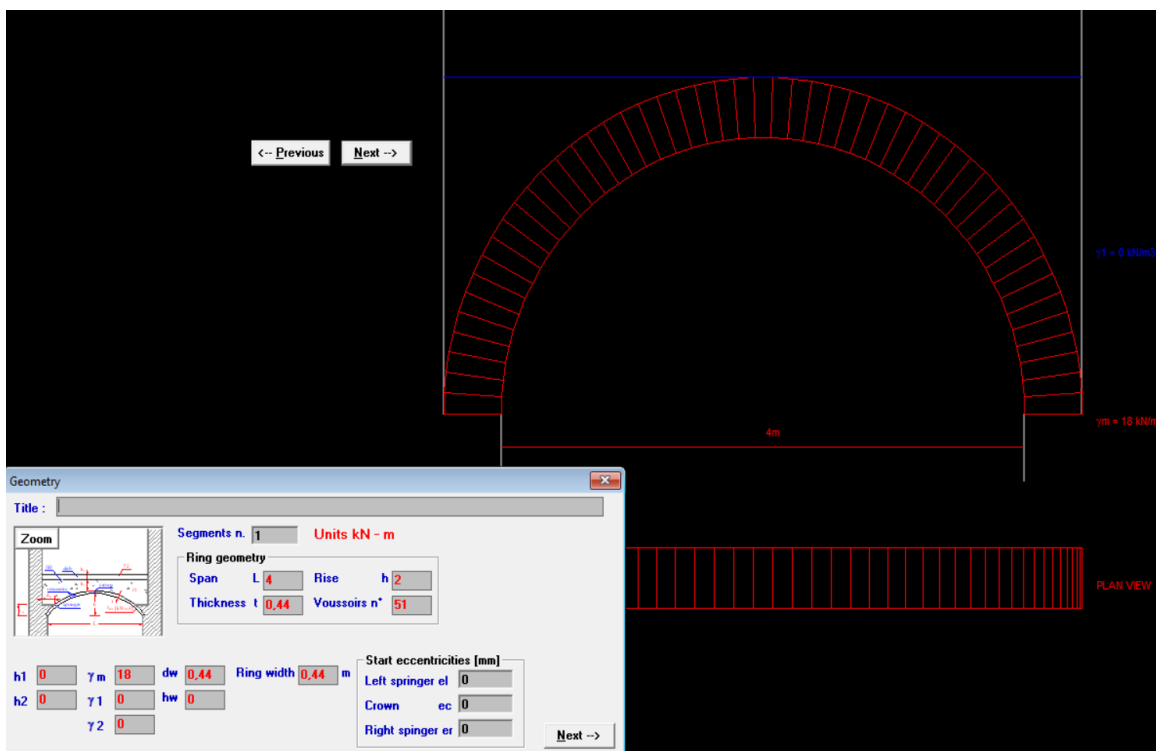
Slika 22: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 29 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



Slika 23: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 35 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



Slika 24: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 41 blokom i ulaznim podacima u programu Arco



Slika 25: Geometrija polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m s 51 blokom i ulaznim podacima u programu Arco

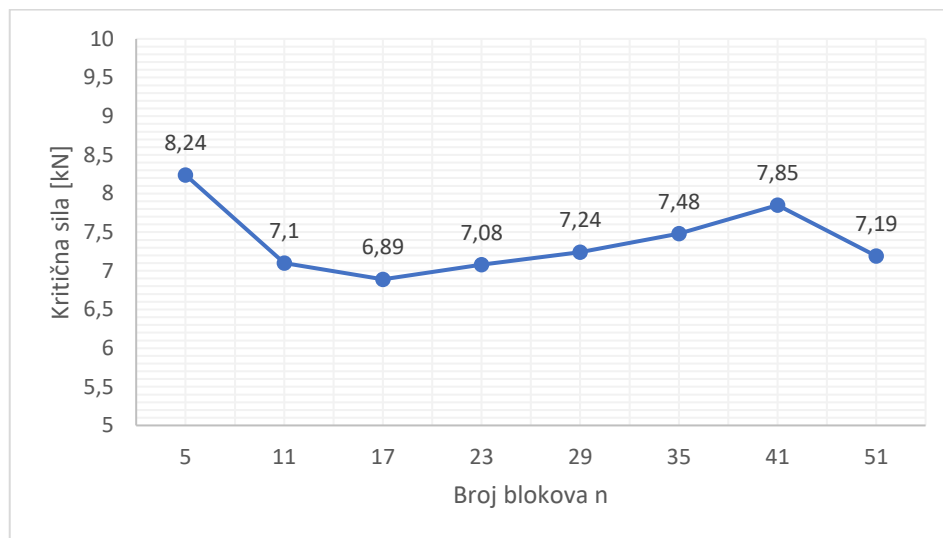
U tablici 1 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile s obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 1: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

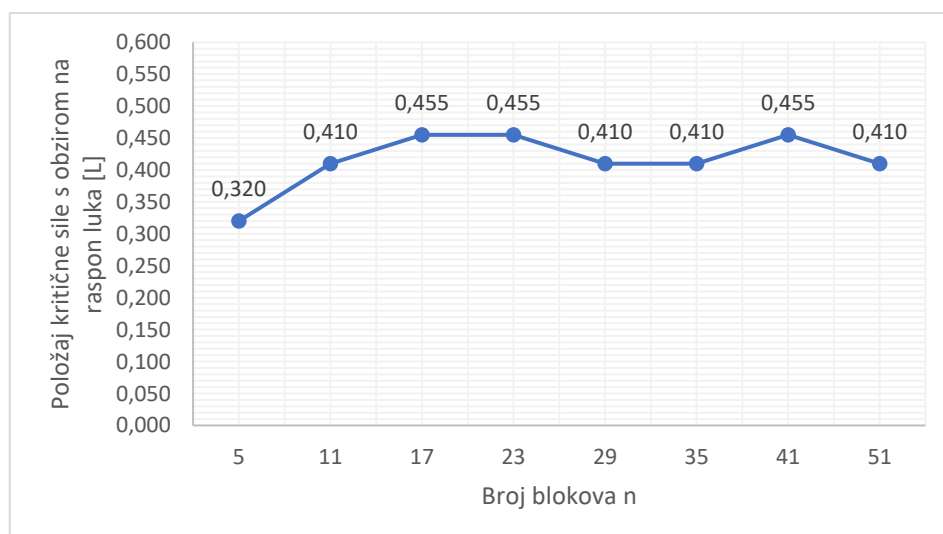
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	280	570	280	227	212	198	223	192
0.095 L	42	66,6	52,5	43,4	48,8	46,3	46,1	46	42,6
0.140 L	62	31,9	22,2	24,2	24,4	22,6	23,2	23,8	23
0.185 L	82	24,1	17,1	17,1	15,2	14,2	14,6	14,7	14,9
0.230 L	102	17,8	11,5	11,8	11,4	11,5	11,4	11,3	11,6
0.275 L	122	11,8	9,53	11,2	10	9,45	9,32	8,92	9,13
0.320 L	142	8,24	10,7	8,8	8,18	8,64	8	8,23	8,21
0.365 L	162	10,4	8,36	8,43	8,02	8	7,56	8,06	7,72
0.410 L	182	14,2	7,1	7,73	8,44	7,24	7,48	7,97	7,19
0.455 L	202	22,6	9,28	6,89	7,08	7,49	7,62	7,85	7,84
0.500 L	222	93,8	18	12,2	10,5	9,71	9,41	9,11	8,86

Na slici 26 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 27 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka L i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 8.24 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 6.89 kN dobivena je za luk sa 17 blokova na položaju 202 cm od osi luka, odnosno 0.455 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 19.6%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 11, 29, 35 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17, 23 i 41 blokom na 0.455 L.



Slika 26: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 27: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

## 2.2. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

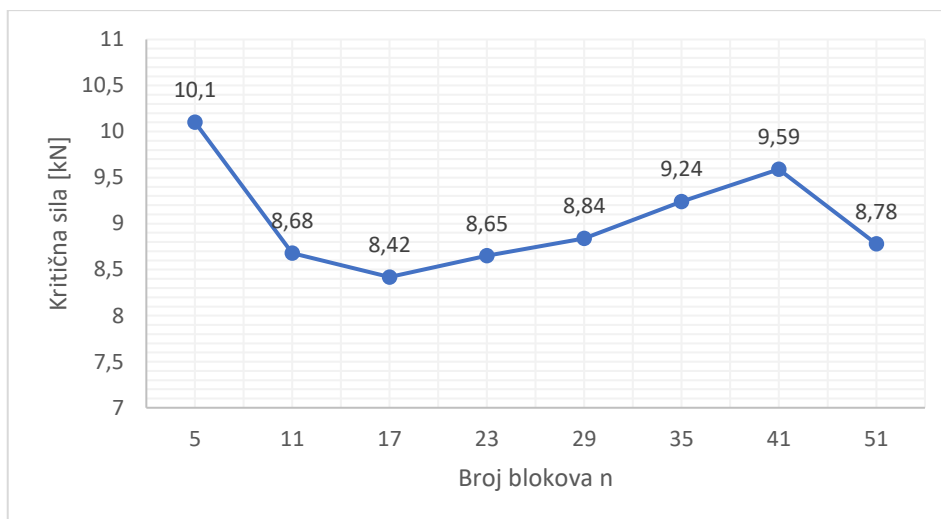
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja. U tablici 2 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 2: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> i bez nadsloja

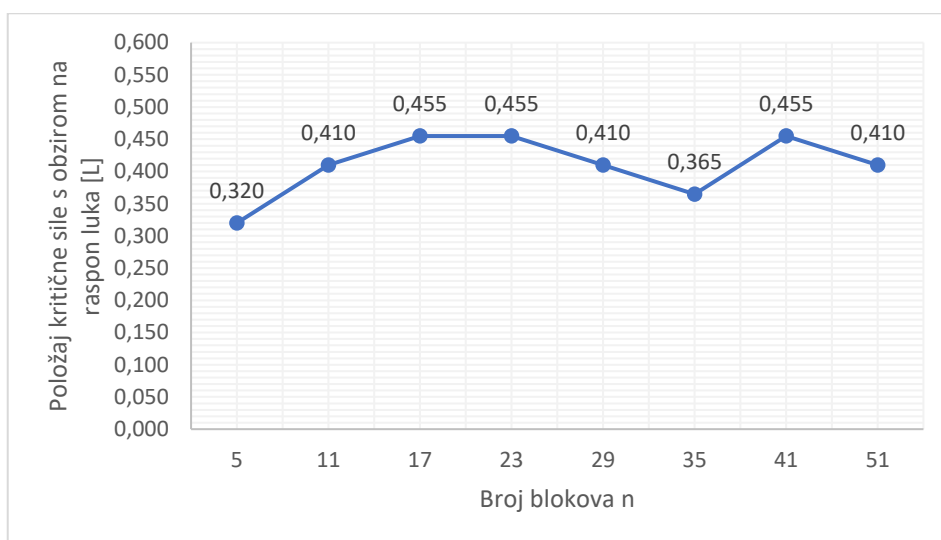
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	310	697	304	264	255	242	246	234
0.095 L	42	81,4	67,2	53	53,8	54,9	56,4	56,3	52
0.140 L	62	38,9	27,1	29,6	29,8	28,8	28,4	29,1	28,1
0.185 L	82	29,4	20,9	20,9	18,6	17,4	17,9	18	18,2
0.230 L	102	21,7	14	14,6	14,3	14	13,9	13,8	14,2
0.275 L	122	14,4	11,6	13,7	12,2	11,5	11,4	10,9	11,2
0.320 L	142	10,1	13	10,8	9,85	10,6	9,86	10,1	9,88
0.365 L	162	12,3	10,2	10,3	9,74	9,78	9,24	9,8	9,43
0.410 L	182	17,3	8,68	9,44	10,2	8,84	9,47	9,74	8,78
0.455 L	202	27,6	11,3	8,42	8,65	9,16	9,31	9,59	9,58
0.500 L	222	115	22,1	15	12,8	12,8	11,5	11,1	10,8

Na slici 28 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 29 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 10.1 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 8.42 kN dobivena je za luk sa 17 blokova na položaju 202 cm od osi luka, odnosno 0.455 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 12.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 blokova na 0.365 L, za luk s 11, 29, i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17, 23 i 41 blokom na 0.455 L.



Slika 28: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 29: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

### 2.3. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja. U tablici 3 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

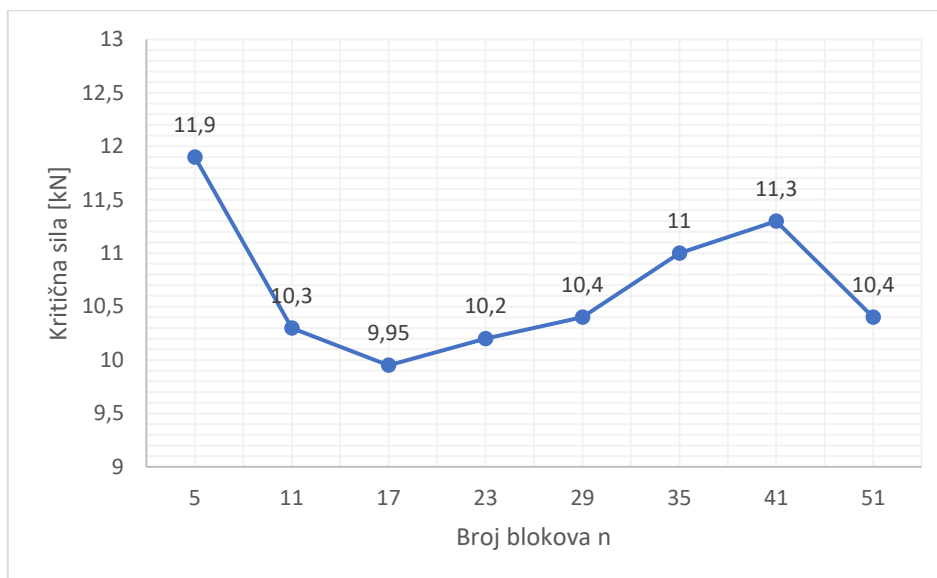
Tablica 3: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> i bez nadsloja

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	404	260	402	402	306	251	290	264
0.095 L	42	96,2	79,4	62,6	72,7	68,5	68,1	68,2	61,5
0.140 L	62	46	30,6	35,3	35,2	34	34,2	34,8	33,2
0.185 L	82	34,8	24,9	24,9	22,6	20,5	21,1	21,3	21,5
0.230 L	102	25,7	16,6	17,5	16,5	16,6	16,4	16,3	17
0.275 L	122	17,1	13,8	16,4	14,5	13,6	13,5	12,9	13,2
0.320 L	142	11,9	15,4	12,8	11,8	12,5	11,5	11,9	11,7
0.365 L	162	15	12,1	12,2	11,6	11,8	11,2	11,6	11,1
0.410 L	182	20,5	10,3	11,2	12,2	10,4	11,2	11,5	10,4
0.455 L	202	32,6	13,4	9,95	10,2	10,8	11	11,3	11,3
0.500 L	222	135	26,1	17,7	15,1	14	13,6	13,2	12,8

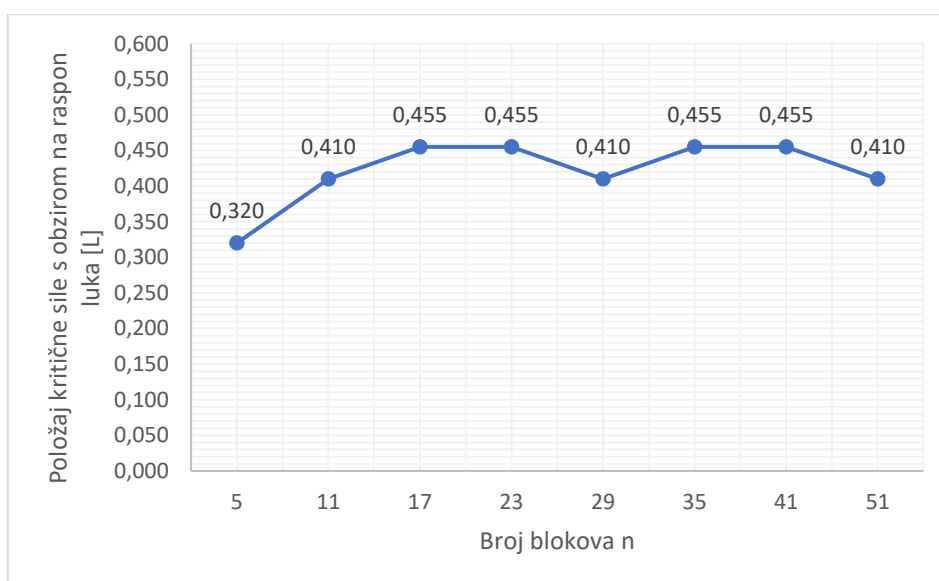
Na slici 30 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 31 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 11.9 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 9.95 kN dobivena je za luk sa 17 blokova na položaju 202 cm od osi luka, odnosno 0.455 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 19.6%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17, 23, 35 i 41 blokom na 0.455 L.





Slika 30: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 31: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

## 2.4. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

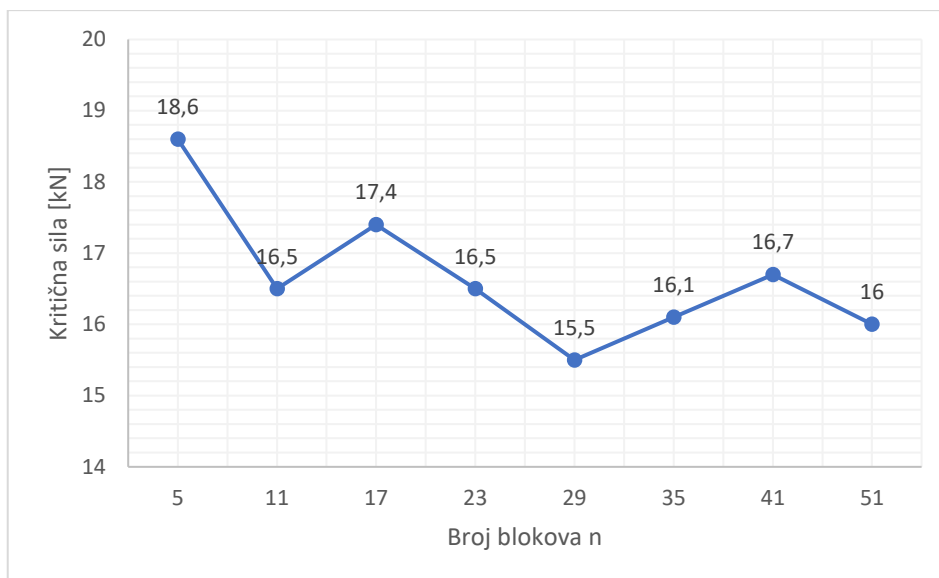
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 4 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 4: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

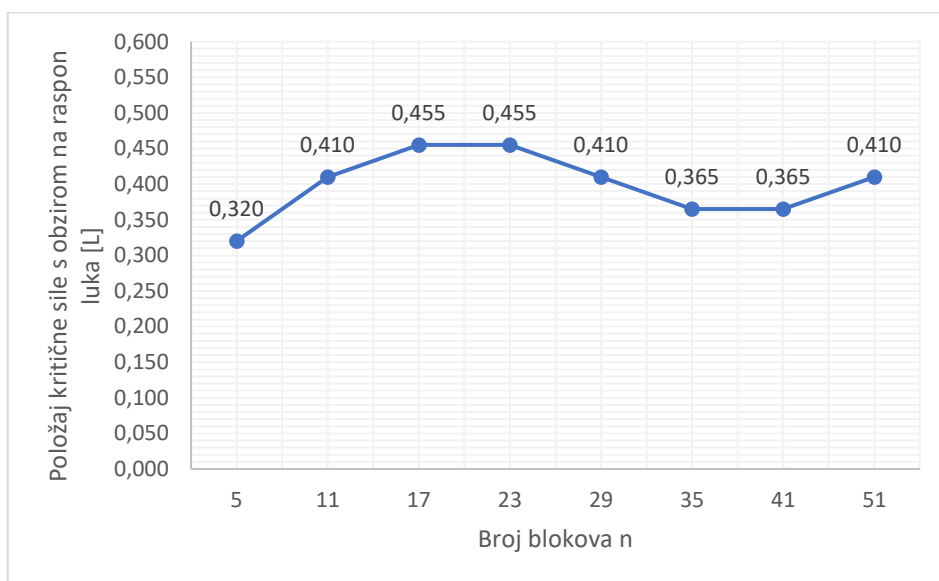
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	463	883	448	379	351	342	352	328
0.095 L	42	148	94,1	82,4	81,2	82	85,1	82,9	67,1
0.140 L	62	75,1	39,6	43,4	43	40,3	41,5	41,7	42
0.185 L	82	49,5	33,3	32,4	28,3	27,2	26,3	25,7	25,4
0.230 L	102	35,8	22,9	22,8	22,1	22	21,7	21,5	22
0.275 L	122	23,5	18,7	22,2	20,2	18,5	18,1	17,7	18
0.320 L	142	18,6	24,1	17,9	16,6	17,9	16,5	16,7	16,3
0.365 L	162	24,1	19,4	17,5	16,9	17	16,1	16,7	16,4
0.410 L	182	34,1	16,5	19	18	15,5	17	17,1	16
0.455 L	202	54,2	20,6	17,4	16,5	17,3	17,8	18	16,7
0.500 L	222	208	37,5	27,1	23,3	22	20,9	20,2	19,6

Na slici 32 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 33 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 18.6 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 15.5 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 20%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 32: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 33: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.5. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

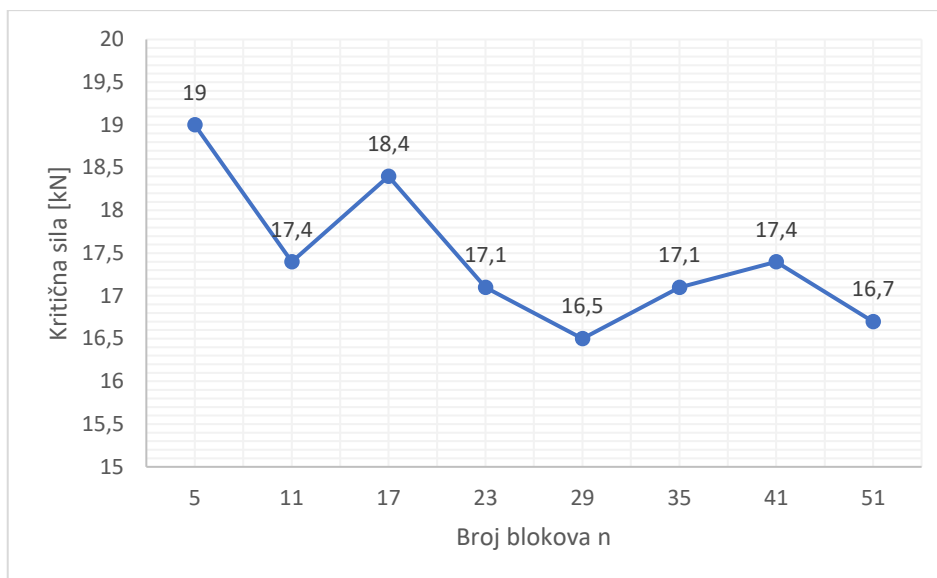
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 5 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 5: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

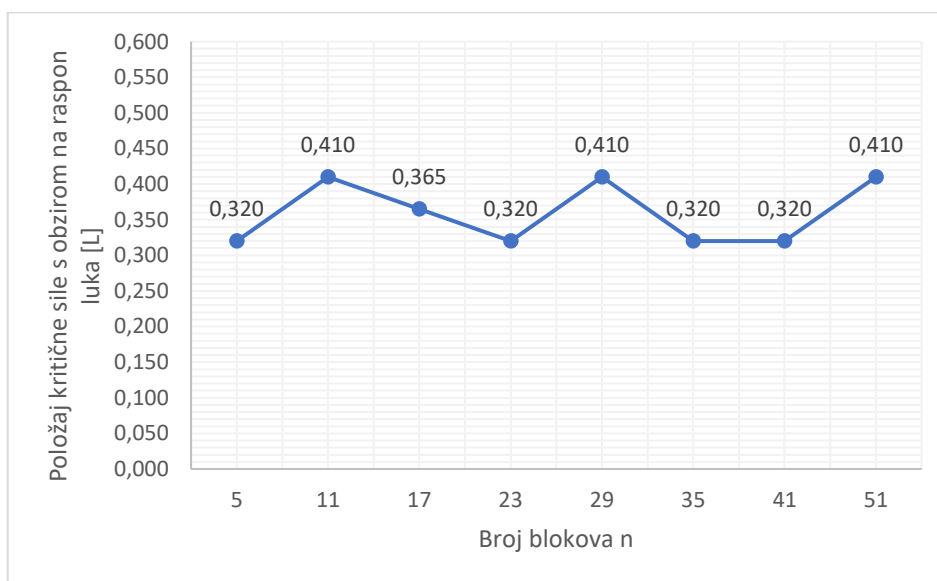
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	462	660	465	392	366	348	380	341
0.095 L	42	151	97,2	84,3	83,7	82,1	87,6	83,2	69
0.140 L	62	76,6	39,9	43,8	43,9	41,4	42,8	43,5	40,6
0.185 L	82	51,5	34,7	33,6	28,9	29	28,7	29,6	29,1
0.230 L	102	37,2	24,2	23,8	22,7	22,7	22,3	22,2	22,9
0.275 L	122	23,9	19,5	22,9	21	20	18,7	18,4	18,3
0.320 L	142	19	25,9	18,7	17,1	17,7	17,1	17,4	17,2
0.365 L	162	25,5	20,5	18,4	17,9	17,8	17,1	17,5	17,2
0.410 L	182	35,9	17,4	20,1	19,4	16,5	17,6	18,4	16,7
0.455 L	202	57,3	22,1	18,5	17,5	18,3	18,9	19,1	17,5
0.500 L	222	220	39,8	28,6	28,6	23,1	22	21,5	20,7

Na slici 34 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 35 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 19 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 16.5 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 15.2%.

Kritični položaj sile za luk s 5, 23, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 17 blokova na 0.365 L, a za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L.



Slika 34: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 35: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.6. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

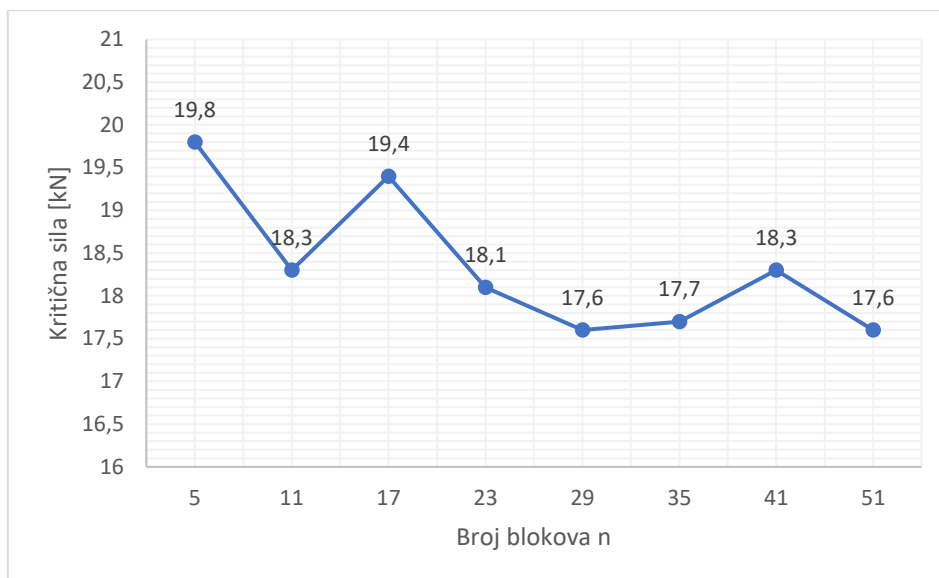
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 6 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 6: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

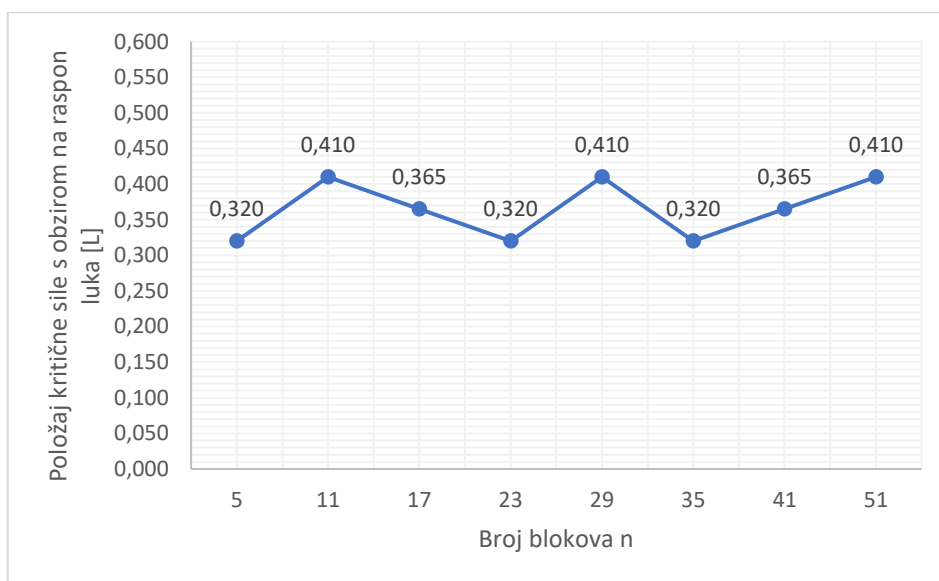
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	488	930	479	402	375	366	352	351
0.095 L	42	154	101	87,1	84,9	84	93	85	82,2
0.140 L	62	78,1	41,7	46,9	47,3	44,3	44,2	44,7	41,8
0.185 L	82	53,5	36,3	35,2	29,9	29,5	30,2	29,8	29,6
0.230 L	102	38,7	26,2	24,1	23,8	23,7	23,5	23,2	23,8
0.275 L	122	24,4	20,2	23,8	21,5	20,6	19,2	19,5	19,7
0.320 L	142	19,8	27,3	19,5	18,1	18,9	17,7	18,4	17,9
0.365 L	162	26,9	21,6	19,4	19	18,7	18,2	18,3	18,1
0.410 L	182	37,7	18,3	21,1	20	17,6	18,9	18,8	17,6
0.455 L	202	60,5	23,6	19,5	18,5	19,3	20	20,2	18,5
0.500 L	222	231	41,7	30,1	30,1	24,2	23,1	22,7	21,9

Na slici 36 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 37 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 19.8 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 17.6 kN dobivena je za luk s 29 i 51 blokom na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 12.5%.

Kritični položaj sile za luk s 5, 23, 35 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 17 i 41 blokom na 0.365 L, a za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L.



Slika 36: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 37: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

## 2.7. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 7 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

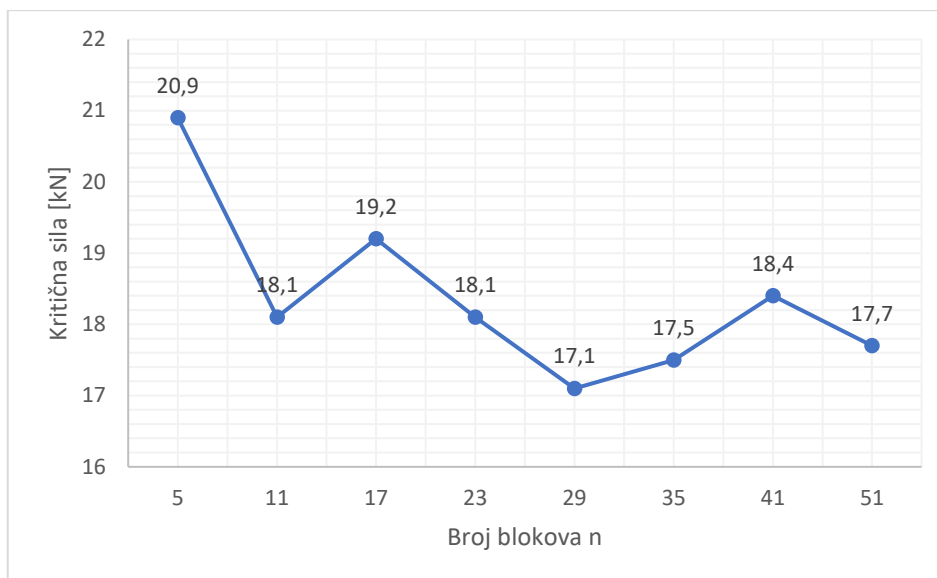
Tablica 7: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	525	660	510	396	396	383	417	371
0.095 L	42	169	105	94,7	79	91,7	92,3	94,7	76,6
0.140 L	62	84,5	46,6	49	49,3	45,5	47,6	46,9	44,9
0.185 L	82	55,4	38,2	36	31,8	31,4	31,5	29,9	31,5
0.230 L	102	41,1	25,5	25,2	24,4	24,2	24,3	24	25,1
0.275 L	122	27,1	21	24,2	22,4	21,1	20,6	19,7	20,2
0.320 L	142	20,9	26,4	20	18,3	19,9	18,6	18,6	18,2
0.365 L	162	25,8	21,4	19,3	18,8	18,6	17,5	18,4	18,5
0.410 L	182	37,7	18,1	21	19,5	17,1	18,7	18,8	17,7
0.455 L	202	59,4	22,6	19,2	18,1	19	19,5	19,8	18,5
0.500 L	222	229	40,8	29,8	25,7	24,3	23	22,4	21,7

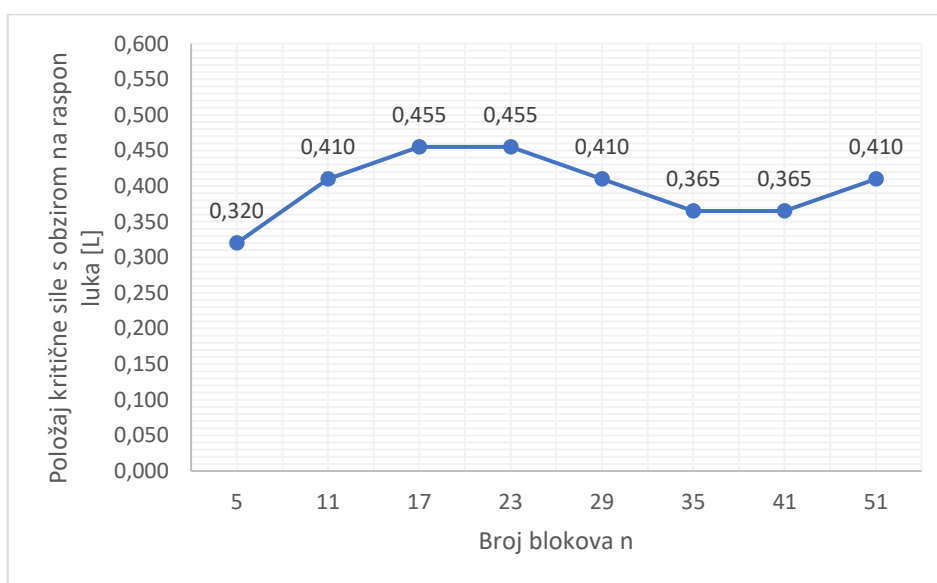
Na slici 38 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 39 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 20.9 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 17.1 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 22.2%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.





Slika 38: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 39: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.8. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

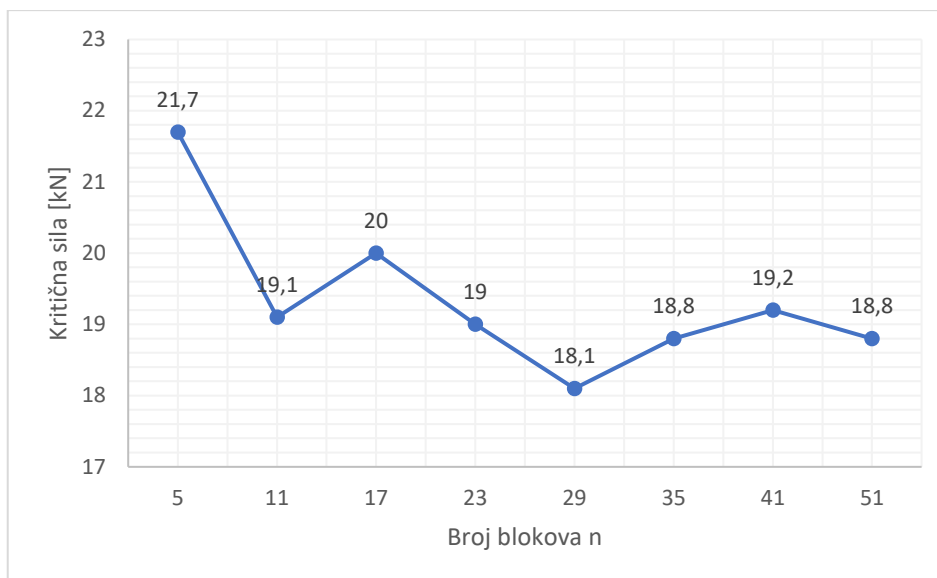
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 8 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 8: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

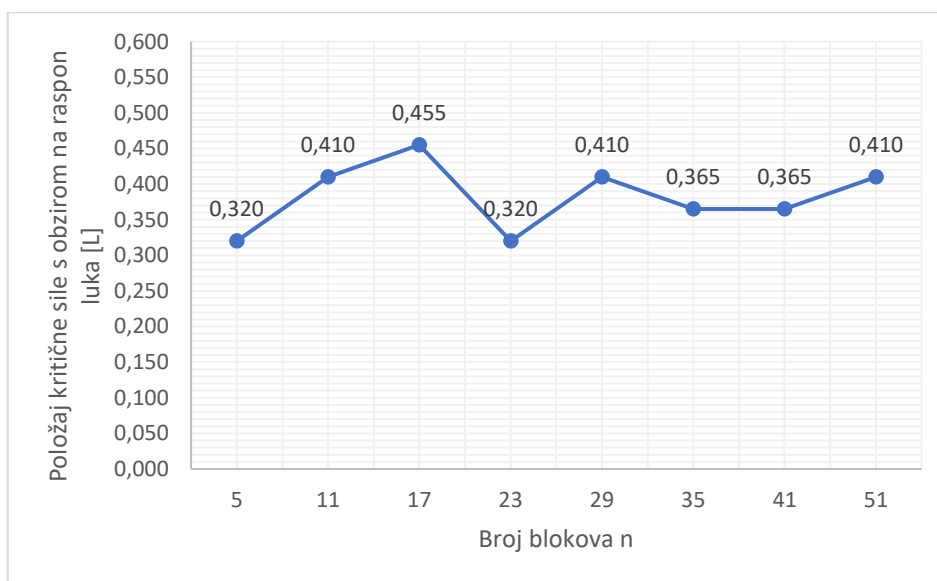
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	540	1032	527	440	396	395	391	382
0.095 L	42	173	113	96,5	92,1	93,9	99,6	96,9	78,5
0.140 L	62	87,6	47,5	50,9	51,2	46,6	48,5	49,5	49
0.185 L	82	57,5	38,7	37,9	32,6	31,9	30	30,1	29,8
0.230 L	102	42	26,5	26,5	25,1	24,9	25,3	25,1	25,8
0.275 L	122	27,5	21,9	25,5	23,1	21,6	21,2	20,8	21,2
0.320 L	142	21,7	28,3	20,8	19	21	19,2	19,4	18,9
0.365 L	162	28,2	22,5	20,4	19,9	19,7	18,8	19,2	19,3
0.410 L	182	37,1	19,1	22	20,6	18,1	19,2	20,1	18,8
0.455 L	202	62,6	23,8	20	19,1	20	20,5	20,8	19,3
0.500 L	222	241	43,2	31,3	26,9	25,4	24,2	23,4	22,7

Na slici 40 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 41 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 21.7 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 18.1 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 19.9%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 23 bloka nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 blokova na 0.455 L.



Slika 40: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 41: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.9. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

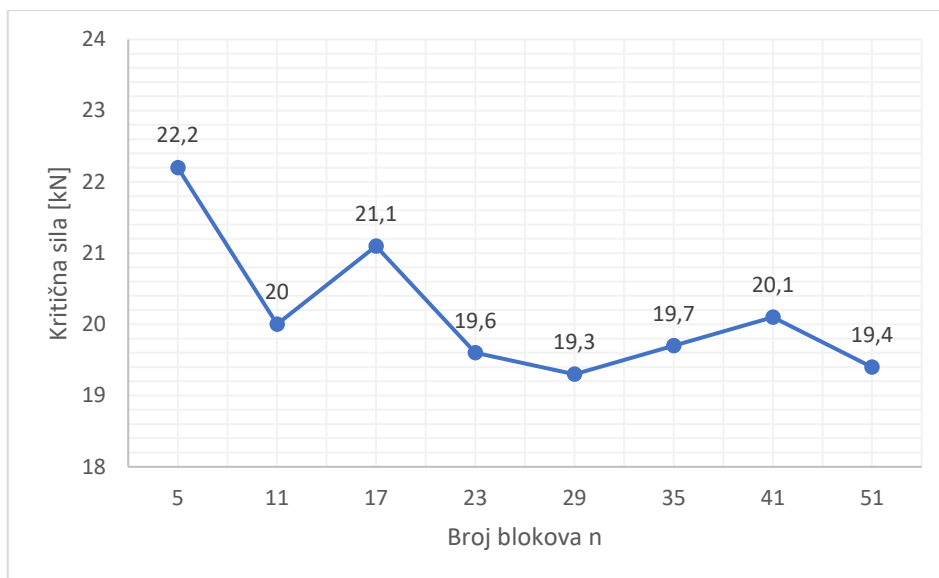
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 9 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 9: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

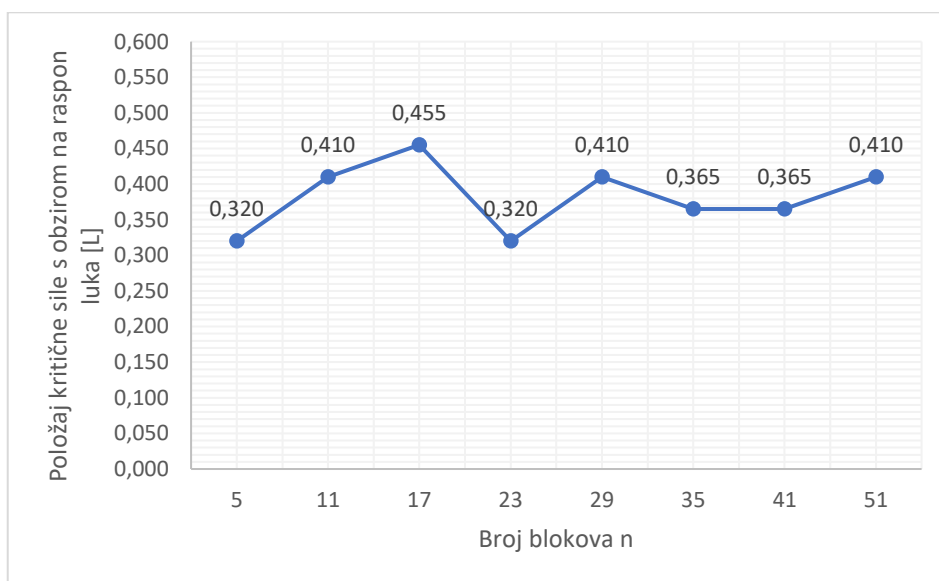
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	555	1047	541	452	421	400	445	396
0.095 L	42	176	115	98,4	96,8	95,6	106	96,9	80,4
0.140 L	62	89,6	46,7	52,7	52,5	48,2	49,8	50,4	50,3
0.185 L	82	59,6	39,8	39,1	33,8	33,1	34	34,1	33,4
0.230 L	102	42,9	27,7	27,5	26	25,9	26	25,8	26,7
0.275 L	122	28	22,6	26,3	24	22,6	22	21,6	21,5
0.320 L	142	22,2	29,4	21,6	19,6	21,3	20,1	20,2	19,6
0.365 L	162	28,7	23,5	21,3	20,2	20,4	19,7	20,1	20,1
0.410 L	182	41,3	20	23	21,9	19,3	20,6	20,6	19,4
0.455 L	202	65,8	25,1	21,1	20,1	21	21,6	21,9	20,2
0.500 L	222	252	45,6	32,8	28,2	26,5	26,5	24,6	23,7

Na slici 42 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 43 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 22.2 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 19.3 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 15.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 23 bloka nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 blokova na 0.455 L.



Slika 42: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 43: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

## 2.10. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

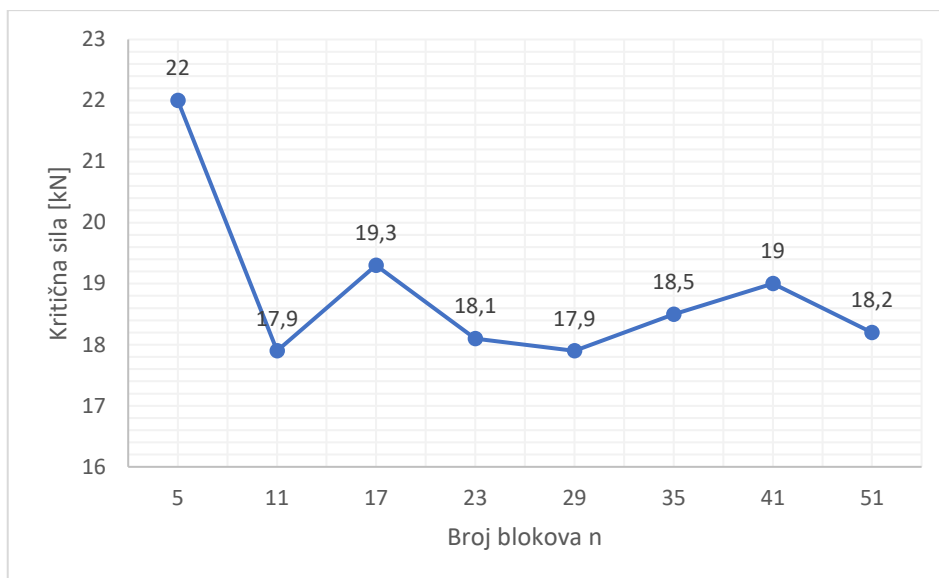
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 10 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 10: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

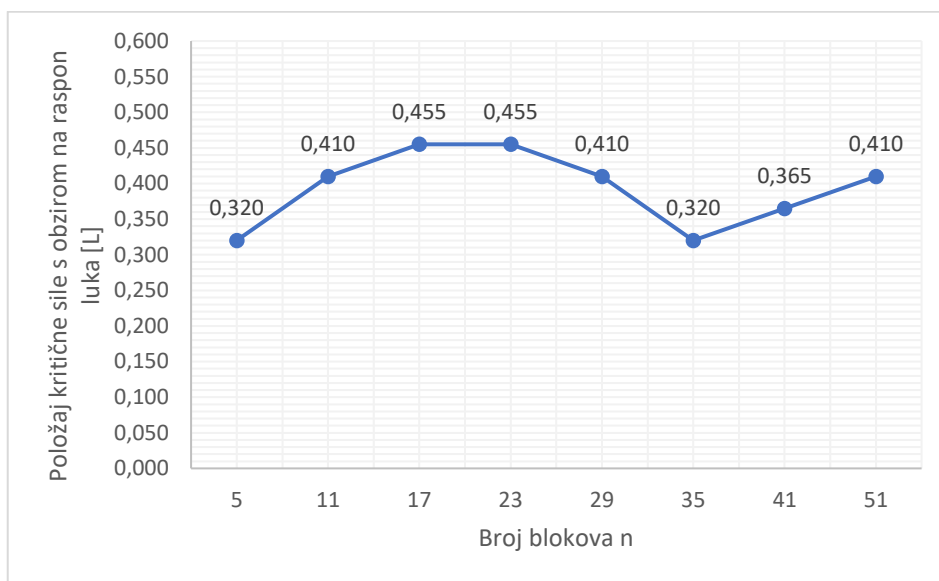
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	573	1100	550	462	438	420	460	400
0.095 L	42	168	110	103	103	98,9	105	99,9	83,8
0.140 L	62	88,7	49,2	52	53,2	49,7	51,4	51,6	49,3
0.185 L	82	56,8	36,6	37,2	33,8	33,2	32,6	32,3	31,5
0.230 L	102	41,8	27,7	25,5	26,1	25,6	25,4	25,3	26,2
0.275 L	122	28,7	21,8	25,4	22,7	22,1	21,3	21,1	21,4
0.320 L	142	22	26,9	20,6	19,5	20,8	18,5	19,6	19,1
0.365 L	162	26,2	21,6	19,6	19,5	19,5	18,7	19	18,7
0.410 L	182	38,8	17,9	21,3	19	17,9	19	19,6	18,2
0.455 L	202	60,2	22,8	19,3	18,1	19,2	19,5	19,9	19,3
0.500 L	222	227	40,7	30,2	26,5	25,3	24	24	22,6

Na slici 44 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 45 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 22 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 17.9 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 22.9%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 35 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 44: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 45: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.11. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 11 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile s obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

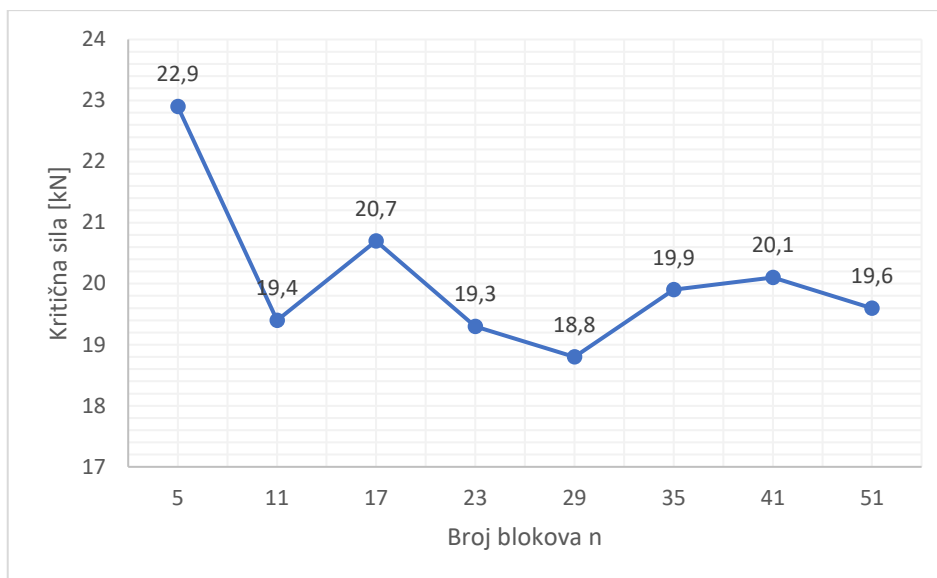
Tablica 11: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	602	1.155	528	497	461	442	462	429
0.095 L	42	175	115	108	105	104	110	100	87,8
0.140 L	62	93,6	51	55,3	55,6	52,8	53,9	54,6	51,7
0.185 L	82	61,1	38,3	39,6	35,9	35,3	34	34	33,2
0.230 L	102	45	28,9	26,9	27,2	27,1	27	26,9	27,7
0.275 L	122	30,6	22,9	26,8	24,8	23,3	22,3	21,9	22,5
0.320 L	142	22,9	28,4	22	20,4	22	20,1	20,7	19,8
0.365 L	162	29	23	20,7	20,8	20,4	19,9	20,1	19,6
0.410 L	182	41,4	19,4	22,6	20,4	18,8	20,5	20,9	19,6
0.455 L	202	64,1	24,3	20,7	19,3	20,4	20,8	21,2	20,5
0.500 L	222	242	42,8	32,1	32,1	26,9	25,5	24,7	24

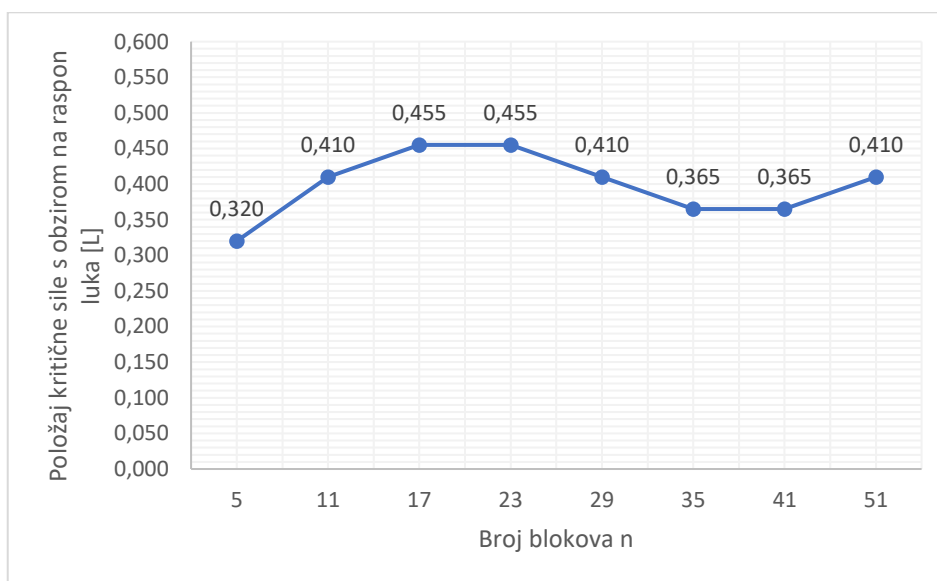
Na slici 46 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 47 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 22.9 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 18.8 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 21.8%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.





Slika 46: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 47: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.12. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

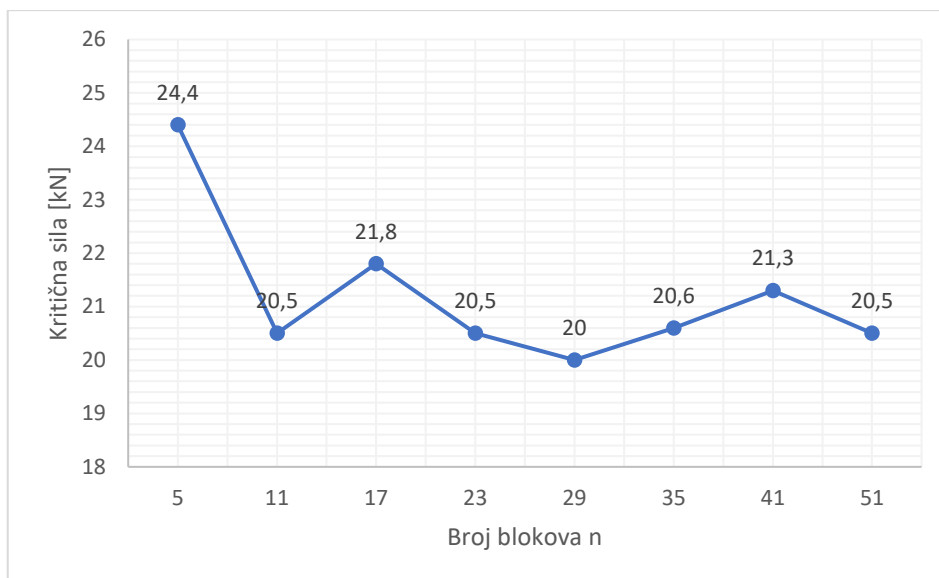
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 12 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile s obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 12: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

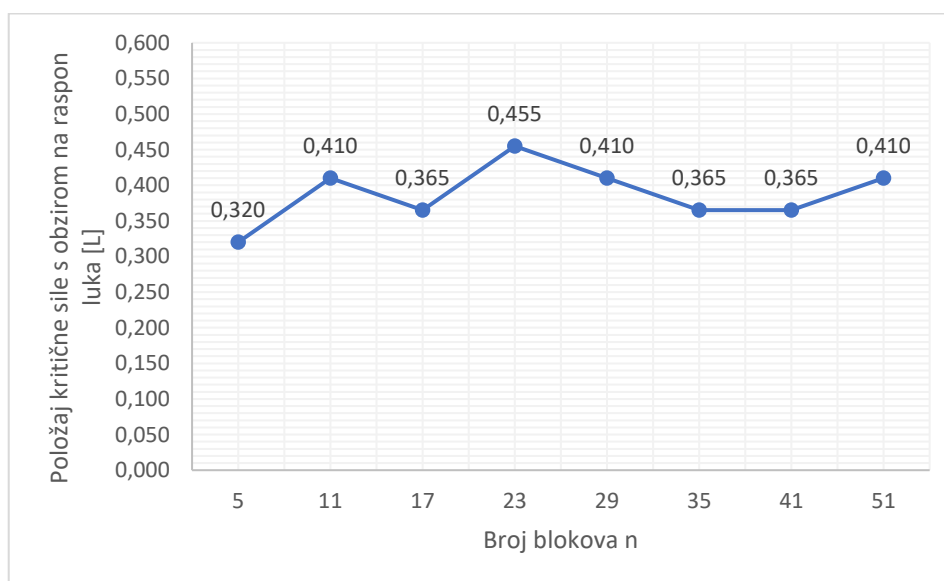
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	532	968	603	518	482	463	505	450
0.095 L	42	181	124	110	112	109	115	108	91,7
0.140 L	62	98,3	54,1	57,8	58,9	55	56,3	57	54,2
0.185 L	82	64,8	39,6	41,7	37,5	34,8	35,4	35,5	34,9
0.230 L	102	47,9	30,3	29	28,7	28,4	28,3	28,4	29,2
0.275 L	122	31,8	24,3	28,2	26,3	24,5	23,7	23,4	23,8
0.320 L	142	24,4	30	22,9	21,4	23,1	21,6	21,7	21,1
0.365 L	162	30,3	24,3	21,8	21,8	21,7	20,6	21,3	20,7
0.410 L	182	43,9	20,5	23,9	22,1	20	21,4	22	20,5
0.455 L	202	68	25,7	21,9	20,5	21,6	22,1	22,5	21,6
0.500 L	222	227	45,5	34,1	34,1	28,4	27	26,2	25,4

Na slici 48 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 49 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 24.4 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 20 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 22.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 17, 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk s 23 bloka na 0.455 L.



Slika 48: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 49: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

### 2.13. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

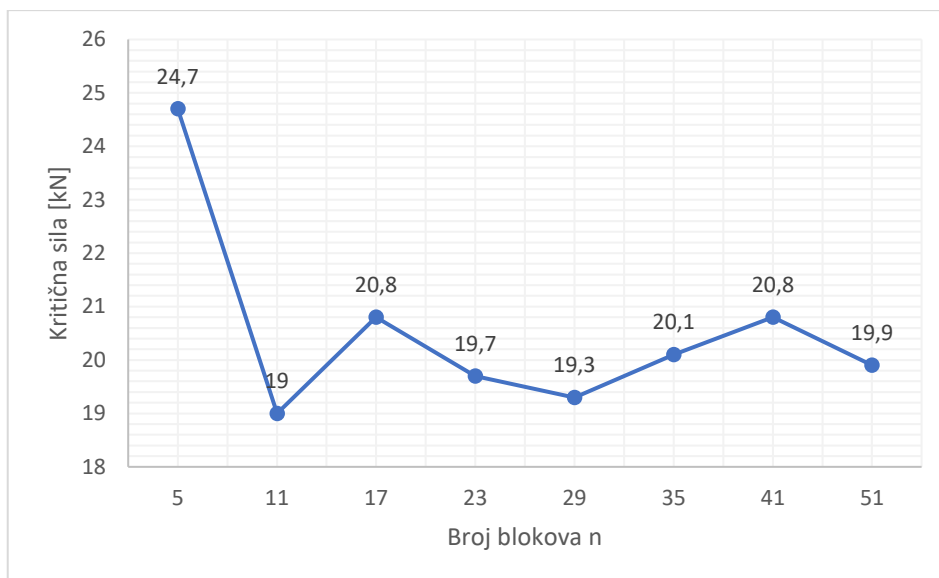
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 13 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 13: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

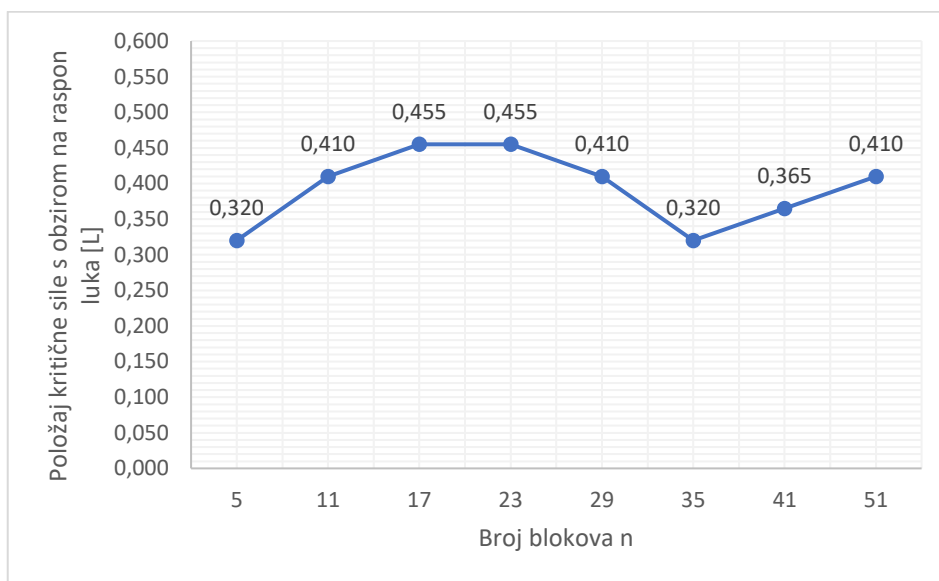
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	639	1100	617	521	485	466	510	451
0.095 L	42	188	129	115	115	111	117	111	93,3
0.140 L	62	95,2	54,4	56,8	57	55,1	56,7	56,8	54,8
0.185 L	82	61	41	40,4	37,5	34,6	35,9	35,6	34,8
0.230 L	102	44,9	29,9	28,6	28,5	28,4	28	28,1	29,2
0.275 L	122	32,2	23,6	27,4	24,7	24,4	23,6	22,8	23,3
0.320 L	142	24,7	29,5	22,5	20,9	22,8	20,1	21,2	20,6
0.365 L	162	29,5	23,6	21,7	21,1	21,1	20,4	20,8	20,8
0.410 L	182	42,2	19	23,3	20,8	19,3	20,9	21,2	19,9
0.455 L	202	65,4	24,9	20,8	19,7	20,9	21,1	21,7	21,1
0.500 L	222	247	44,5	32,8	29	27,7	26,2	25,5	24,6

Na slici 50 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 51 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 24.7 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 19 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 30.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 35 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 50: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 51: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.14. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

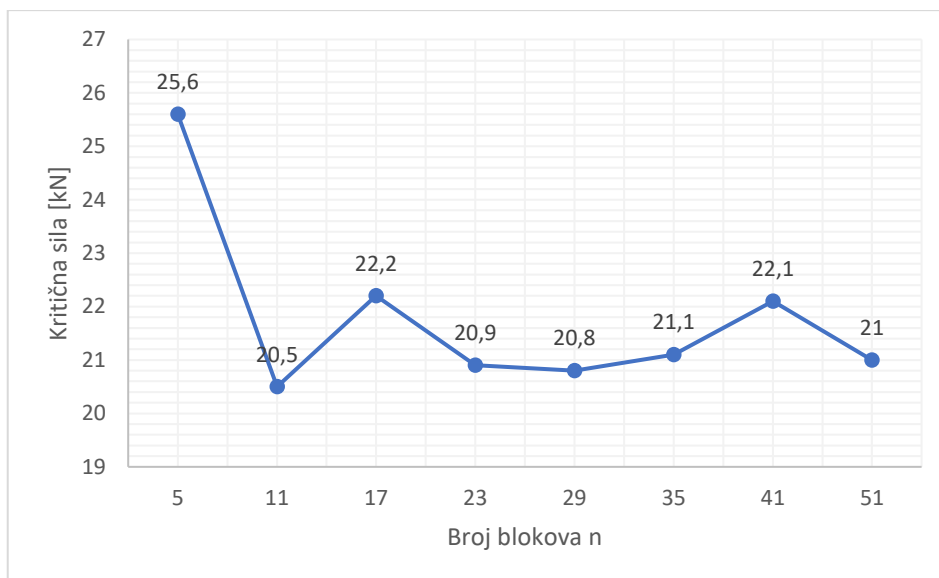
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 14 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile s obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 14: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

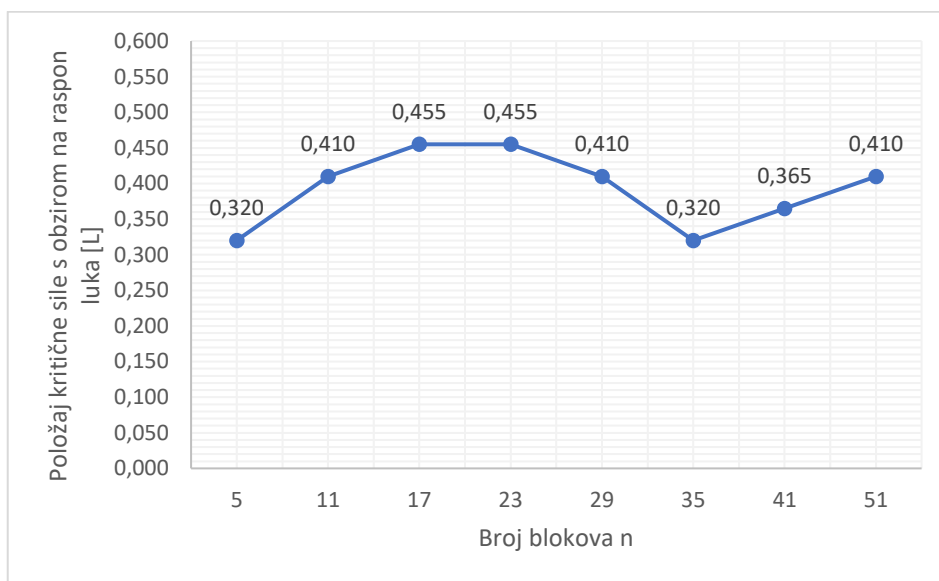
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	664	660	638	545	508	487	526	472
0.095 L	42	195	133	119	119	116	122	120	97,2
0.140 L	62	99,8	57,3	60,4	60,1	57,7	59,6	59,9	57,2
0.185 L	82	65,2	42,2	43,6	39,3	38,6	37,7	37,3	36,5
0.230 L	102	48	32,2	29,7	30,1	29,7	29,6	29,2	29,9
0.275 L	122	33,3	24,8	29,5	26	25,3	24,8	24,5	24,4
0.320 L	142	25,6	31,1	23,9	22,4	24,2	21,1	22,7	21,7
0.365 L	162	30,6	24,9	22,7	22,7	22,5	21,7	22,1	21,7
0.410 L	182	44,7	20,5	24,6	22	20,8	22,2	22,9	21
0.455 L	202	69,3	26,3	22,2	20,9	22,1	22,4	23	22,3
0.500 L	222	262	46,9	34,8	30,6	29,2	27,7	26,9	26,1

Na slici 52 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 53 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 25.6 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 20.5 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 24.9%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 35 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 52: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 53: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.15. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 15 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

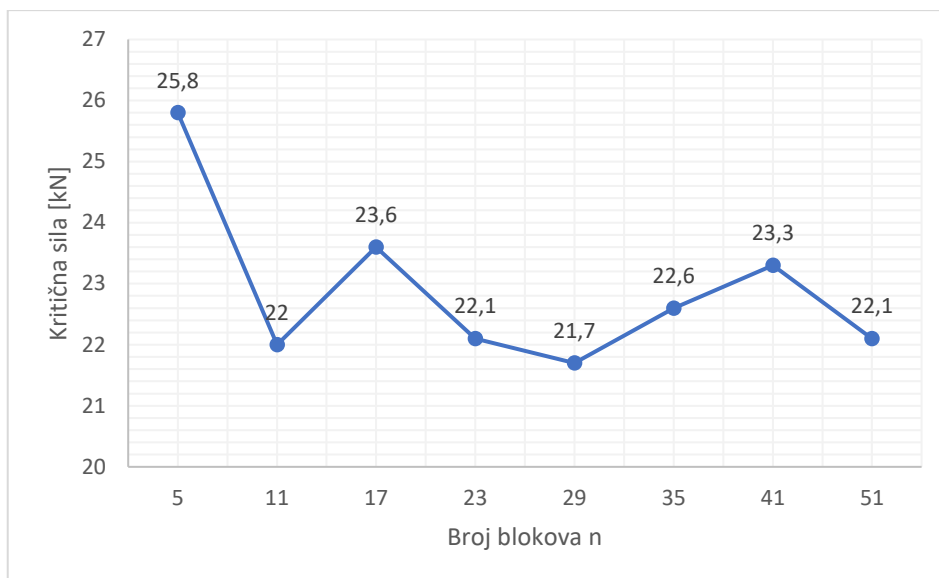
Tablica 15: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	693	1095	664	573	530	508	528	484
0.095 L	42	213	138	124	122	119	127	120	101
0.140 L	62	108	59,3	62,1	64,2	60	62,1	62,8	59,6
0.185 L	82	69,5	44	45,8	41	40,1	39,3	39,1	38,2
0.230 L	102	51,1	33,5	30,8	31,2	30,8	30,7	31,1	31,8
0.275 L	122	34,7	26,2	30,9	27,9	26,9	25,7	25,4	26
0.320 L	142	25,8	32,6	24,7	23,2	25	22,7	23,6	23
0.365 L	162	32,9	26,3	23,7	23,7	23,4	22,6	23,3	22,6
0.410 L	182	47,3	22	25,9	23,1	21,7	23,1	23,9	22,1
0.455 L	202	73,2	27,8	23,6	22,1	23,3	23,7	24,2	23,4
0.500 L	222	277	49,4	36,7	32,4	30,8	29,2	28,3	27,5

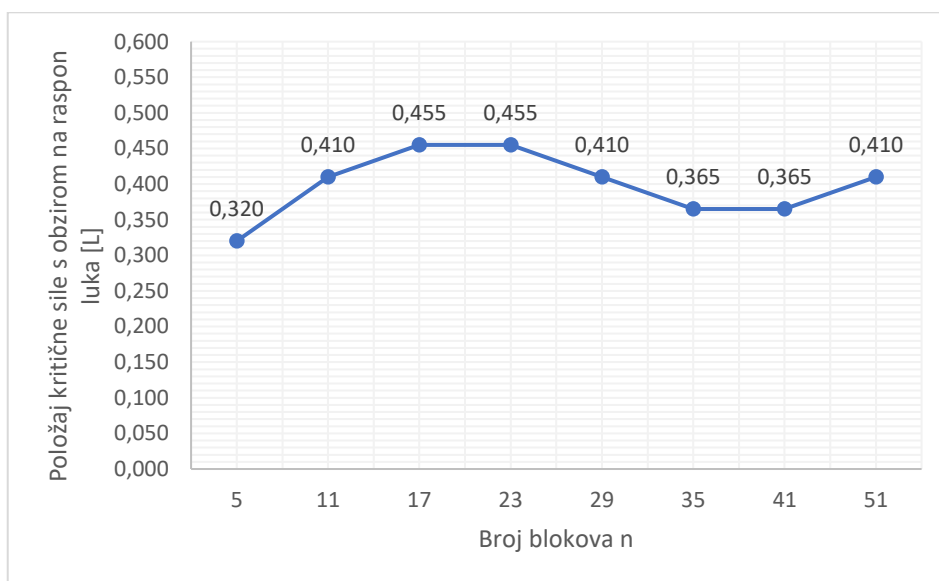
Na slici 54 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 55 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 25.8 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 21.7 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 18.9%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.





Slika 54: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 55: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

## 2.16. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

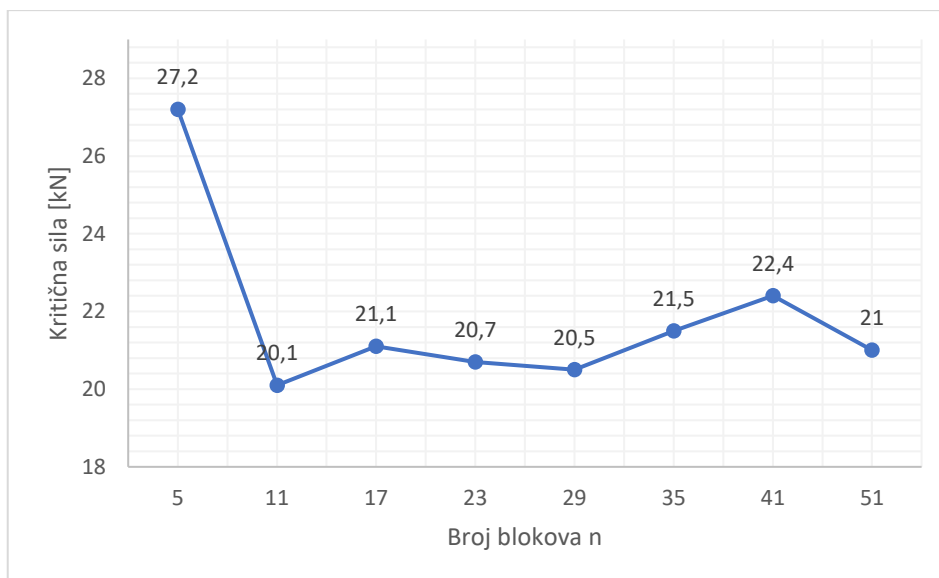
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 16 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 16: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

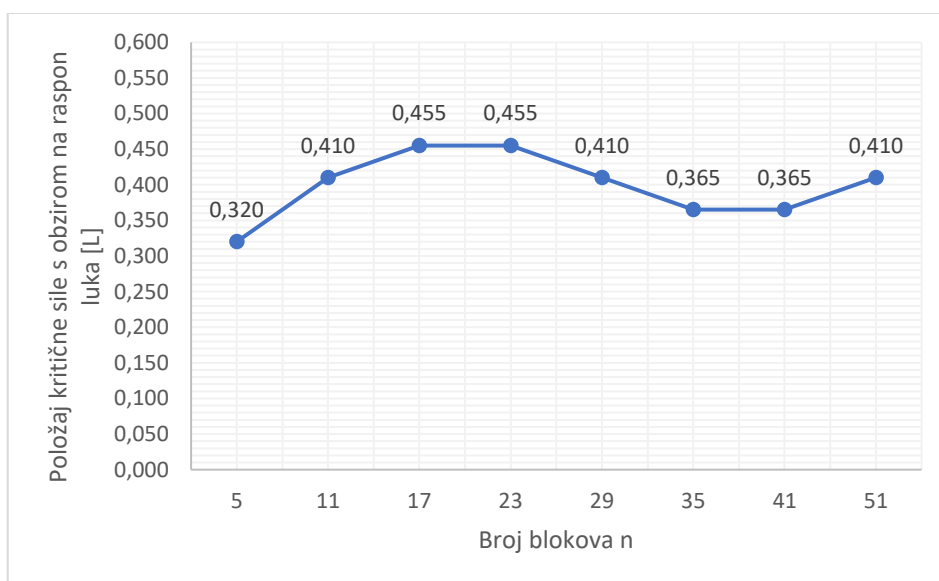
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	739	1408	707	599	528	533	571	506
0.095 L	42	220	140	122	126	118	126	122	109
0.140 L	62	98,1	59	63,7	63,8	61,3	63,1	64,6	60,8
0.185 L	82	62,9	44,8	45,9	40,7	40,2	41,4	41,3	40,3
0.230 L	102	46,3	33,8	31,7	30,9	30	30,8	30,5	31,9
0.275 L	122	35,4	26,5	30	28	26,4	25,8	25	25,5
0.320 L	142	27,2	31	24,1	22,9	24,2	22,8	23,3	22,4
0.365 L	162	31,5	24,9	23,5	22,7	22,6	21,5	22,4	22,1
0.410 L	182	44	20,1	23,2	22,8	20,5	22,3	22,5	21
0.455 L	202	69,2	26,3	21,1	20,7	21,8	22,3	22,7	22,4
0.500 L	222	275	52,6	34,7	30,9	29,4	27,9	27,2	26,3

Na slici 56 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 57 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 27.2 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 20.1 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 35.3%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 56: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 57: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.17. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

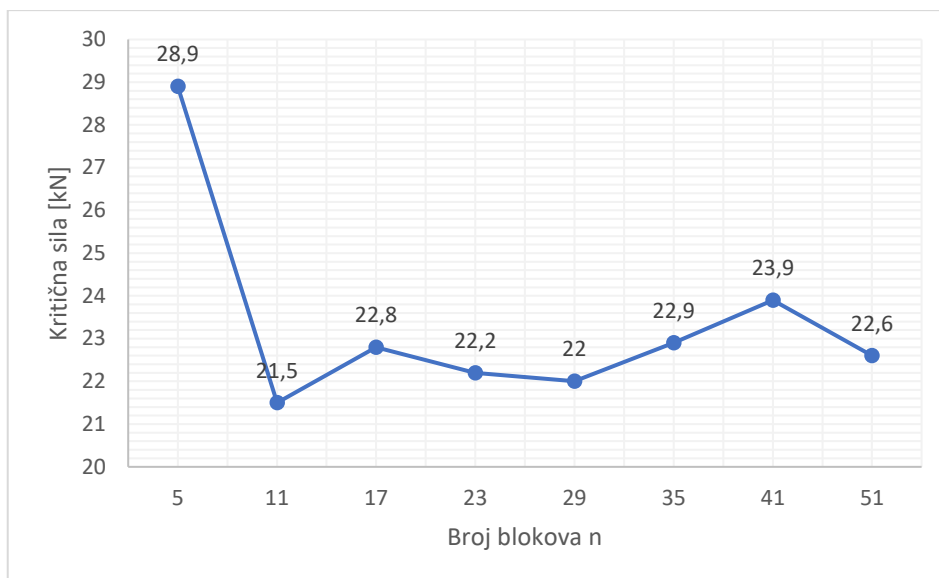
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 17 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 17: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

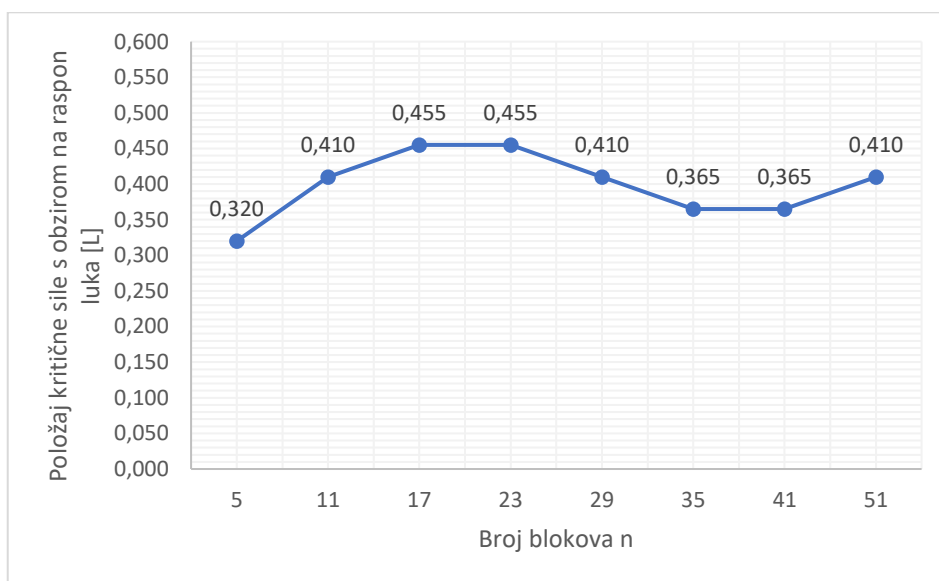
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	788	1320	753	638	593	566	598	542
0.095 L	42	233	153	134	132	130	136	133	116
0.140 L	62	106	62,5	66	69	66,1	66	68,7	66,6
0.185 L	82	67,9	47,6	48,1	43,2	43	44	44	43,2
0.230 L	102	50	36,4	33,6	32,8	31,8	33,2	32,9	33,6
0.275 L	122	37,5	28,1	32,6	29,5	28,3	27,6	26,7	27,3
0.320 L	142	28,9	34,1	25,6	24,4	26	24,2	24,7	24
0.365 L	162	34	26,7	25	23,5	24,2	22,9	23,9	23,5
0.410 L	182	45,9	21,5	25	24,4	22	23,9	24,2	22,6
0.455 L	202	74,2	28,2	22,8	22,2	23,5	23,8	24,4	23,9
0.500 L	222	295	56	37,3	33,1	31,5	29,9	29,2	28,2

Na slici 58 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 59 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 28.9 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 21.5 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 34.4%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 58: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 59: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.18. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

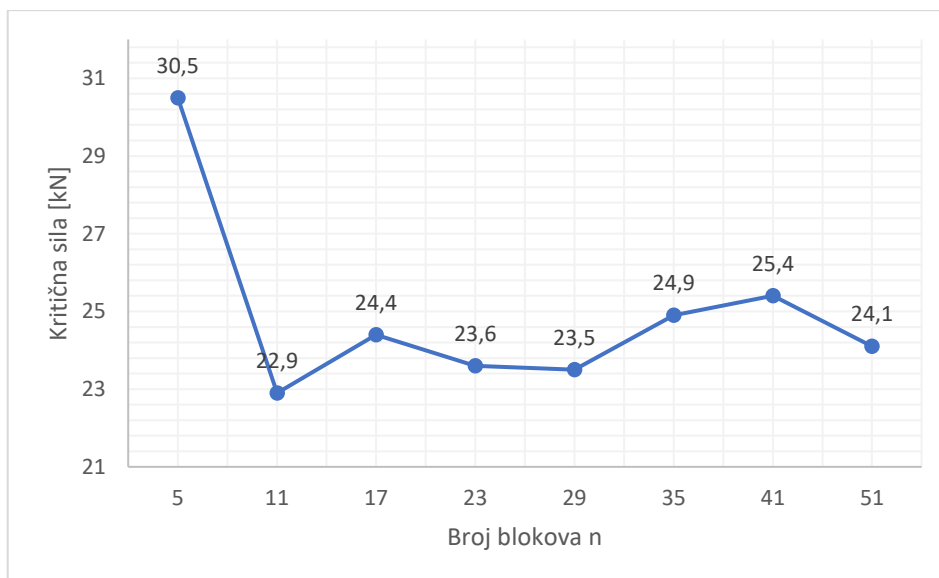
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 18 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 18: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

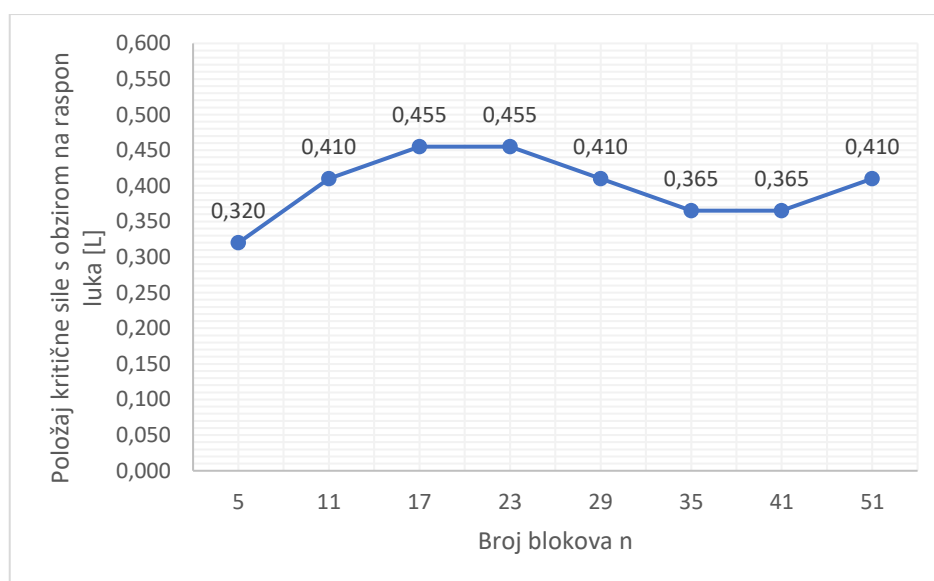
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	837	1618	796	678	630	602	663	576
0.095 L	42	245	154	144	138	136	146	140	123
0.140 L	62	114	65,6	71,3	73,9	68,9	71,5	72,6	70,6
0.185 L	82	72,9	50,4	51,5	46,3	45,5	46,8	47,1	45,9
0.230 L	102	53,7	38,7	36,3	34,7	34,2	35,3	35,2	35,5
0.275 L	122	41,1	29,7	34,5	31,7	30,1	28,9	28,7	29,1
0.320 L	142	30,5	36,3	27,4	26,2	27,8	25,7	26,5	25,6
0.365 L	162	36,3	28,5	26,5	26	25,6	24,9	25,4	25,1
0.410 L	182	48,8	22,9	27,1	26,1	23,5	25,5	26,3	24,1
0.455 L	202	79,3	30	24,4	23,6	25,1	25,4	26	25,4
0.500 L	222	316	60,1	39,9	35,3	33,7	31,9	31,2	30,2

Na slici 60 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 61 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 30.5 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 22.9 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 33.2%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 60: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 61: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

## 2.19. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 19 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

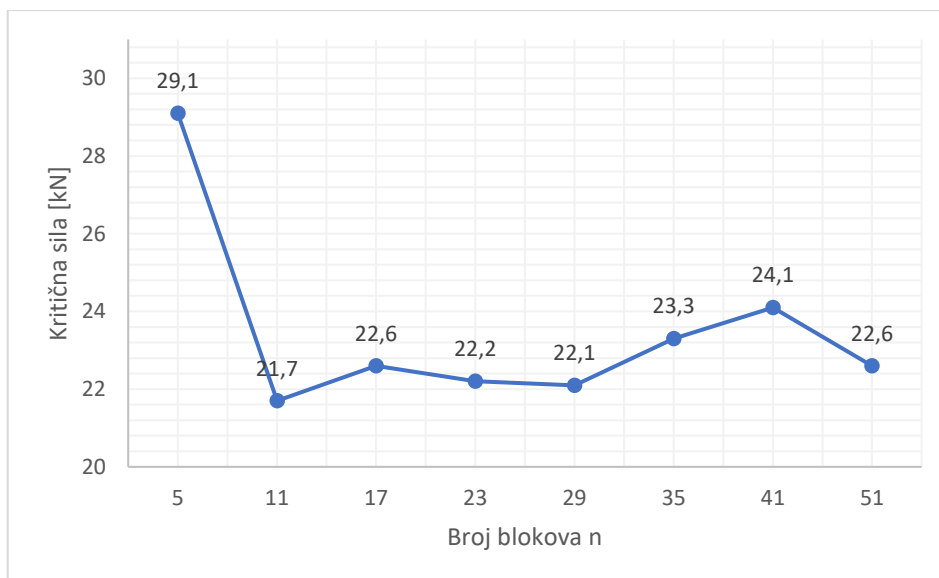
Tablica 19: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	801	1540	768	650	598	575	619	551
0.095 L	42	217	156	132	133	130	136	131	118
0.140 L	62	105	64,3	68,6	69,7	65,5	67,3	68,9	66,3
0.185 L	82	67,1	48,8	48,4	44,4	43,3	44,5	44,5	43,5
0.230 L	102	50,2	35,6	34,1	33,4	32,8	33,5	33,2	34,3
0.275 L	122	38,6	28,6	32	30,1	28,9	27,8	27	27,8
0.320 L	142	29,1	32,4	26,4	24,6	26,1	24,5	24,9	24,5
0.365 L	162	33,4	26,9	25	24,4	24,3	23,3	24,1	23,7
0.410 L	182	47,3	21,7	24,9	24,5	22,1	24	24,5	22,6
0.455 L	202	74,4	28,3	22,6	22,2	23,5	23,9	24,4	24,1
0.500 L	222	295	56,8	37,3	33,2	31,6	30	29,3	28,3

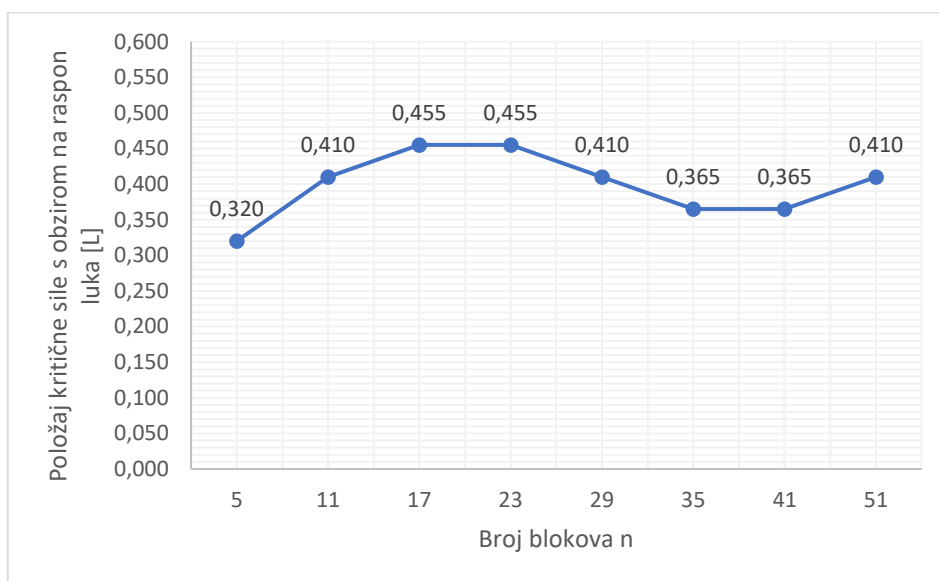
Na slici 62 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 63 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 29.1 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 21.7 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 34.1%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.





Slika 62: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 63: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

## 2.20. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

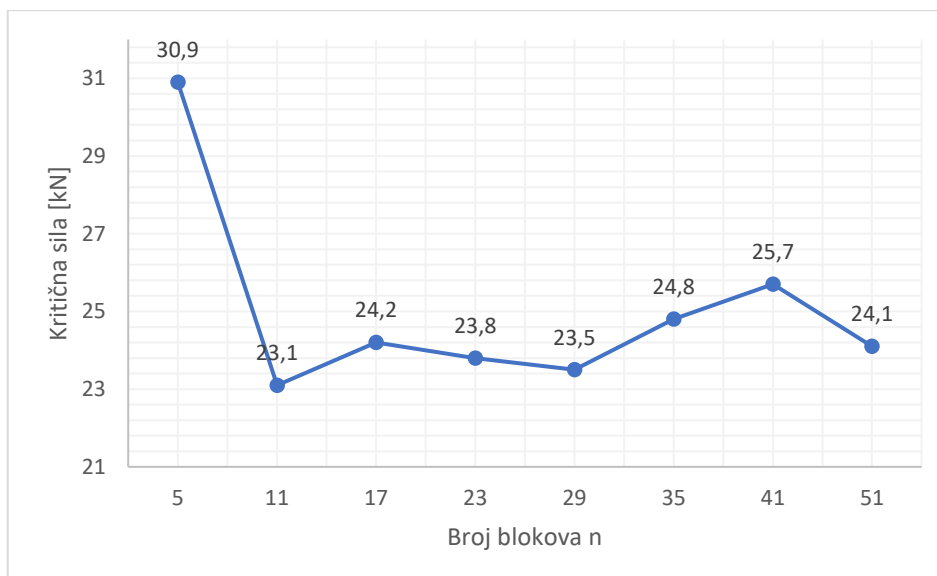
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 20 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 20: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

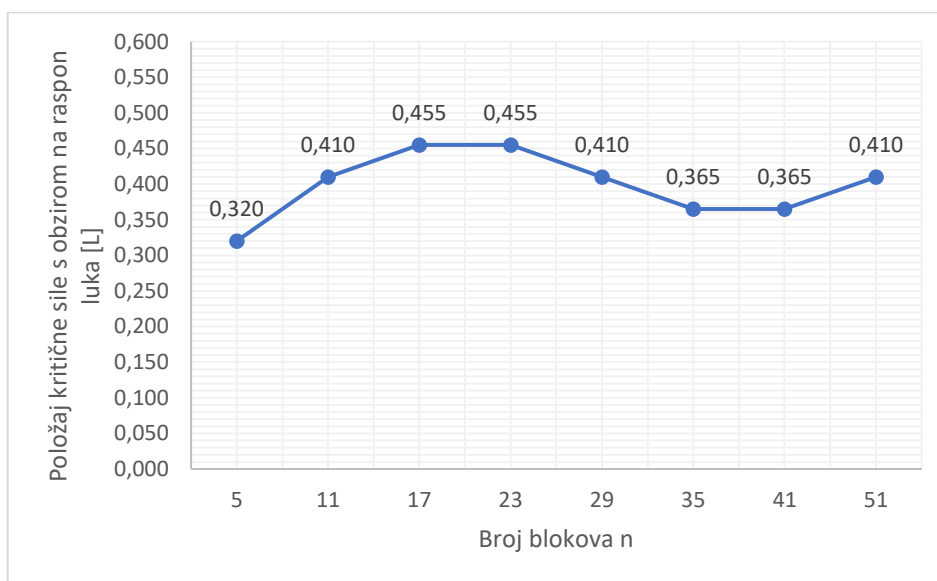
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	388	1654	815	689	640	611	651	582
0.095 L	42	241	166	142	131	123	145	141	125
0.140 L	62	112	66,1	72,5	73,6	69,2	72,8	72,8	70,1
0.185 L	82	72,1	51,6	52	46,9	46,2	47	47,7	46,4
0.230 L	102	53,1	38,6	36,6	35,7	34,6	35,6	35,4	36,8
0.275 L	122	40,9	30,5	34,6	32,1	30,4	29,2	29,1	29,4
0.320 L	142	30,9	34,8	27,9	26,4	27,8	26	26,5	25,9
0.365 L	162	35,7	28,7	26,5	25,9	26	24,8	25,7	25,4
0.410 L	182	49,6	23,1	26,6	26,2	23,5	25,7	26	24,1
0.455 L	202	79,5	30,2	24,2	23,8	25,1	25,6	26,1	25,8
0.500 L	222	315	60,1	39,9	35,4	33,7	32	31,3	30,2

Na slici 64 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 65 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 30.9 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 23.1 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 33.8%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 64: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 65: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

## 2.21. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

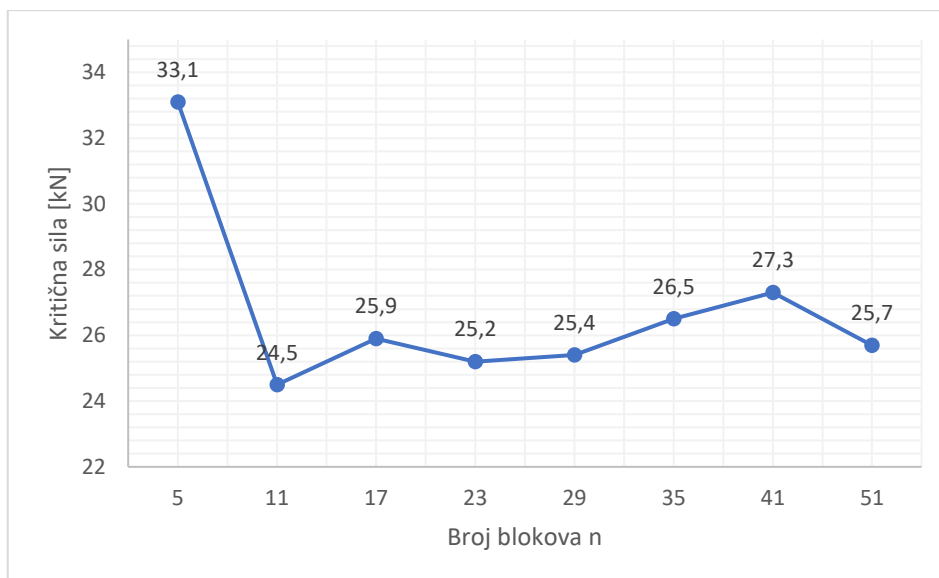
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 21 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 21: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

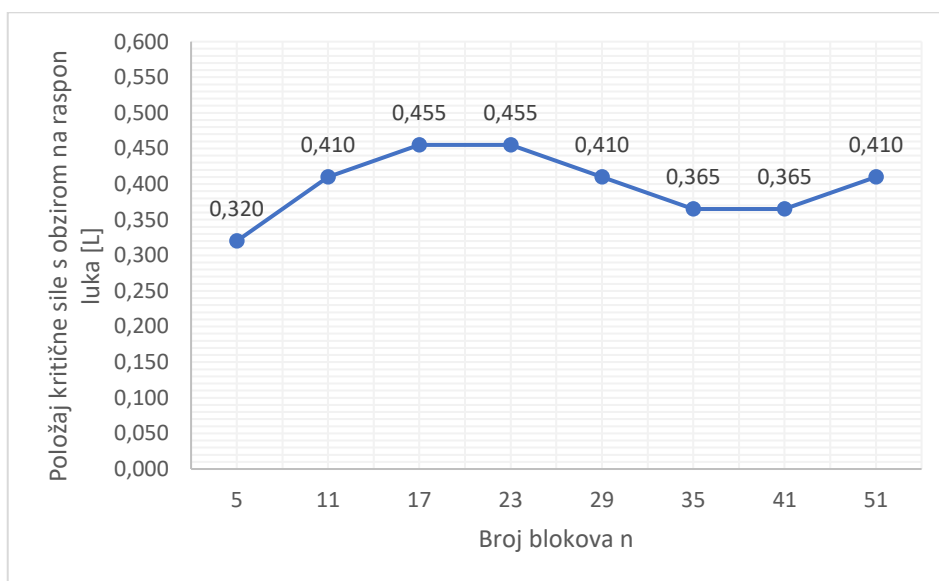
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	22	900	1746	860	725	677	646	607	619
0.095 L	42	241	175	151	151	149	153	150	132
0.140 L	62	120	70,1	77,4	79	74,5	75,6	78,6	74
0.185 L	82	77,1	54,4	55	49,4	49	50,3	50,4	49,2
0.230 L	102	56,8	41,4	38,5	37,1	36,4	38	38,1	38,3
0.275 L	122	43	32,2	36,4	34,3	32,1	31,4	30,6	31,4
0.320 L	142	33,1	38,9	29,3	27,8	29,6	27,7	28,3	27,3
0.365 L	162	38,6	30,4	28,4	27,7	27,6	26,5	27,3	26,8
0.410 L	182	52,4	24,5	28,4	27,8	25,4	27,3	27,5	25,7
0.455 L	202	84,5	32,1	25,9	25,2	26,7	27,2	27,7	27,3
0.500 L	222	336	64,2	42,5	37,7	35,9	34	33,3	32,2

Na slici 66 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 67 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 33.1 kN na položaju 142 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 24.5 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 182 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 35.1%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 66: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 67: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

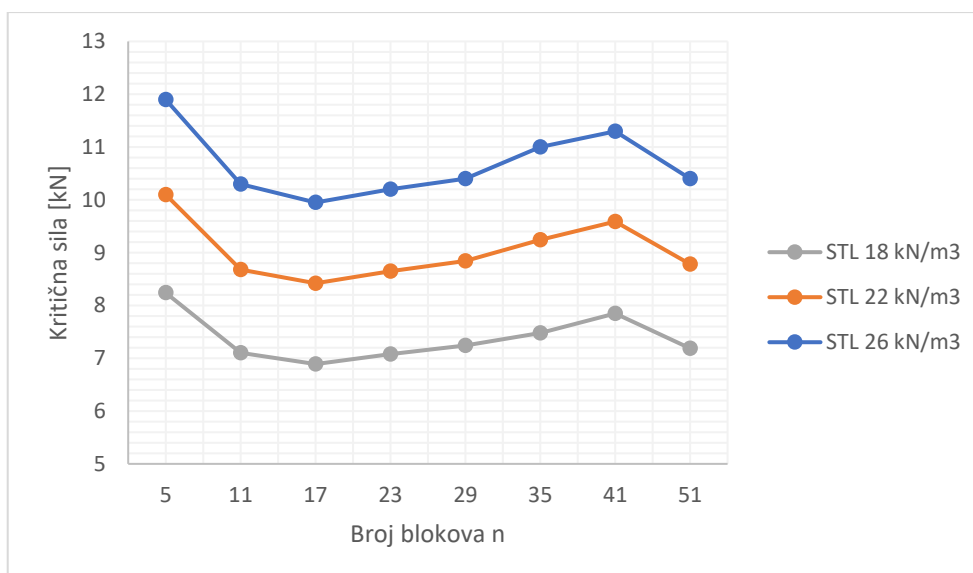
## 2.22. Analiza rezultata za polukružni luk raspona $L=4.44$ m

### 2.22.1. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m bez nadsloja

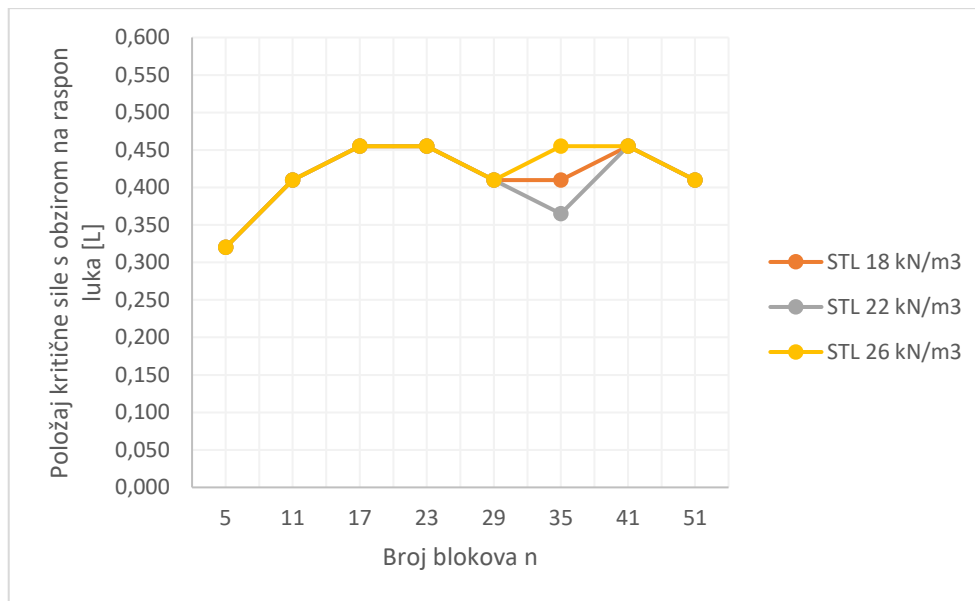
U poglavljima 2.1.-2.3. analiziran je polukružni luk raspona  $L=4.44$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 18, 22 i 26  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 1-3. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u sva tri slučaja (slika 68), te gotovo jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 69).

U tri provedene analize iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju  $0.320 L$  za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju  $0.455 L$  za luk sa 17 blokova (slika 68 i slika 69).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od  $0.320 L$  do  $0.455 L$ . Promjenom specifične težine luka mijenja se samo na luku s 35 blokova. U lukovima s 5, 11, 17, 23, 29, 41 i 51 blokom isti je u sve tri povedene analize (slika 69).



Slika 68: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka



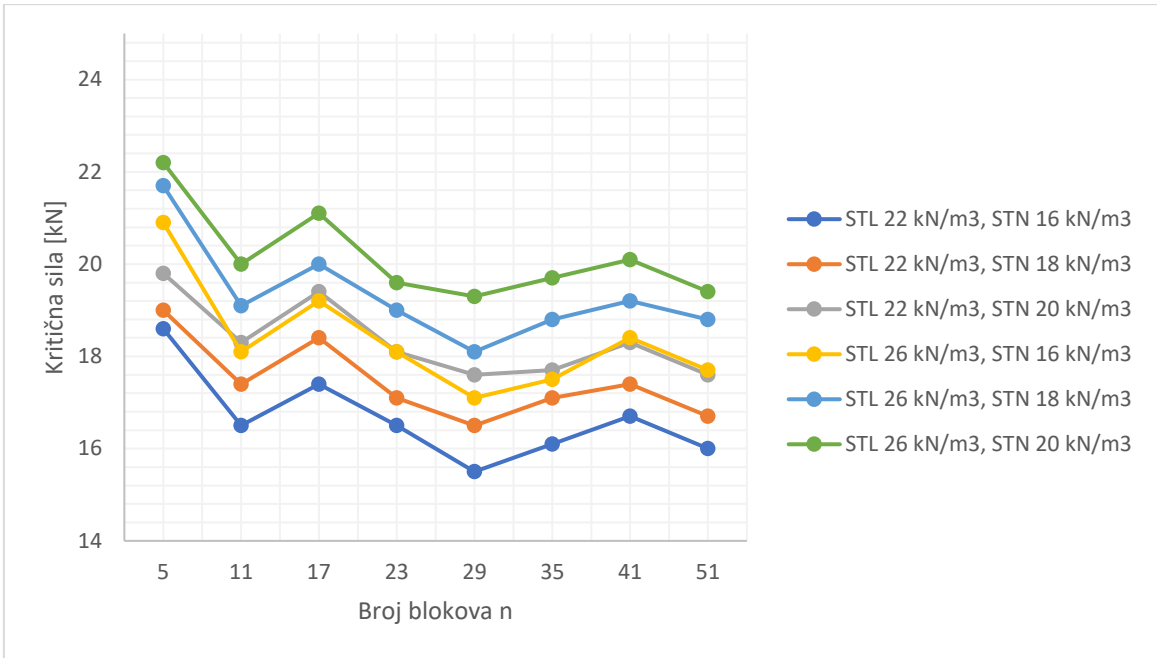
Slika 69: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka

### 2.22.2. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0 m

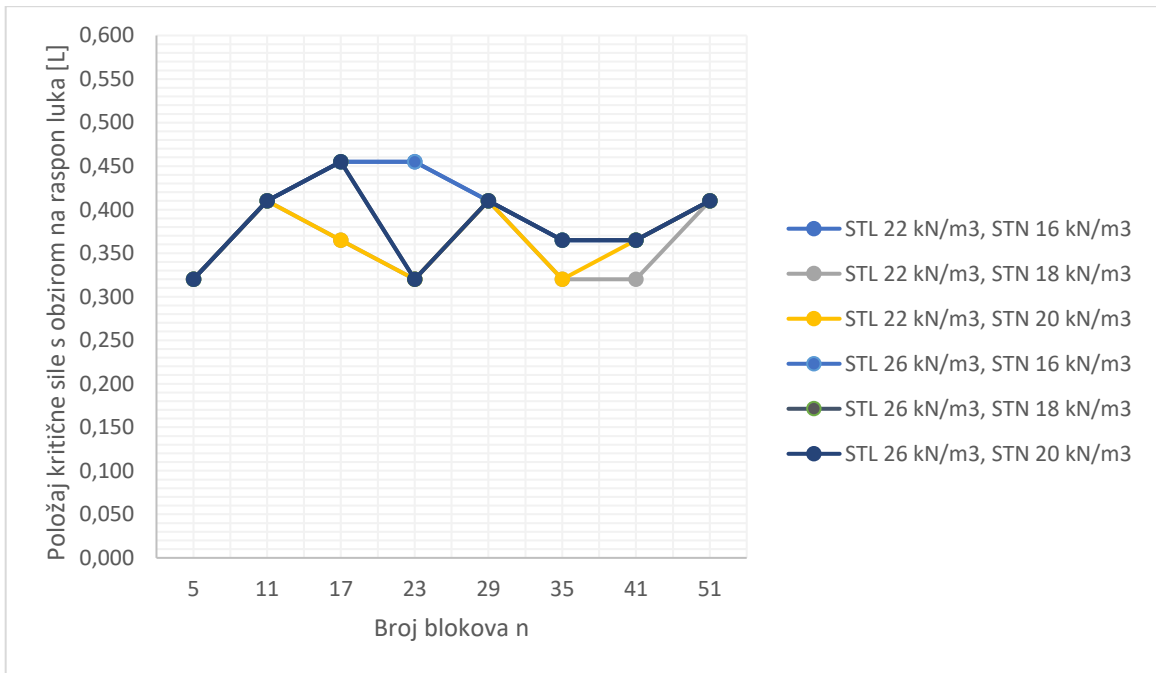
U poglavljima 2.4.-2.9. analiziran je polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26  $\text{kN/m}^3$  te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 4-9. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u svih šest slučajeva (slika 70), te djelomično jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 71).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju 0.320 L za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju 0.410 L za luk s 29 blokova (slika 70 i slika 71).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od 0.320 L do 0.455 L. Promjenom specifične težine luka i nadsloja mijenja se na luku sa 17, 23, 35 i 41 blokom. U lukovima s 5, 11, 29 i 51 blokom isti je u svih šest provedenih analiza (slika 71).



Slika 70: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



Slika 71: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

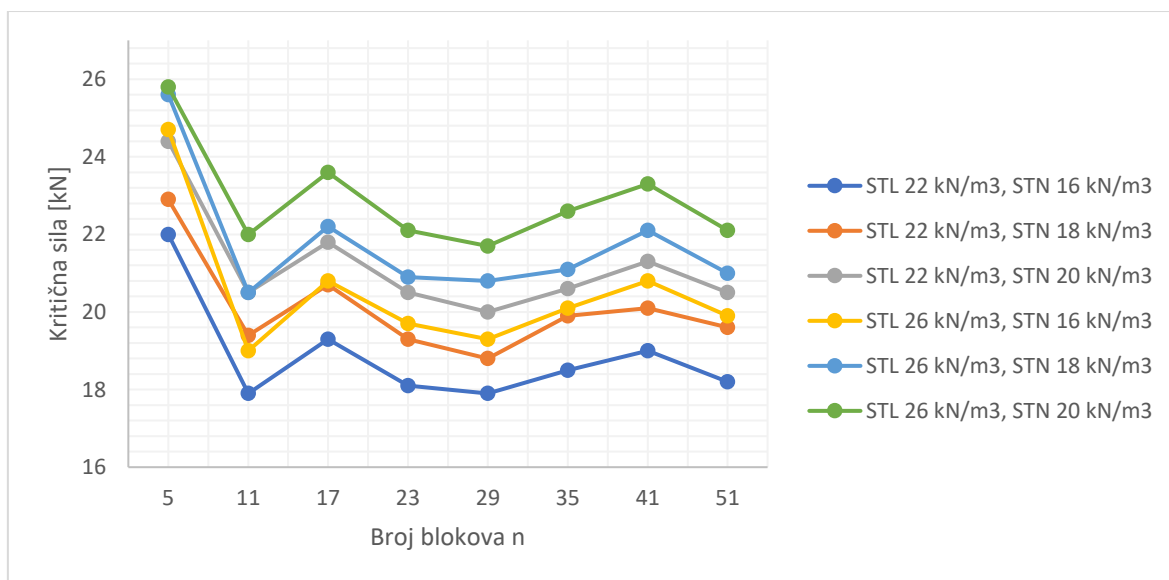


### 2.22.3. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.2 m

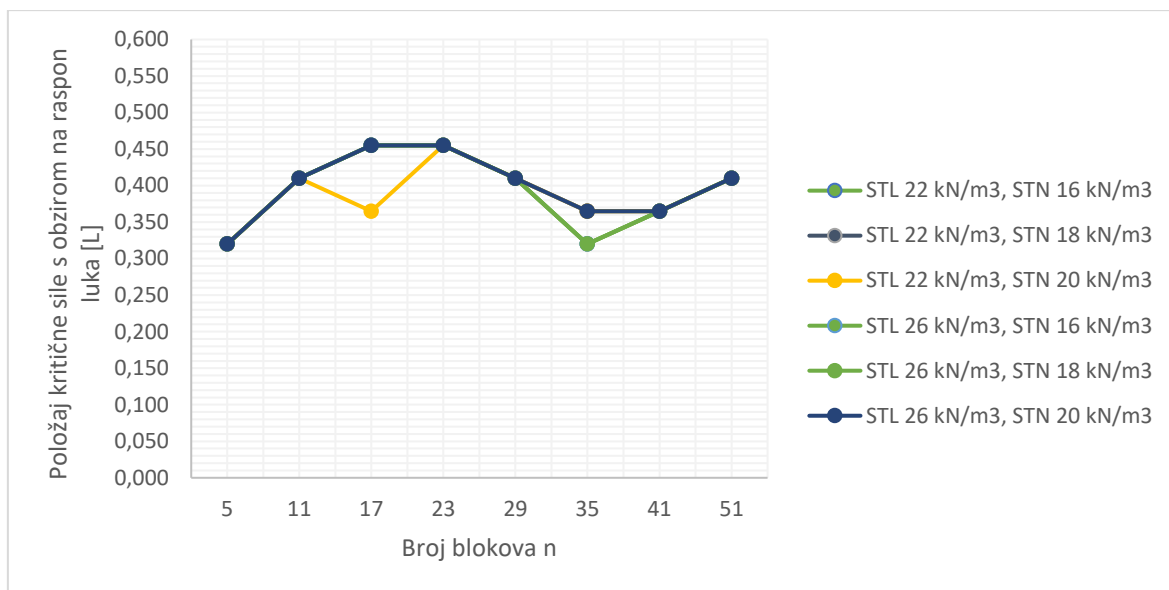
U poglavljima 2.10.-2.15. analiziran je polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.2 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26  $\text{kN/m}^3$  te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 10-15. Njihovom usporedbom dobiven je približno jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u šest slučajeva (slika 72), te djelomično jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 73).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju 0.320 L za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju 0.410 L i to 4 puta za luk s 29 blokova i 2 puta za luk s 11 blokova (slika 72 i slika 73).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od 0.320 L do 0.455 L. Promjenom specifične težine luka i nadsloja mijenja na luku sa 17 i 35 blokova. U lukovima s 5, 11, 23, 29, 41 i 51 blokom isti je u svih šest provedenih analiza (slika 73).



Slika 72: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.2 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



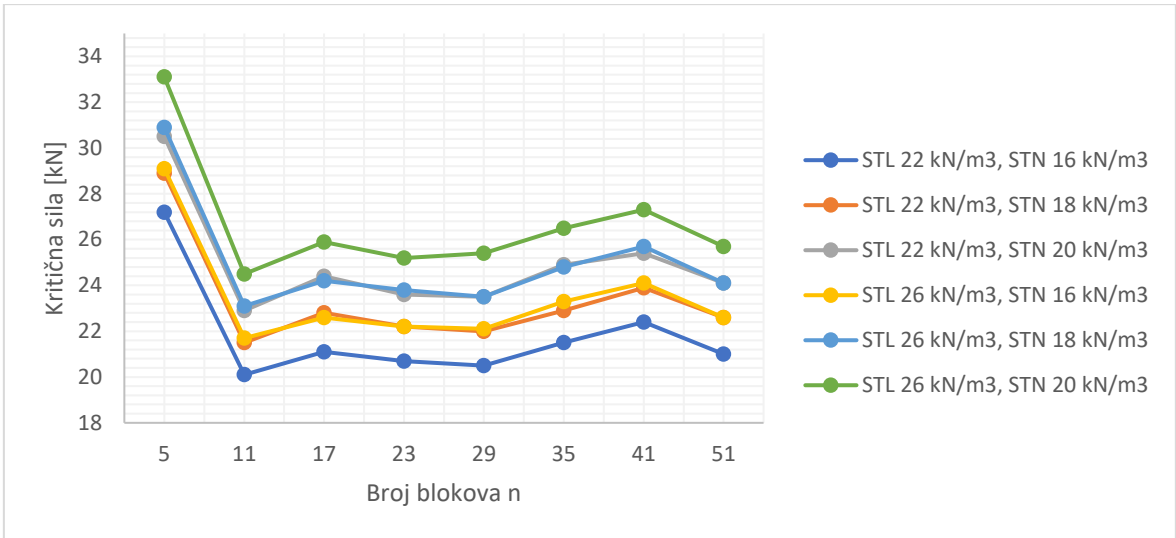
Slika 73: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.2 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

#### 2.22.4. Polukružni luk raspona $L=4.44$ m s nadslojem visine 0.5 m

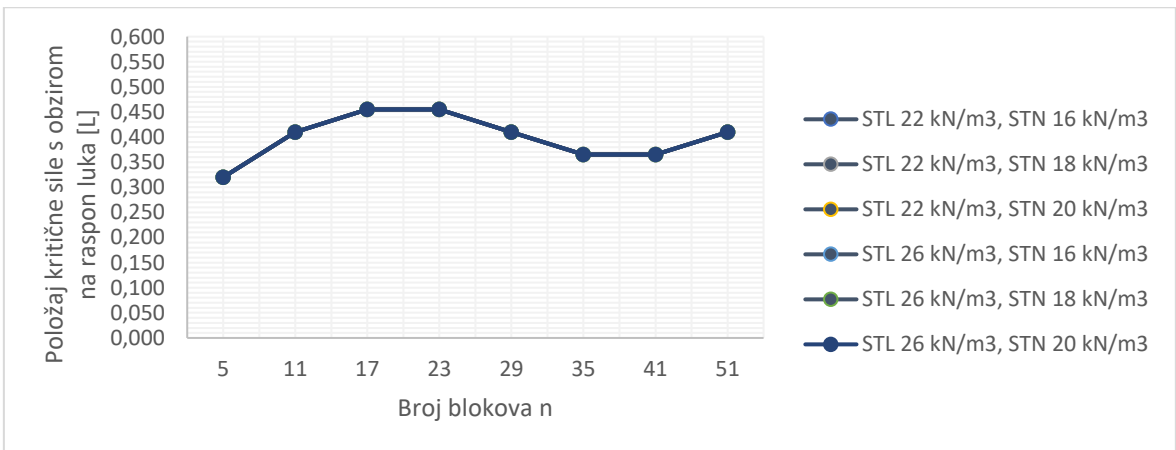
U poglavljima 2.16.-2.21. analiziran je polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.5 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26 kN/m<sup>3</sup> te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20 kN/m<sup>3</sup>. Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 16-21. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u svih šest slučajeva (slika 74), te jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 75).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju 0.320 L za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju 0.410 L za luk s 11 blokova (slika 74 i slika 75).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od 0.320 L do 0.455 L. Promjenom specifične težine luka i nadsloja ostaje isti u svih šest provedenih analiza (slika 75).



Slika 74: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

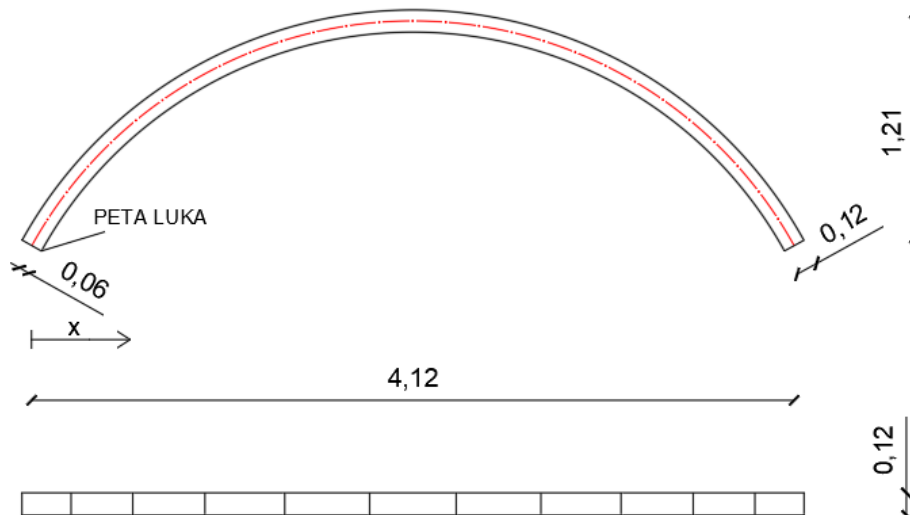


Slika 75: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

### 3. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA SEGMENTNOM LUKU RASPONA $L=4.12$ m

U ovom poglavlju prikazana je analiza segmentnog luka raspona  $L$  u iznosu od 4.12 m. Polumjer središnje osi luka  $R$  iznosi 2.4 m, a iz odnosa  $t/R=0.05$  proizlazi da je debljina luka  $t$  jednaka 0.12 m. Širina luka, mjerena okomito na njegovu ravninu, iznosi 0.12 m. Geometrijski prikaz opisanog luka dan je na slici 76.

Osim geometrijskih karakteristika, u programu se zadaje opterećenje (koncentrirana sila) na svakih 0.2 m udaljenosti od pete luka. Položaj sile  $x$  uključuje udaljenost između osi i pete luka u iznosu  $t/2$  odnosno 0.06 m (slika 76). Zbog simetričnosti luka, dovoljno je provesti analizu samo jedne polovice luka što ukupno daje 11 položaja opterećenja.

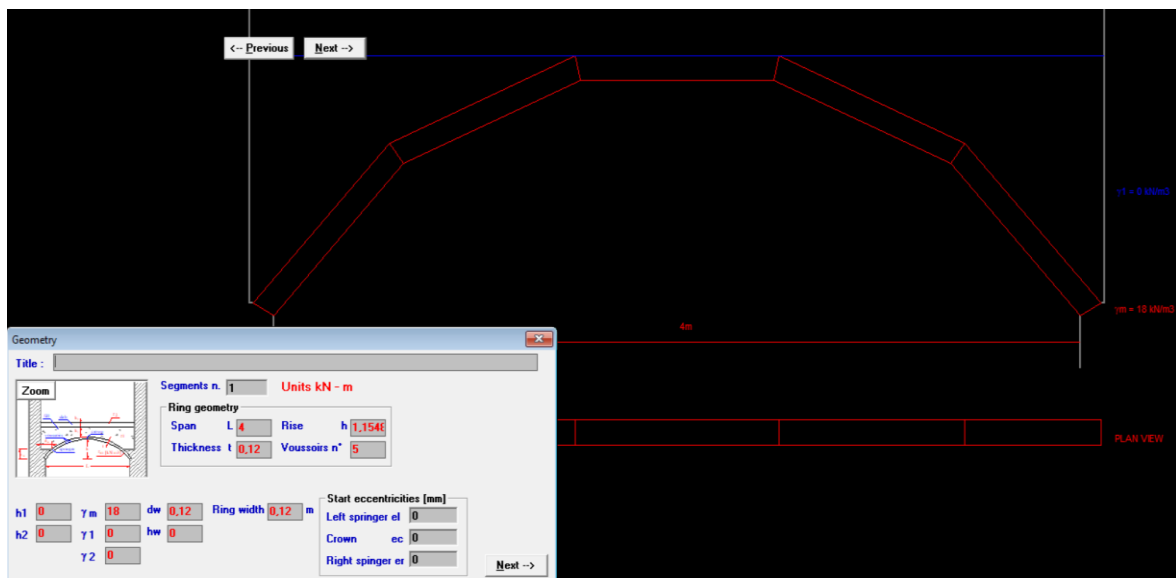


Slika 76: Presjek i tlocrt segmentnog luka raspona  $L= 4.12$  m

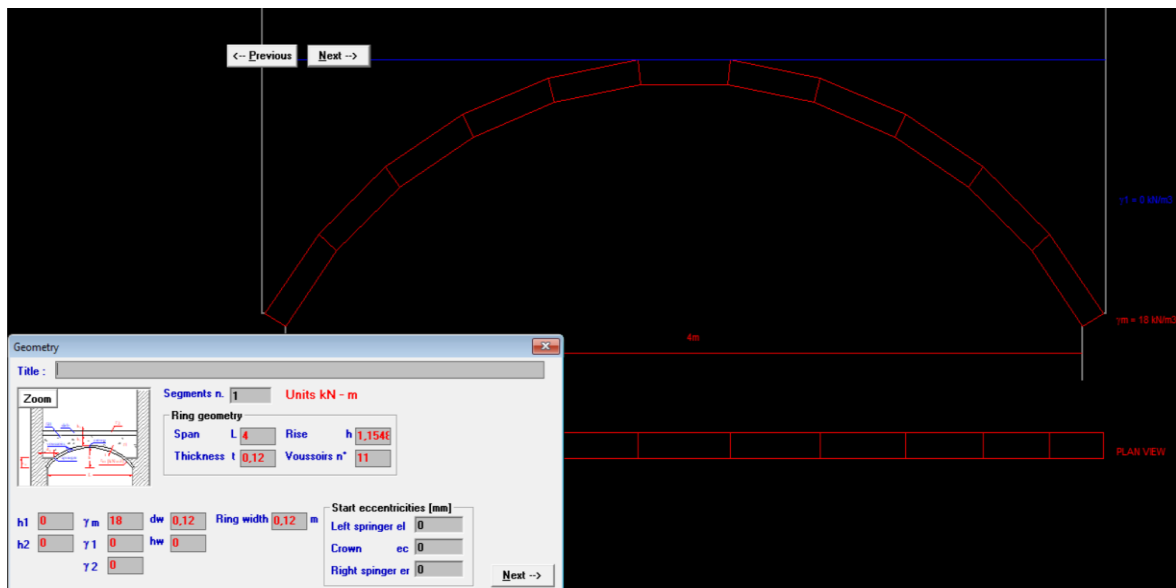
U potpoglavljima 3.1.-3.3. provedena je analiza luka s različitim brojem blokova bez nadsloja, mjenjajući specifičnu težinu luka. Unutar potpoglavlja 3.4.-3.9. analiziran je luk s različitim brojem blokova i s nadslojem visine 0 m, uz modificiranje specifične težine nadsloja i luka. Sukladno tome, u potpoglavljima 3.10.-3.15. prikazani su rezultati analize luka s nadslojem visine 0.2 m a u poglavljima 3.16.-3.21. luka s nadslojem visine 0.5 m.

### 3.1. Luk specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

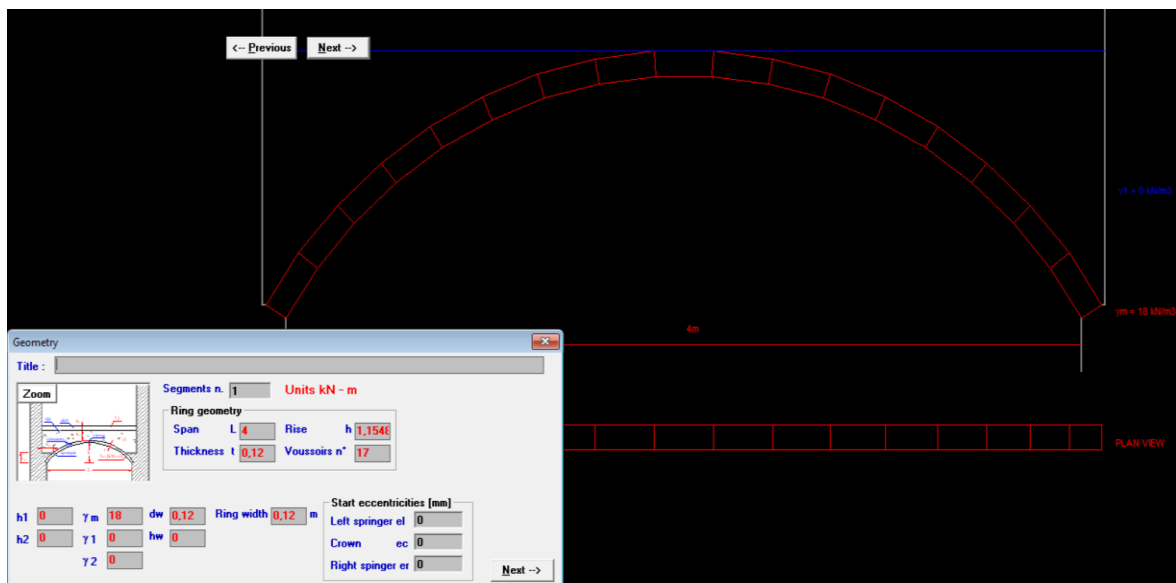
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja. Na slikama 77-84 prikazana je geometrija spomenutog luka za 5, 11, 17, 23, 29, 35, 41 i 51 broj blokova luka. Pored geometrije priloženi su i ulazni podaci preuzeti iz programa *Arco*.



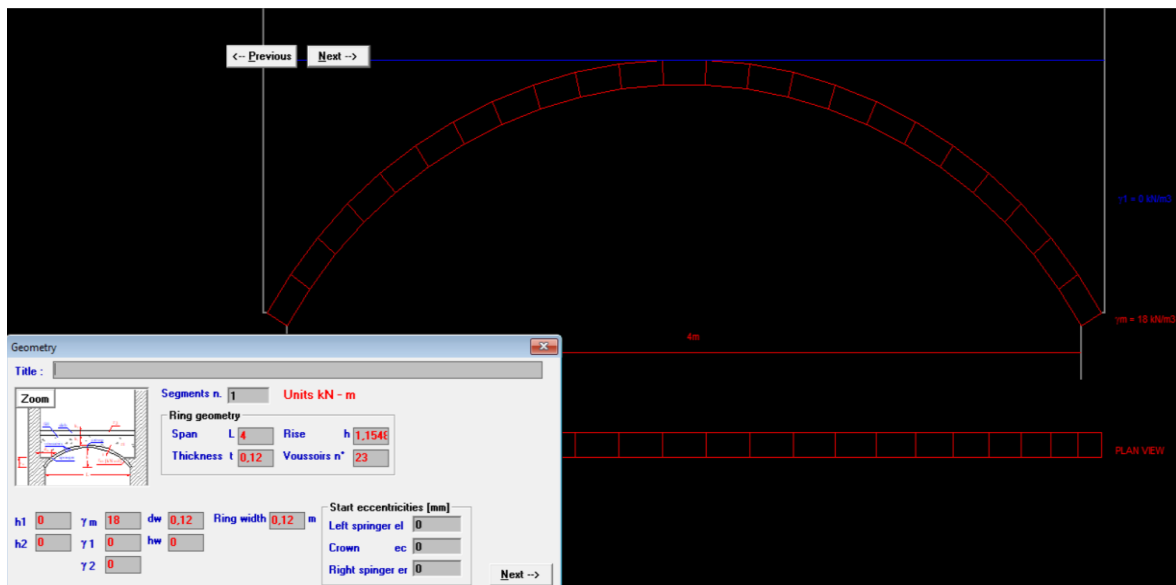
Slika 77: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 5 blokova i ulaznim podacima u programu *Arco*



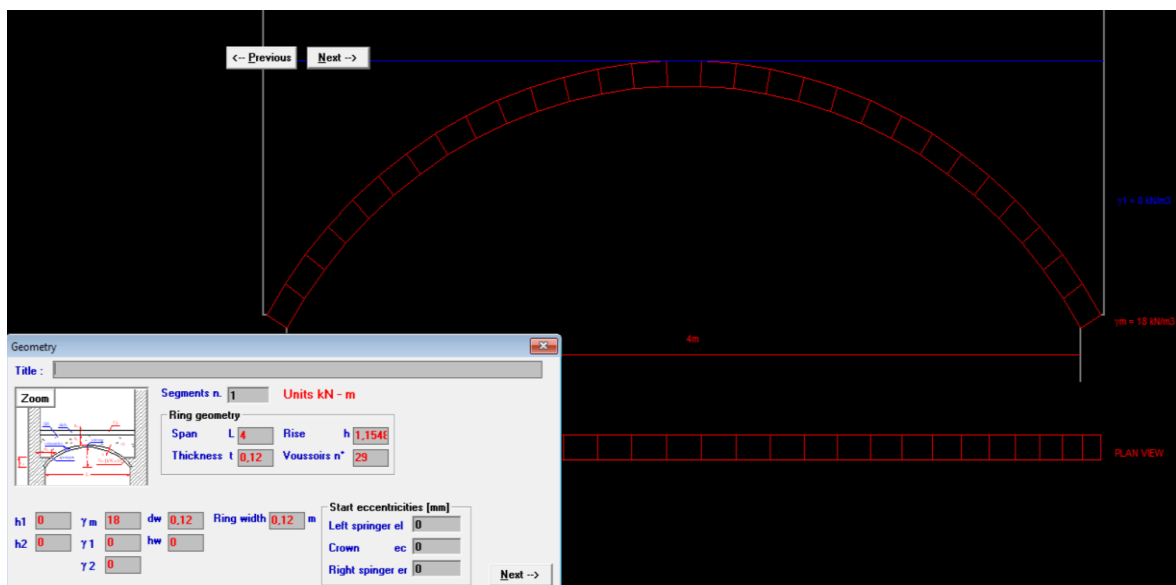
Slika 78: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 11 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



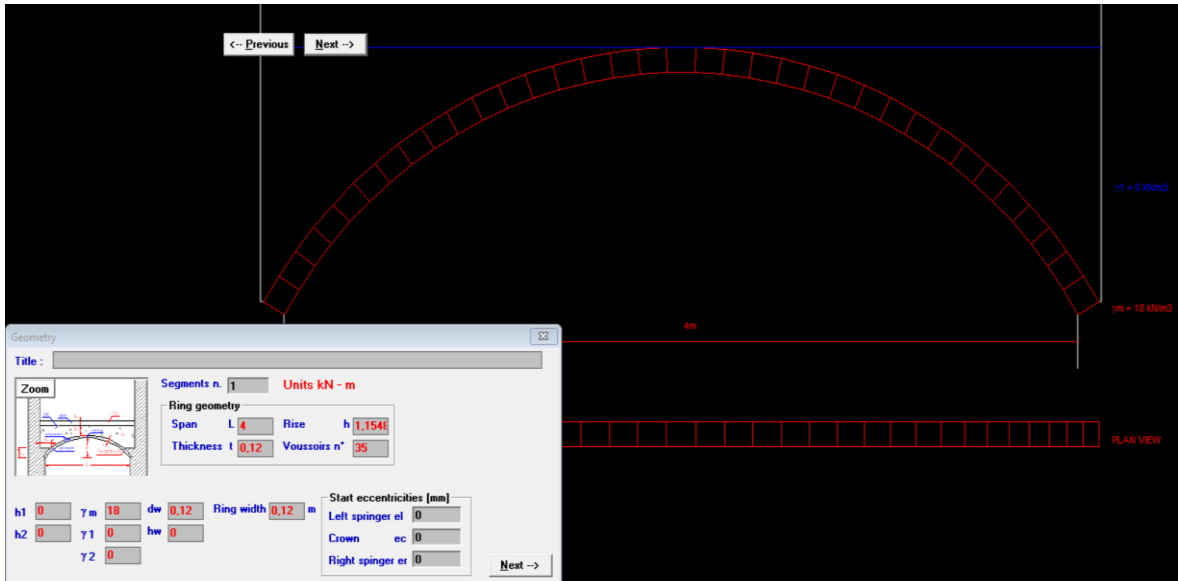
Slika 79: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m sa 17 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



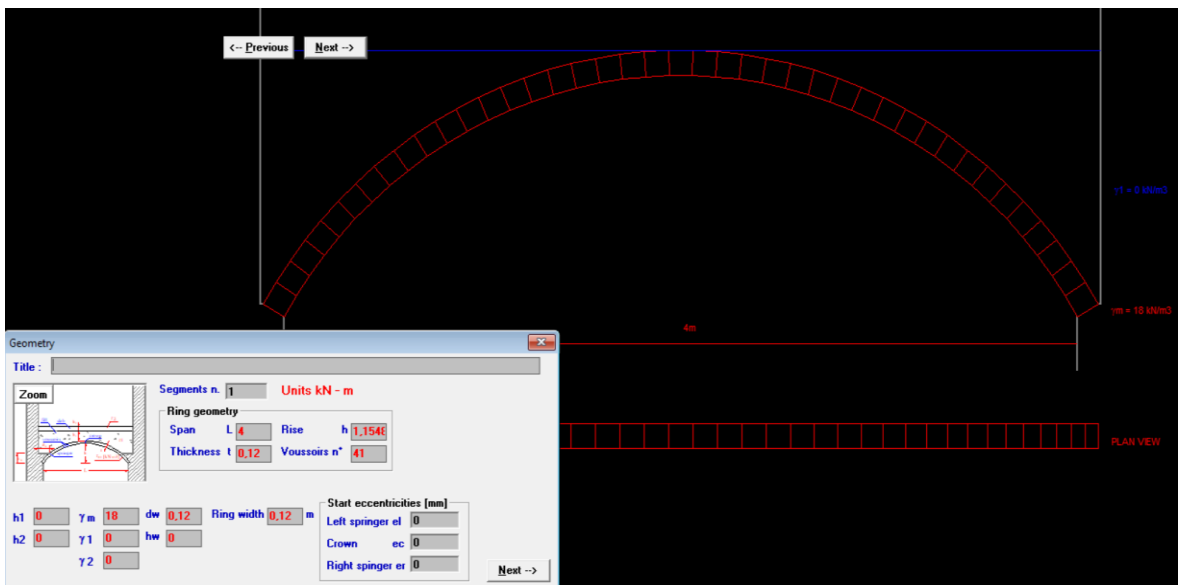
Slika 80: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 23 bloka i ulaznim podacima u programu Arco



Slika 81: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 29 blokova i ulaznim podacima u programu Arco

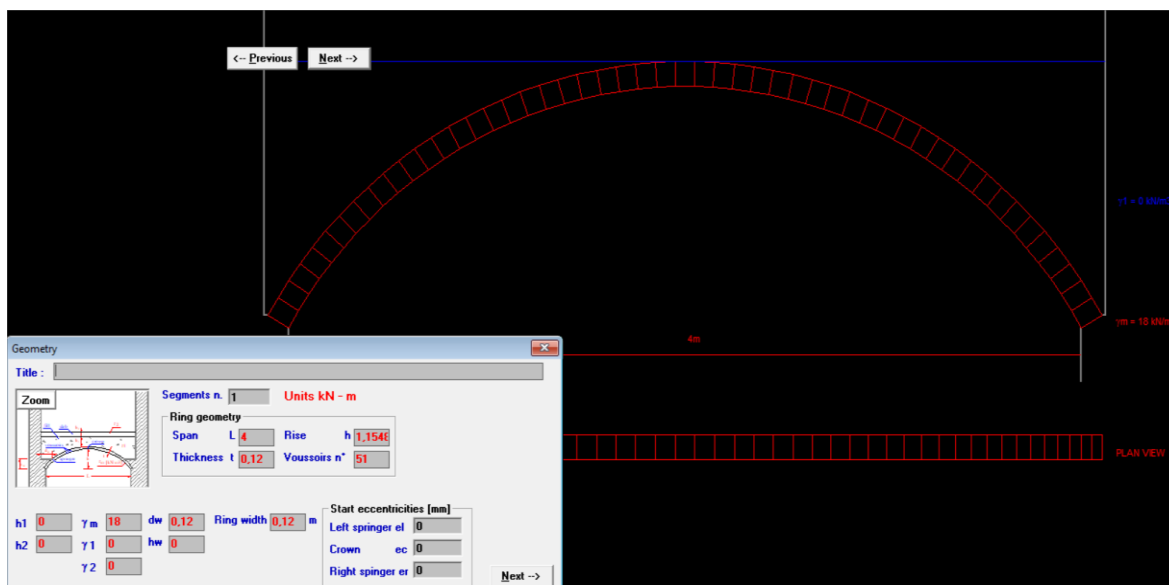


Slika 82: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 35 blokova i ulaznim podacima u programu Arco



Slika 83: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 41 blokom i ulaznim podacima u programu Arco





Slika 84: Geometrija segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m s 51 blokom i ulaznim podacima u programu Arco

U tablici 22 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile s obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

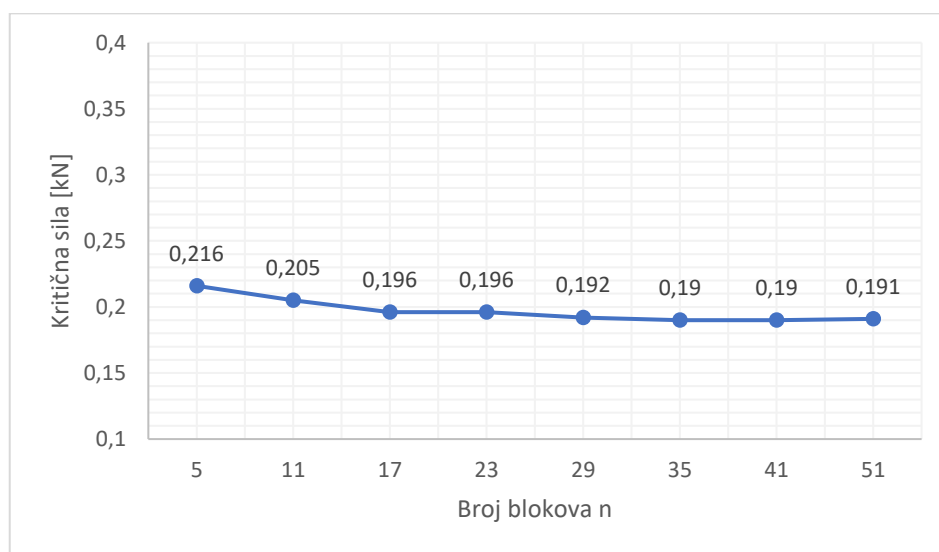
Tablica 22: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	59,10	9,72	8,56	8,16	8,81	8,26	8,11	8,03
0.063 L	26	1,080	0,965	0,870	0,906	0,835	0,863	0,848	0,842
0.112 L	46	0,551	0,522	0,517	0,510	0,512	0,508	0,506	0,494
0.160 L	66	0,406	0,422	0,391	0,372	0,367	0,383	0,376	0,368
0.209 L	86	0,427	0,306	0,312	0,292	0,302	0,289	0,298	0,288
0.257 L	106	0,346	0,289	0,248	0,242	0,244	0,246	0,245	0,244
0.306 L	126	0,290	0,229	0,214	0,211	0,210	0,210	0,208	0,214
0.354 L	146	0,216	0,229	0,217	0,198	0,192	0,199	0,196	0,200
0.403 L	166	0,223	0,226	0,196	0,196	0,193	0,190	0,192	0,191
0.451 L	186	0,324	0,205	0,200	0,211	0,208	0,193	0,190	0,202
0.500 L	206	0,532	0,312	0,252	0,236	0,230	0,223	0,218	0,216

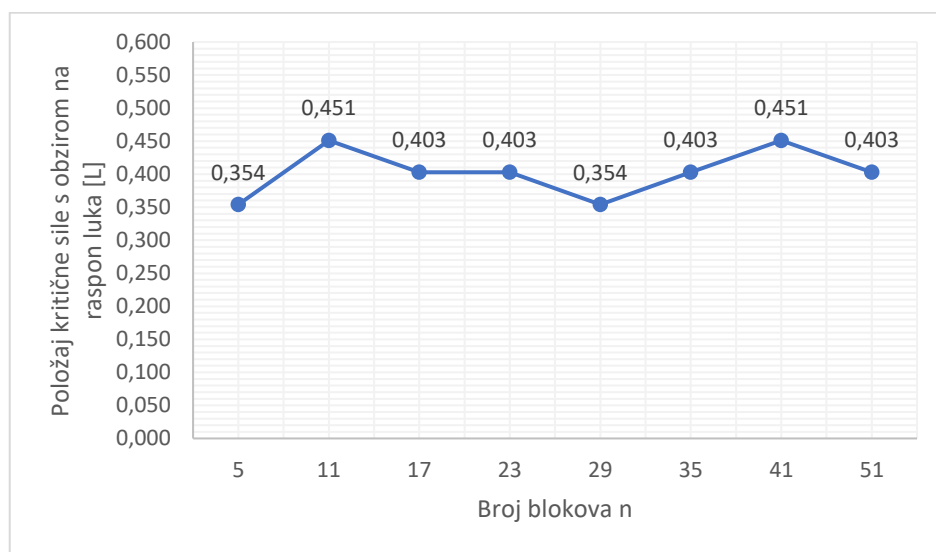
Na slici 85 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 86 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova

luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.216 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.19 kN dobivena je za luk s 35 blokova na položaju 166 cm od osi luka, odnosno 0.403 L i luk s 41 blokom na položaju 186 cm od osi luka, odnosno 0.451 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 13.7%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.354 L, za luk sa 17, 23, 35 i 51 blokom na 0.403 L, a za luk s 11 i 41 blokom na 0.451 L.



Slika 85: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 86: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

### 3.2. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

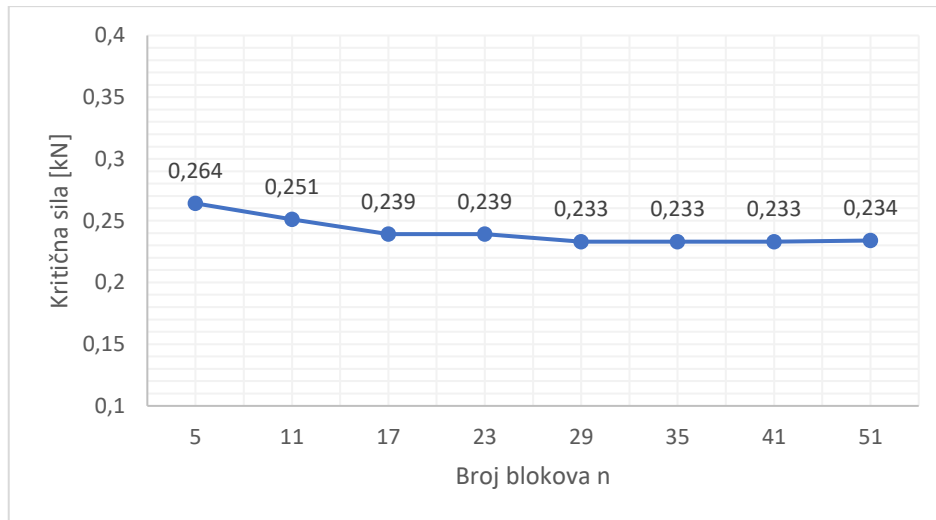
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja. U tablici 23 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 23: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> i bez nadsloja

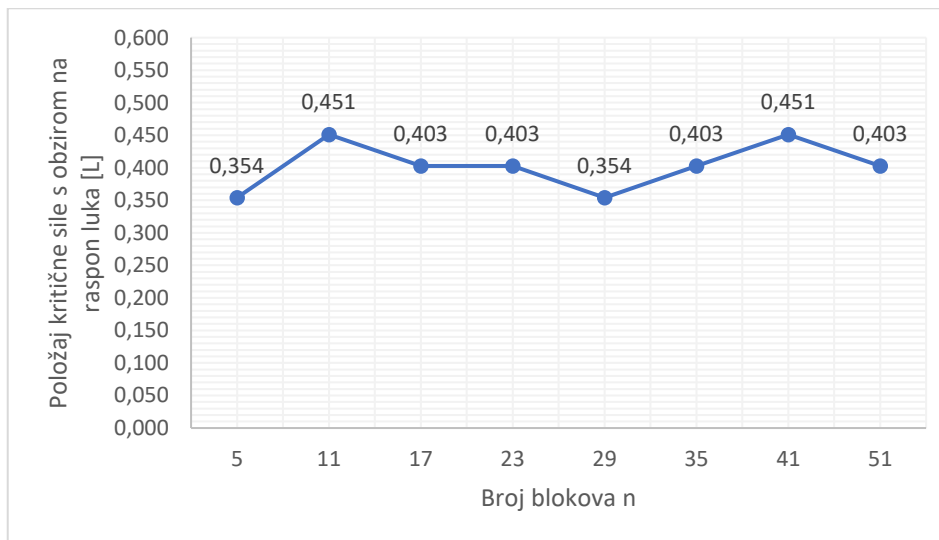
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	58,90	27,00	23,90	22,40	24,60	22,70	22,80	23,40
0.063 L	26	1,320	1,180	1,060	1,110	1,020	1,050	1,040	1,040
0.112 L	46	0,679	0,637	0,632	0,623	0,626	0,622	0,619	0,605
0.160 L	66	0,496	0,516	0,474	0,458	0,449	0,468	0,458	0,452
0.209 L	86	0,522	0,374	0,385	0,355	0,368	0,354	0,362	0,353
0.257 L	106	0,422	0,353	0,304	0,295	0,299	0,300	0,300	0,298
0.306 L	126	0,353	0,281	0,262	0,258	0,257	0,252	0,254	0,263
0.354 L	146	0,264	0,281	0,265	0,242	0,233	0,242	0,241	0,240
0.403 L	166	0,271	0,272	0,239	0,239	0,235	0,233	0,238	0,234
0.451 L	186	0,396	0,251	0,247	0,258	0,254	0,236	0,233	0,246
0.500 L	206	0,649	0,382	0,308	0,288	0,281	0,271	0,268	0,263

Na slici 87 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 88 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.264 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.233 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, za luk s 35 blokova na položaju 166 cm od osi luka, odnosno 0.403 L i za luk s 41 blokom na položaju 186 cm od osi luka, odnosno 0.451 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 13.3%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.354 L, za luk sa 17, 23, 35 i 51 blokom na 0.403 L, a za luk s 11 i 41 blokom na 0.451 L.



Slika 87: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 88: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

### 3.3. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja

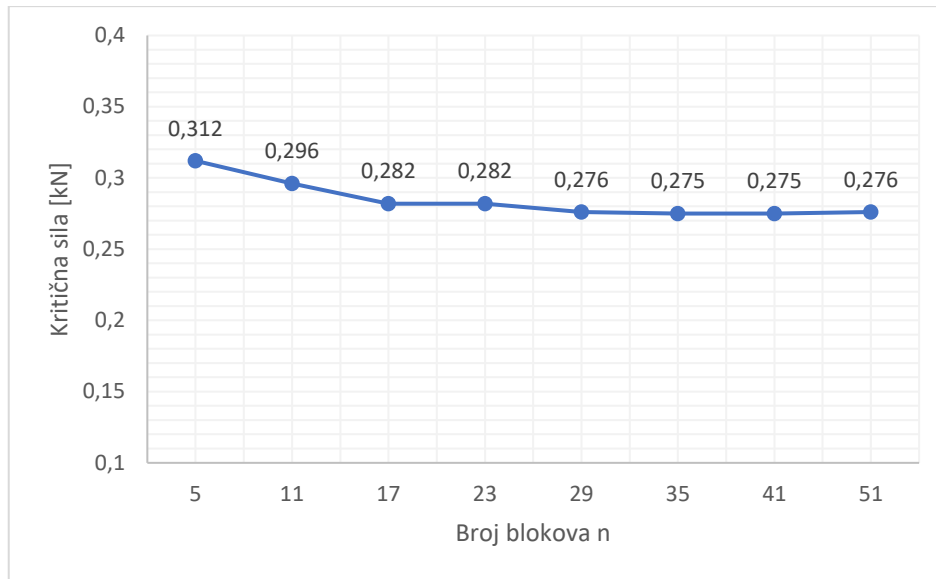
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, bez nadsloja. U tablici 24 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 24: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> i bez nadsloja

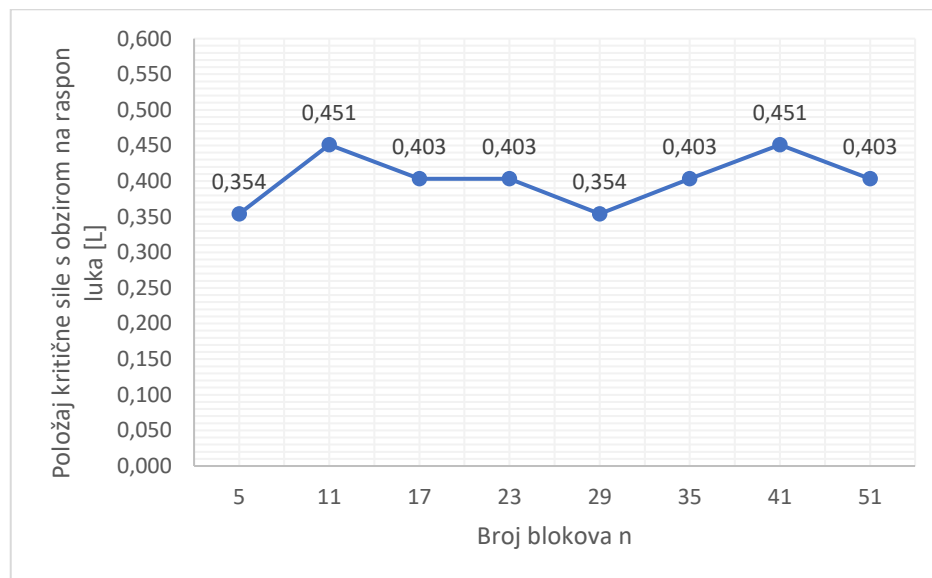
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	85,30	32,00	27,50	26,50	27,40	27,30	26,90	27,10
0.063 L	26	1,560	1,390	1,260	1,310	1,210	1,250	1,230	1,220
0.112 L	46	0,796	0,770	0,746	0,742	0,740	0,734	0,731	0,714
0.160 L	66	0,584	0,610	0,570	0,541	0,529	0,552	0,541	0,538
0.209 L	86	0,617	0,442	0,455	0,420	0,436	0,418	0,430	0,416
0.257 L	106	0,499	0,416	0,356	0,349	0,353	0,359	0,354	0,353
0.306 L	126	0,418	0,326	0,308	0,305	0,304	0,302	0,300	0,310
0.354 L	146	0,312	0,334	0,313	0,286	0,276	0,287	0,284	0,284
0.403 L	166	0,322	0,326	0,282	0,282	0,278	0,275	0,277	0,276
0.451 L	186	0,469	0,296	0,289	0,305	0,300	0,278	0,275	0,290
0.500 L	206	0,767	0,450	0,362	0,341	0,332	0,322	0,317	0,311

Na slici 89 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 90 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.312 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.275 kN dobivena je za luk s 35 blokova na položaju 166 cm od osi luka, odnosno 0.403 L i za luk s 41 blokom na položaju 186 cm od osi luka, odnosno 0.451 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 13.5%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.354 L, za luk sa 17, 23, 35 i 51 blokom na 0.403 L, a za luk s 11 i 41 blokom na 0.451 L.



Slika 89: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 90: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

### 3.4. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

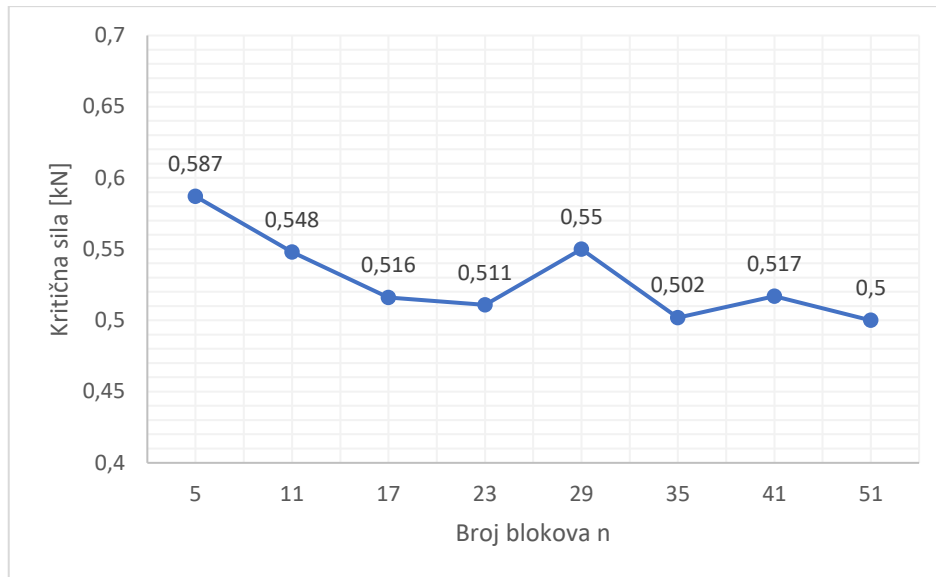
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 25 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 25: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

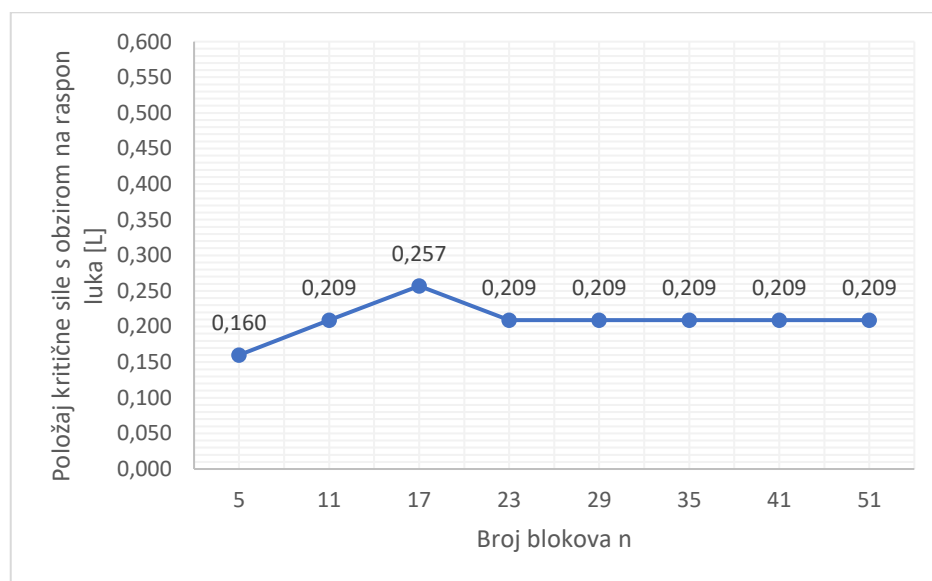
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	24,60	24,60	24,60	20,00	21,20	19,50	19,50	12,50
0.063 L	26	1,600	1,570	1,480	1,490	1,420	1,380	1,370	1,380
0.112 L	46	0,798	0,798	0,770	0,770	0,763	0,756	0,766	0,742
0.160 L	66	0,587	0,739	0,594	0,568	0,554	0,564	0,565	0,564
0.209 L	86	0,814	0,548	0,568	0,511	0,550	0,502	0,517	0,500
0.257 L	106	1,080	0,628	0,516	0,541	0,560	0,562	0,532	0,529
0.306 L	126	0,917	0,719	0,637	0,607	0,599	0,589	0,582	0,605
0.354 L	146	0,791	0,786	0,854	0,742	0,689	0,726	0,739	0,724
0.403 L	166	0,964	1,090	0,868	0,910	0,853	0,854	0,851	0,871
0.451 L	186	1,820	1,030	1,050	1,110	1,070	0,983	0,976	1,020
0.500 L	206	3,050	1,740	1,420	1,320	1,260	1,230	1,200	1,180

Na slici 91 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 92 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.587 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.5 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 17.4%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 29, 35, 41 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 blokova na 0.257 L.



Slika 91: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0 \text{ m}$  i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 92: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0 \text{ m}$  i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



### 3.5. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

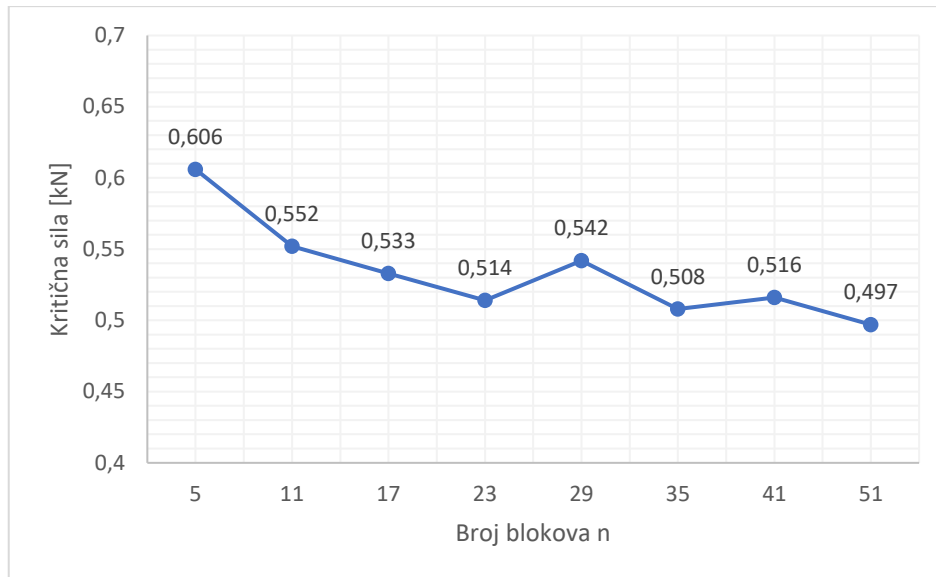
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 26 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 26: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

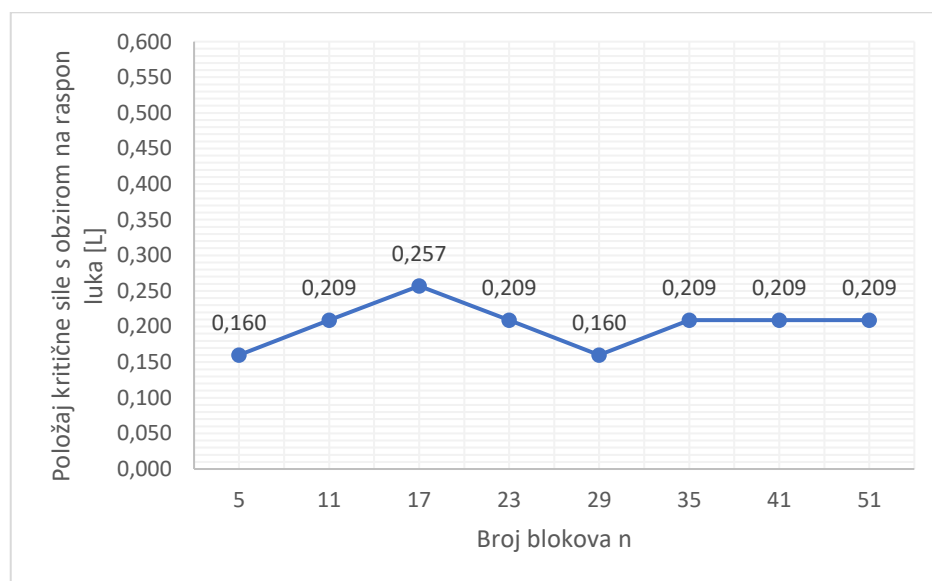
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	25,10	26,10	26,10	26,10	26,10	25,60	25,30	18,10
0.063 L	26	1,630	1,580	1,390	1,450	1,420	1,430	1,430	1,420
0.112 L	46	0,827	0,786	0,756	0,762	0,766	0,758	0,758	0,744
0.160 L	66	0,606	0,746	0,601	0,564	0,542	0,570	0,546	0,545
0.209 L	86	0,828	0,552	0,584	0,514	0,574	0,508	0,516	0,497
0.257 L	106	1,140	0,648	0,533	0,547	0,575	0,576	0,542	0,540
0.306 L	126	0,968	0,754	0,672	0,640	0,623	0,612	0,614	0,632
0.354 L	146	0,835	0,841	0,890	0,787	0,722	0,764	0,766	0,766
0.403 L	166	0,972	1,180	0,942	0,989	0,917	0,929	0,910	0,937
0.451 L	186	1,990	1,110	1,130	1,210	1,150	1,070	1,060	1,110
0.500 L	206	3,360	1,900	1,560	1,450	1,380	1,340	1,320	1,290

Na slici 93 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 94 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.606 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.497 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 21.9%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 35, 41 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 blokova na 0.257 L.



Slika 93: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0 \text{ m}$  i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 94: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0 \text{ m}$  i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

### 3.6. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

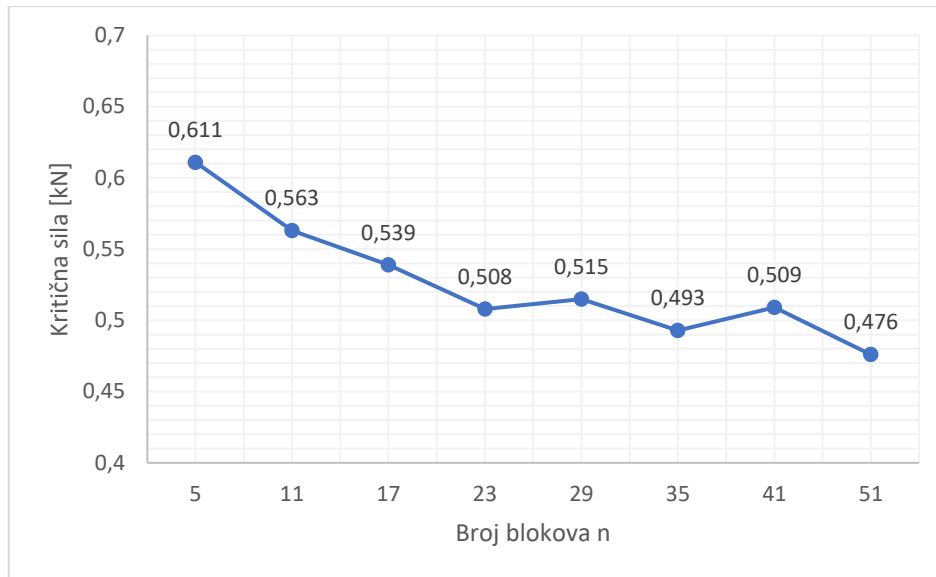
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 27 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 27: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

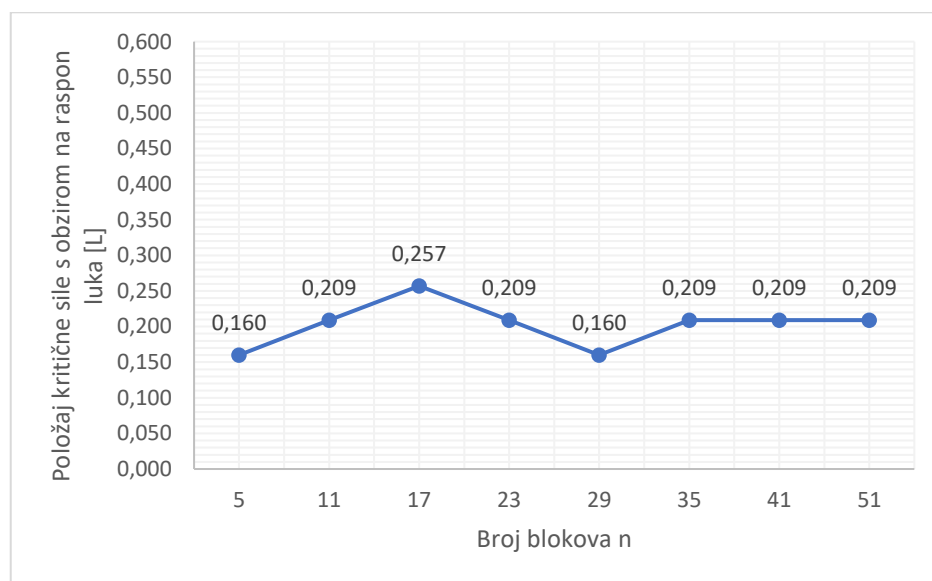
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	26,80	27,70	27,60	27,80	27,90	25,90	25,30	12,60
0.063 L	26	1,660	1,500	1,470	1,460	1,430	1,410	1,390	1,390
0.112 L	46	0,846	0,766	0,742	0,730	0,731	0,715	0,726	0,718
0.160 L	66	0,611	0,748	0,574	0,535	0,515	0,556	0,541	0,528
0.209 L	86	0,840	0,563	0,583	0,508	0,551	0,493	0,509	0,476
0.257 L	106	1,210	0,646	0,539	0,559	0,595	0,587	0,556	0,548
0.306 L	126	1,020	0,787	0,712	0,670	0,655	0,646	0,634	0,658
0.354 L	146	0,880	0,901	0,952	0,844	0,773	0,822	0,826	0,816
0.403 L	166	1,050	1,260	1,010	1,060	0,982	0,997	0,982	1,000
0.451 L	186	2,160	1,200	1,220	1,320	1,250	1,150	1,150	1,200
0.500 L	206	3,680	2,060	1,700	1,580	1,500	1,460	1,430	1,400

Na slici 95 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 96 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.611 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.476 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 28.4%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 35, 41 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 blokova na 0.257 L.



Slika 95: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 96: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

### 3.7. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

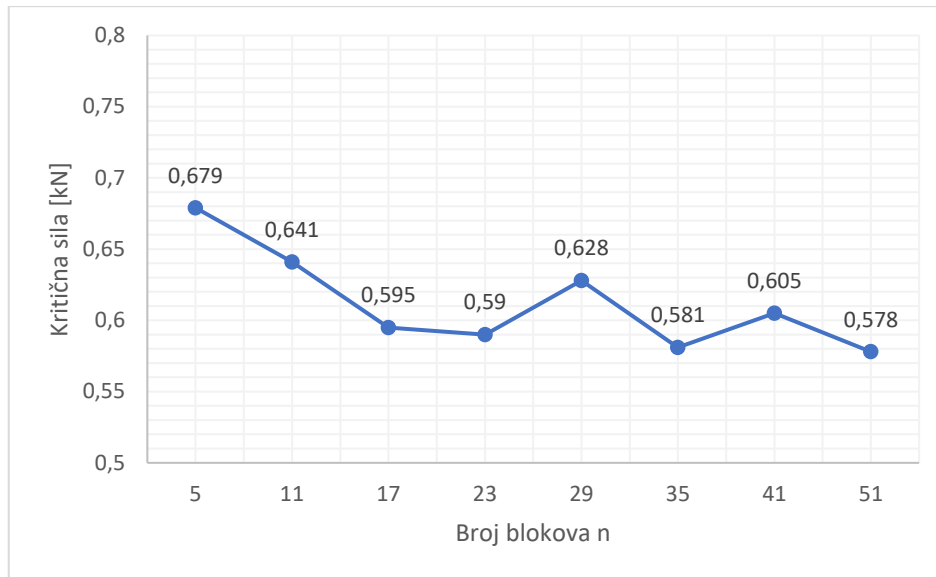
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 28 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 28: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

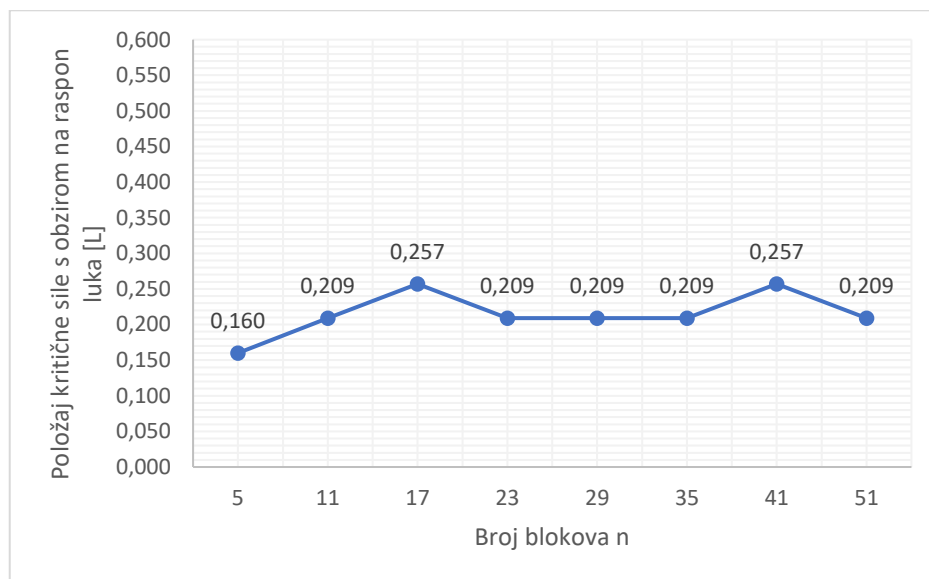
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	27,90	26,80	26,40	26,00	25,40	25,20	19,90	12,60
0.063 L	26	1,840	1,830	1,680	1,700	1,680	1,690	1,710	1,680
0.112 L	46	0,929	0,912	0,886	0,890	0,894	0,892	0,893	0,876
0.160 L	66	0,679	0,841	0,696	0,661	0,643	0,667	0,667	0,655
0.209 L	86	0,949	0,641	0,642	0,590	0,628	0,581	0,617	0,578
0.257 L	106	1,200	0,725	0,595	0,608	0,635	0,641	0,605	0,602
0.306 L	126	1,000	0,809	0,703	0,678	0,665	0,648	0,650	0,671
0.354 L	146	0,852	0,848	0,925	0,798	0,745	0,793	0,792	0,780
0.403 L	166	1,040	1,160	0,929	0,959	0,910	0,913	0,900	0,920
0.451 L	186	1,900	1,090	1,090	1,160	1,110	1,040	1,030	1,060
0.500 L	206	3,150	1,820	1,510	1,380	1,300	1,270	1,250	1,220

Na slici 97 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 98 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.679 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.578 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 17.5%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 29, 35 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 i 41 blokom na 0.257 L.



Slika 97: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 98: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

### 3.8. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

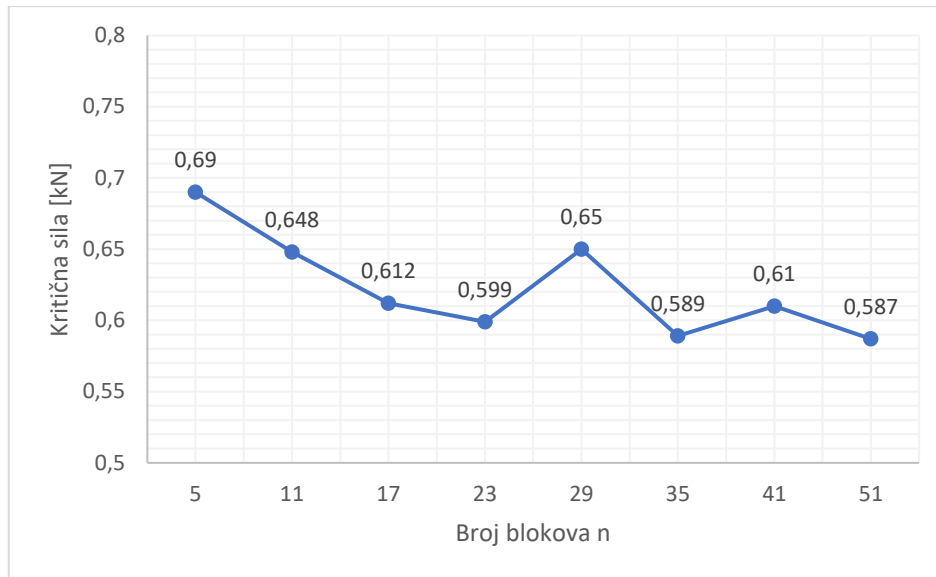
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 29 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 29: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

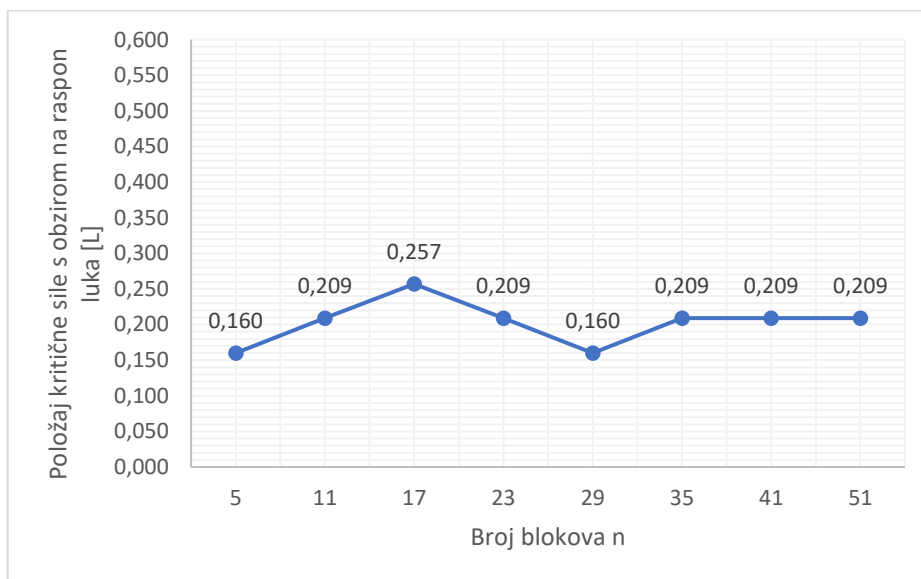
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	28,10	28,40	28,30	28,30	28,20	28,20	26,50	25,50
0.063 L	26	1,870	1,850	1,720	1,740	1,670	1,690	1,710	1,680
0.112 L	46	0,961	0,919	0,906	0,906	0,910	0,899	0,895	0,896
0.160 L	66	0,690	0,850	0,706	0,667	0,650	0,674	0,671	0,662
0.209 L	86	0,959	0,648	0,662	0,599	0,650	0,589	0,610	0,587
0.257 L	106	1,260	0,743	0,612	0,630	0,654	0,655	0,618	0,612
0.306 L	126	1,060	0,828	0,737	0,707	0,694	0,680	0,678	0,698
0.354 L	146	0,911	0,902	0,988	0,842	0,782	0,838	0,838	0,829
0.403 L	166	1,090	1,240	0,992	1,030	0,978	0,986	0,967	0,991
0.451 L	186	2,080	1,180	1,200	1,270	1,210	1,120	1,110	1,170
0.500 L	206	3,470	1,980	1,620	1,490	1,430	1,390	1,370	1,340

Na slici 99 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 100 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.690 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.587 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 17.5%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 35, 41 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 blokova na 0.257 L.



Slika 99: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 100: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine 0 m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



### 3.9. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

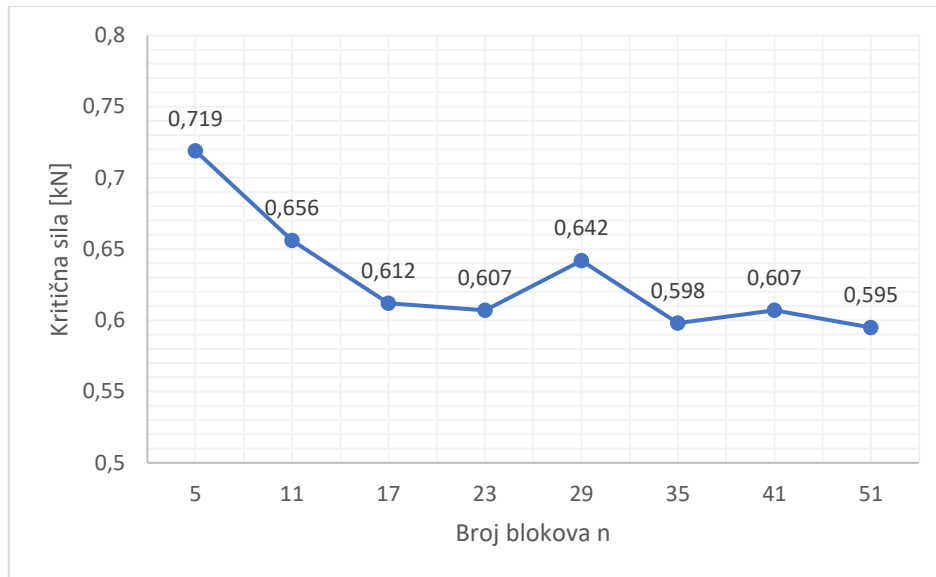
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 30 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 30: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

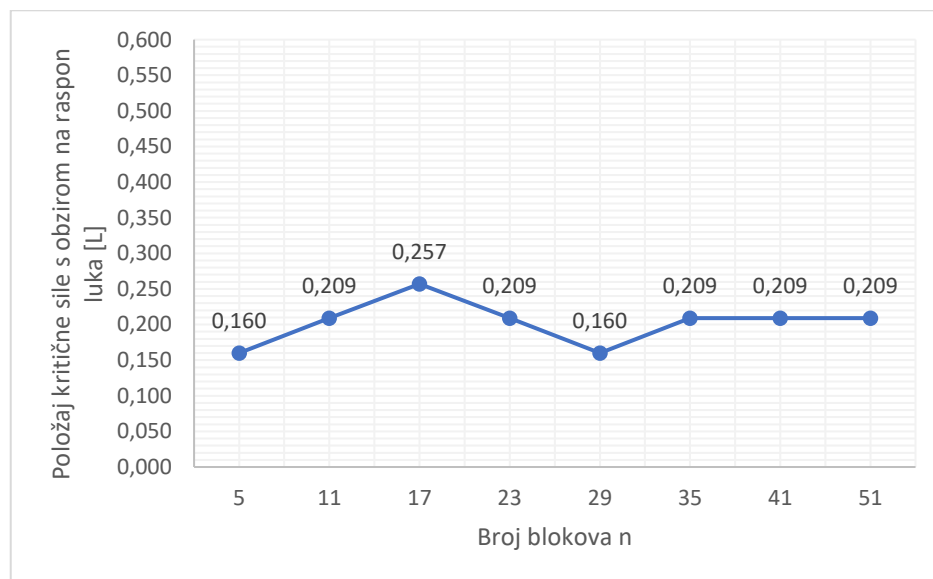
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	31,70	27,50	26,20	24,20	25,80	25,90	15,50	15,80
0.063 L	26	1,930	1,860	1,760	1,760	1,710	1,710	1,650	1,660
0.112 L	46	0,961	0,944	0,902	0,902	0,900	0,902	0,876	0,883
0.160 L	66	0,719	0,865	0,714	0,664	0,642	0,671	0,664	0,647
0.209 L	86	0,972	0,656	0,683	0,607	0,655	0,598	0,607	0,595
0.257 L	106	1,290	0,739	0,612	0,643	0,670	0,676	0,636	0,631
0.306 L	126	1,110	0,862	0,782	0,737	0,727	0,714	0,703	0,726
0.354 L	146	0,959	0,961	1,020	0,905	0,824	0,862	0,896	0,881
0.403 L	166	1,140	1,330	1,060	1,110	1,050	1,060	1,040	1,060
0.451 L	186	2,250	1,260	1,280	1,360	1,310	1,210	1,200	1,240
0.500 L	206	3,780	2,140	1,760	1,630	1,560	1,510	1,490	1,450

Na slici 101 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 102 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 0.719 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.595 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 86 cm od osi luka, odnosno 0.209 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 20.8%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 29 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11, 23, 35, 41 i 51 blokom na 0.209 L, a za luk sa 17 blokova na 0.257 L.



Slika 101: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 102: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

### 3.10. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

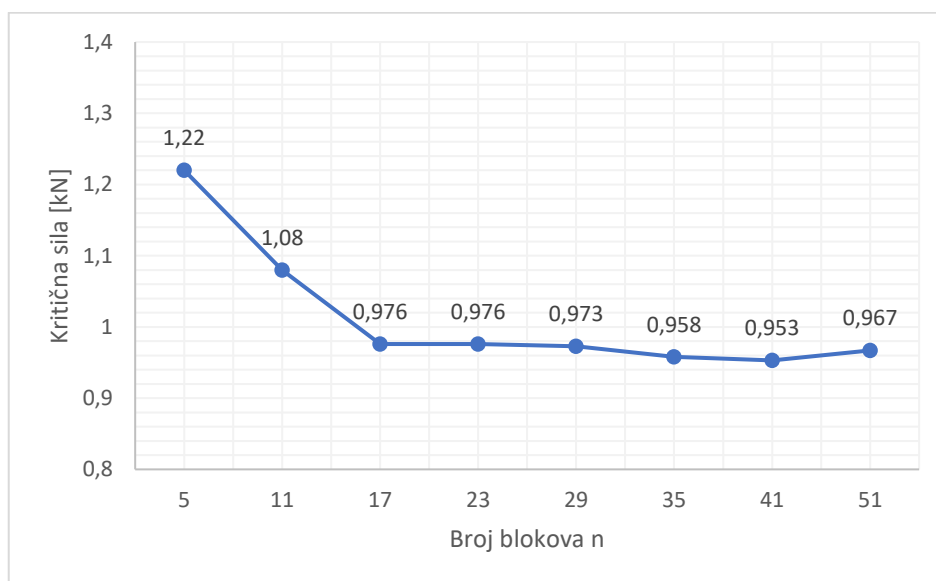
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 31 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 31: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

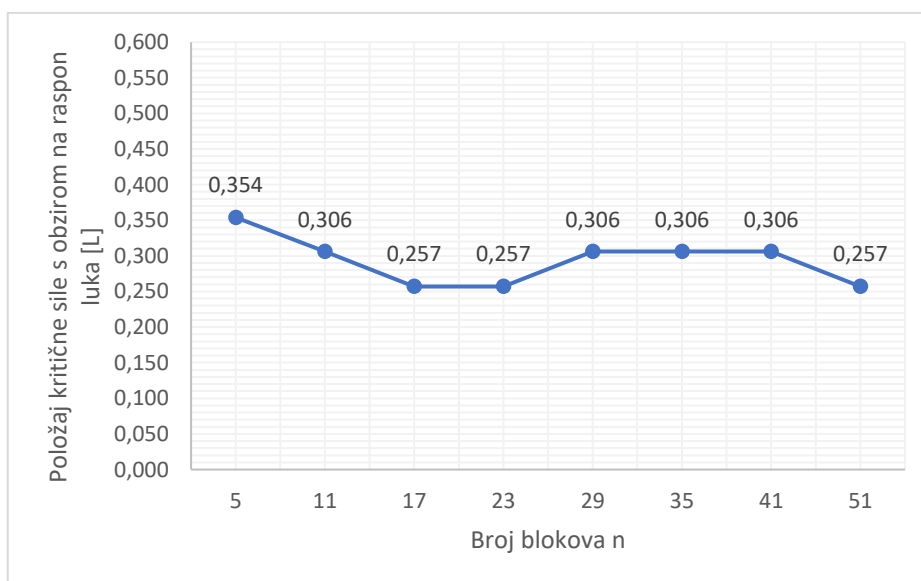
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	54,20	36,80	35,80	35,70	37,40	36,50	36,10	32,40
0.063 L	26	3,390	3,250	2,890	2,910	2,820	2,870	2,870	2,870
0.112 L	46	1,680	1,630	1,620	1,630	1,630	1,620	1,590	1,560
0.160 L	66	1,220	1,460	1,280	1,200	1,190	1,260	1,240	1,210
0.209 L	86	1,670	1,100	1,170	1,040	1,110	1,020	1,080	1,020
0.257 L	106	1,710	1,200	0,976	0,976	1,000	1,020	0,988	0,967
0.306 L	126	1,430	1,080	1,020	0,988	0,973	0,958	0,953	0,992
0.354 L	146	1,220	1,140	1,210	1,060	1,010	1,050	1,050	1,060
0.403 L	166	1,430	1,390	1,160	1,190	1,140	1,140	1,130	1,140
0.451 L	186	2,170	1,250	1,280	1,380	1,330	1,240	1,230	1,260
0.500 L	206	3,710	2,000	1,740	1,610	1,560	1,520	1,490	1,460

Na slici 103 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 104 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.22 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 0.953 kN dobivena je za luk s 41 blokom na položaju 126 cm od osi luka, odnosno 0.306 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 28.0%.

Kritični položaj sile za luk sa 17, 23 i 51 blokom nalazi se na udaljenosti 0.257 L, za luk s 11, 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L, a za luk s 5 blokova na 0.354 L.



Slika 103: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 104: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

### 3.11. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

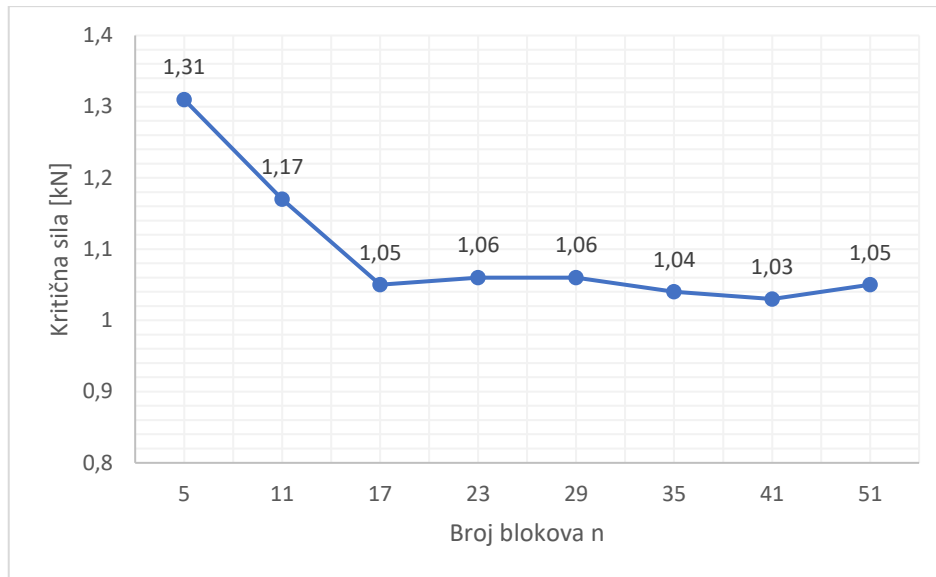
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 32 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 32: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

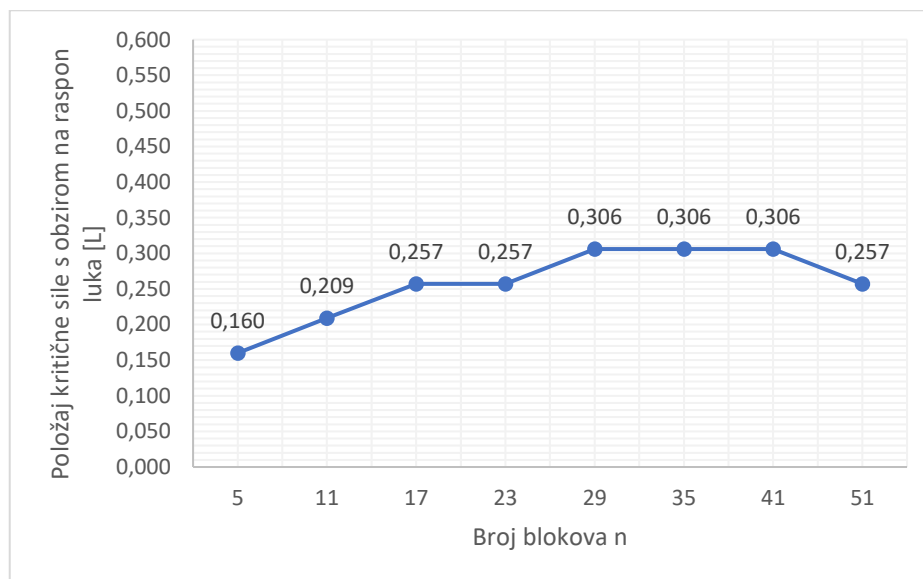
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	58,50	38,80	39,30	39,00	38,80	39,60	39,70	39,50
0.063 L	26	3,59	3,43	3,10	3,14	3,04	3,06	3,10	3,10
0.112 L	46	1,80	1,74	1,75	1,74	1,74	1,71	1,72	1,67
0.160 L	66	1,31	1,56	1,38	1,30	1,28	1,33	1,32	1,30
0.209 L	86	1,80	1,17	1,27	1,13	1,19	1,11	1,15	1,09
0.257 L	106	1,89	1,29	1,05	1,06	1,09	1,12	1,06	1,05
0.306 L	126	1,55	1,18	1,11	1,07	1,06	1,04	1,03	1,08
0.354 L	146	1,33	1,23	1,32	1,16	1,09	1,16	1,14	1,16
0.403 L	166	1,59	1,52	1,28	1,30	1,25	1,24	1,24	1,25
0.451 L	186	2,40	1,38	1,40	1,51	1,46	1,36	1,35	1,39
0.500 L	206	4,09	2,20	1,88	1,78	1,72	1,68	1,64	1,61

Na slici 105 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 106 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.31 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.03 kN dobivena je za luk s 41 blokom na položaju 126 cm od osi luka, odnosno 0.306 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 27.2%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11 blokova na 0.209 L, za luk sa 17, 23 i 51 blokom na 0.257 L, a za luk s 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L.



Slika 105: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 106: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

### 3.12. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

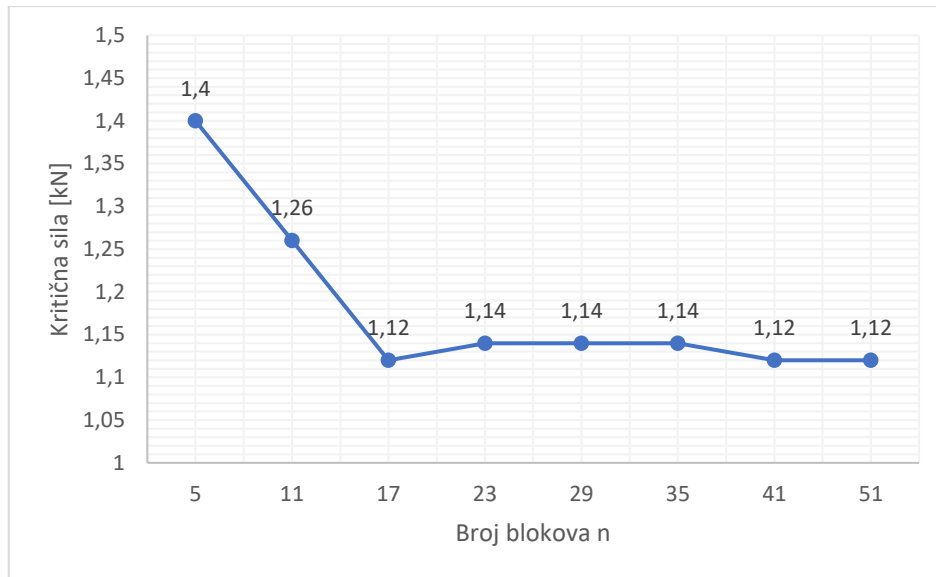
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 33 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 33: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

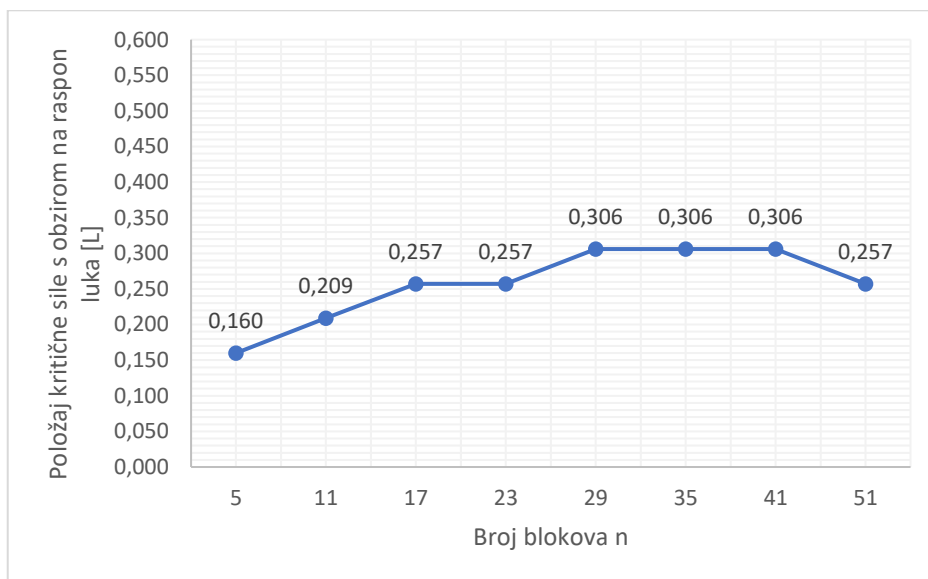
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	62,80	44,60	37,00	38,30	37,80	37,50	36,70	35,50
0.063 L	26	3,84	3,67	3,25	3,37	3,26	3,28	3,33	3,32
0.112 L	46	1,91	1,86	1,87	1,86	1,84	1,83	1,85	1,79
0.160 L	66	1,40	1,68	1,47	1,39	1,34	1,41	1,41	1,39
0.209 L	86	1,92	1,26	1,38	1,19	1,28	1,19	1,23	1,17
0.257 L	106	2,01	1,39	1,12	1,14	1,17	1,20	1,14	1,12
0.306 L	126	1,69	1,28	1,21	1,17	1,14	1,14	1,12	1,16
0.354 L	146	1,44	1,33	1,45	1,26	1,18	1,27	1,25	1,25
0.403 L	166	1,71	1,66	1,38	1,42	1,37	1,36	1,35	1,36
0.451 L	186	2,62	1,51	1,53	1,65	1,59	1,48	1,47	1,53
0.500 L	206	4,46	2,40	2,10	1,95	1,88	1,83	1,80	1,76

Na slici 107 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 108 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.4 kN na položaju 66 cm od osi luka, odnosno 0.160 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.12 kN dobivena je za luk s 51 blokom na položaju 106 cm od osi luka, odnosno 0.257 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 25.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.160 L, za luk s 11 blokova na 0.209 L, za luk sa 17, 23 i 51 blokom na 0.257 L, a za luk s 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L.



Slika 107: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 108: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



### 3.13. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

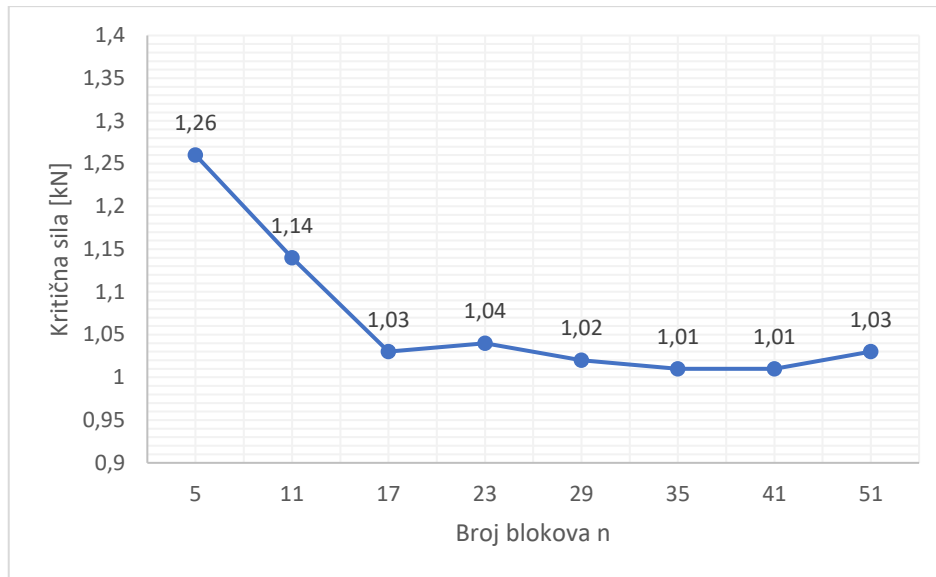
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 34 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 34: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

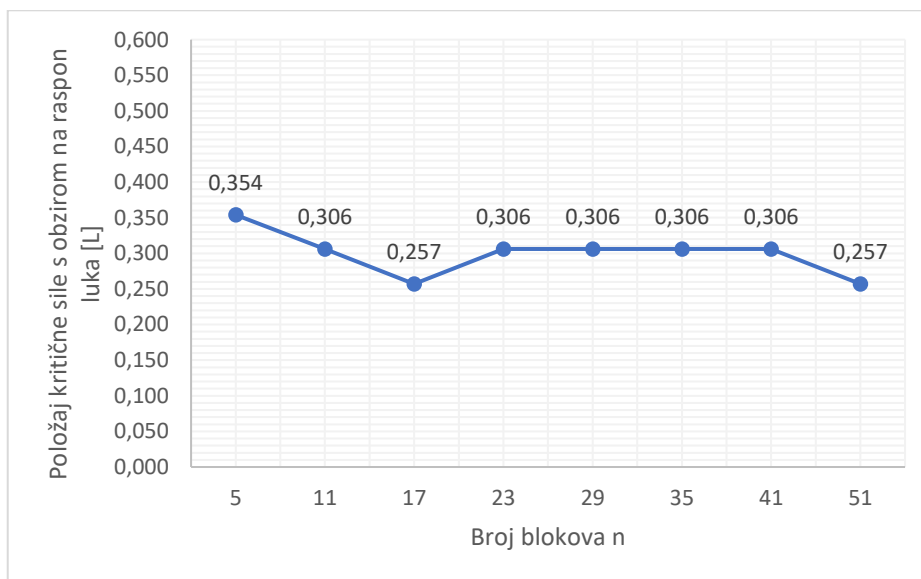
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	57,90	40,40	37,10	37,20	36,70	35,20	36,20	36,00
0.063 L	26	3,65	3,50	3,07	3,17	2,99	3,03	3,12	3,05
0.112 L	46	1,80	1,75	1,74	1,73	1,74	1,75	1,75	1,69
0.160 L	66	1,31	1,57	1,38	1,30	1,26	1,34	1,31	1,32
0.209 L	86	1,81	1,18	1,27	1,11	1,18	1,10	1,16	1,09
0.257 L	106	1,84	1,26	1,03	1,05	1,07	1,08	1,05	1,03
0.306 L	126	1,53	1,14	1,09	1,04	1,02	1,01	1,01	1,05
0.354 L	146	1,26	1,20	1,27	1,11	1,05	1,12	1,07	1,11
0.403 L	166	1,49	1,44	1,21	1,24	1,18	1,18	1,18	1,18
0.451 L	186	2,24	1,29	1,32	1,43	1,38	1,29	1,27	1,32
0.500 L	206	3,84	2,08	1,79	1,64	1,61	1,56	1,53	1,51

Na slici 109 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 110 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.26 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.01 kN dobivena je za luk s 41 blokom na položaju 126 cm od osi luka, odnosno 0.306 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 24.8%.

Kritični položaj sile za luk sa 17 i 51 blokom nalazi se na udaljenosti 0.257 L, za luk s 11, 23, 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L, a za luk s 5 blokova na 0.354 L.



Slika 109: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 110: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

### 3.14. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

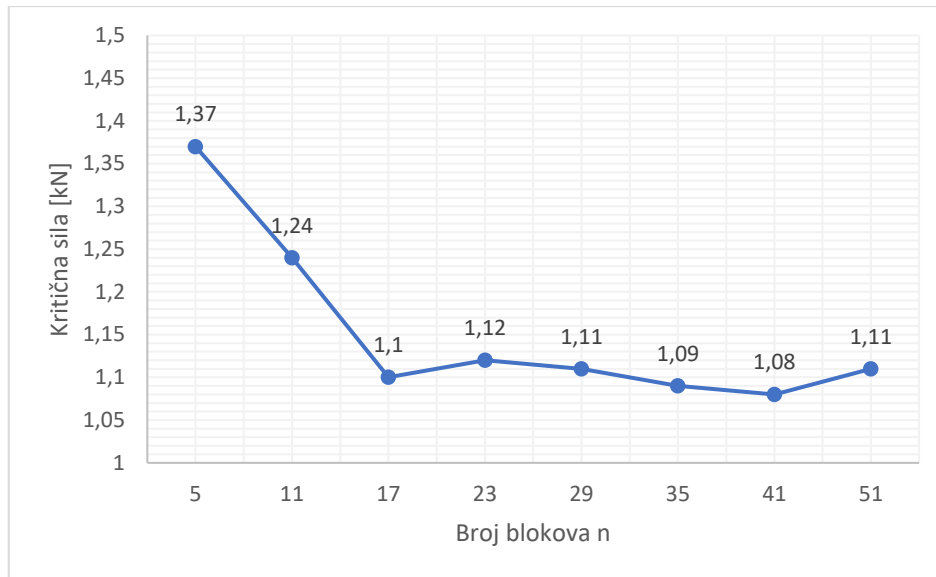
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 35 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 35: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

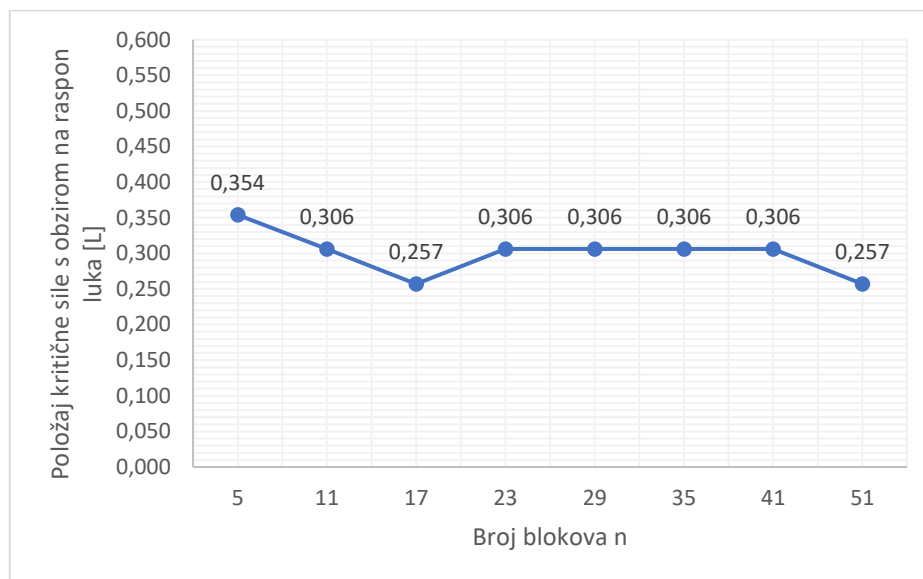
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	62,20	42,70	40,70	40,40	40,20	40,00	40,10	39,90
0.063 L	26	3,83	3,72	3,32	3,33	3,22	3,31	3,34	3,28
0.112 L	46	1,92	1,87	1,86	1,87	1,87	1,87	1,87	1,79
0.160 L	66	1,39	1,68	1,46	1,42	1,36	1,43	1,42	1,38
0.209 L	86	1,94	1,27	1,37	1,20	1,28	1,17	1,23	1,17
0.257 L	106	1,97	1,36	1,10	1,13	1,16	1,19	1,13	1,11
0.306 L	126	1,63	1,24	1,16	1,12	1,11	1,09	1,08	1,14
0.354 L	146	1,37	1,30	1,38	1,20	1,14	1,19	1,18	1,20
0.403 L	166	1,62	1,58	1,33	1,35	1,29	1,29	1,28	1,30
0.451 L	186	2,46	1,42	1,45	1,56	1,51	1,40	1,40	1,44
0.500 L	206	3,47	2,28	1,94	1,83	1,77	1,72	1,69	1,66

Na slici 111 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 112 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.37 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.08 kN dobivena je za luk s 41 blokom na položaju 126 cm od osi luka, odnosno 0.306 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 26.9%.

Kritični položaj sile za luk sa 17 i 51 blokom nalazi se na udaljenosti 0.257 L, za luk s 11, 23, 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L, a za luk s 5 blokova na 0.354 L.



Slika 111: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 112: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

### 3.15. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

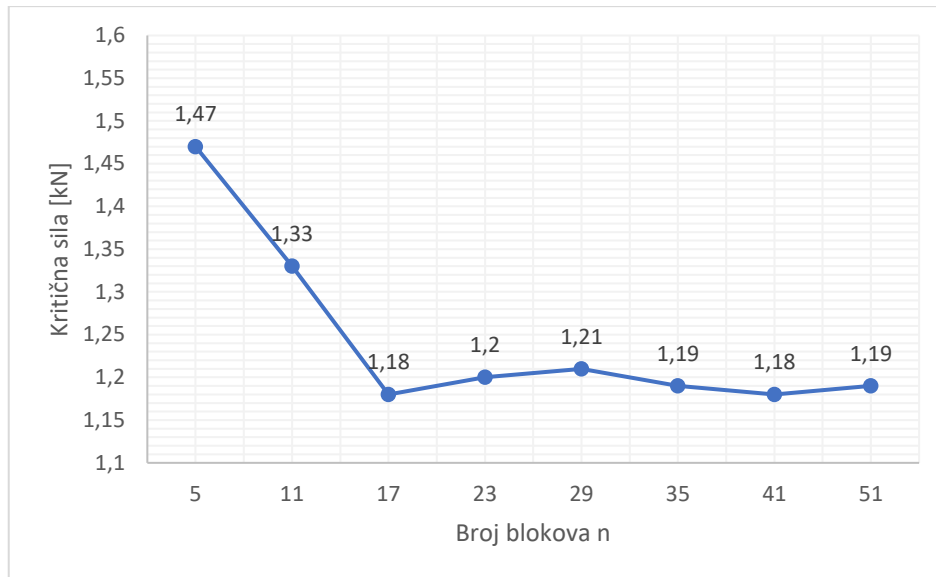
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 36 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 36: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

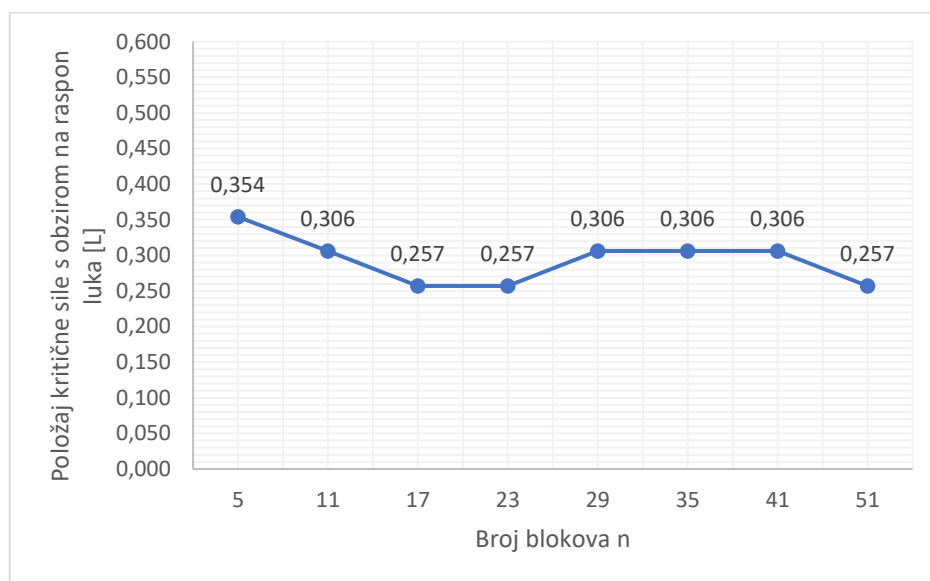
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	66,40	46,90	44,20	43,80	45,80	45,10	44,70	43,90
0.063 L	26	4,09	3,96	3,53	3,56	3,45	3,52	3,51	3,51
0.112 L	46	2,03	1,99	1,98	1,99	1,99	1,98	1,95	1,90
0.160 L	66	1,48	1,79	1,58	1,47	1,45	1,51	1,51	1,48
0.209 L	86	2,06	1,34	1,44	1,27	1,34	1,25	1,31	1,25
0.257 L	106	2,14	1,47	1,18	1,20	1,24	1,26	1,21	1,19
0.306 L	126	1,77	1,33	1,26	1,22	1,21	1,19	1,18	1,23
0.354 L	146	1,47	1,39	1,50	1,31	1,24	1,31	1,31	1,29
0.403 L	166	1,75	1,71	1,44	1,47	1,42	1,40	1,39	1,42
0.451 L	186	2,69	1,55	1,58	1,70	1,64	1,53	1,51	1,55
0.500 L	206	4,59	2,52	2,15	2,00	1,93	1,92	1,84	1,81

Na slici 113 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 114 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.47 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.18 kN dobivena je za luk sa 17 blokova na položaju 106 cm od osi luka, odnosno 0.257 L i za luk s 41 blokom na položaju 126 cm od osi luka, odnosno 0.306 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 24.8%.

Kritični položaj sile za luk sa 17, 23 i 51 blokom nalazi se na udaljenosti 0.257 L, za luk s 11, 29, 35 i 41 blokom na 0.306 L, a za luk s 5 blokova na 0.354 L.



Slika 113: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 114: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

### 3.16. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

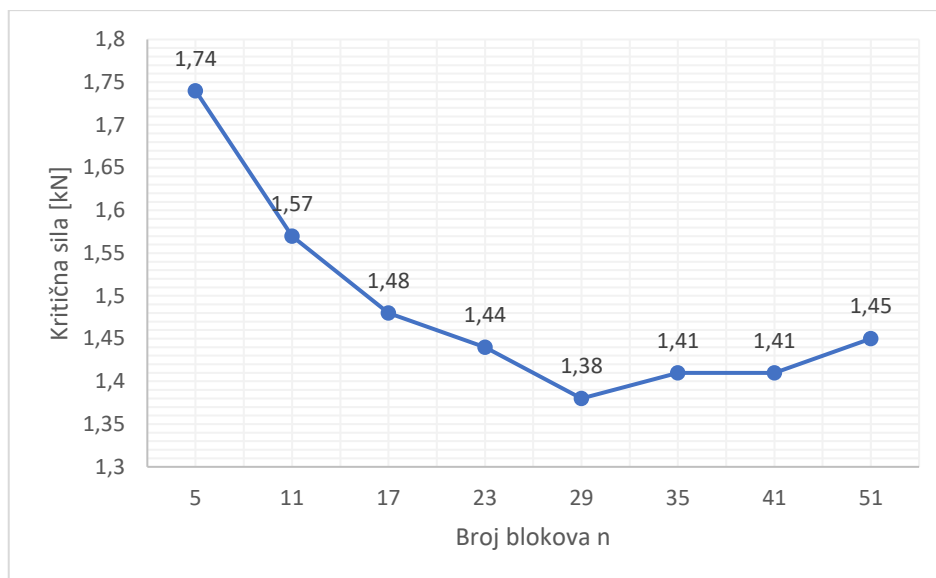
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 37 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 37: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

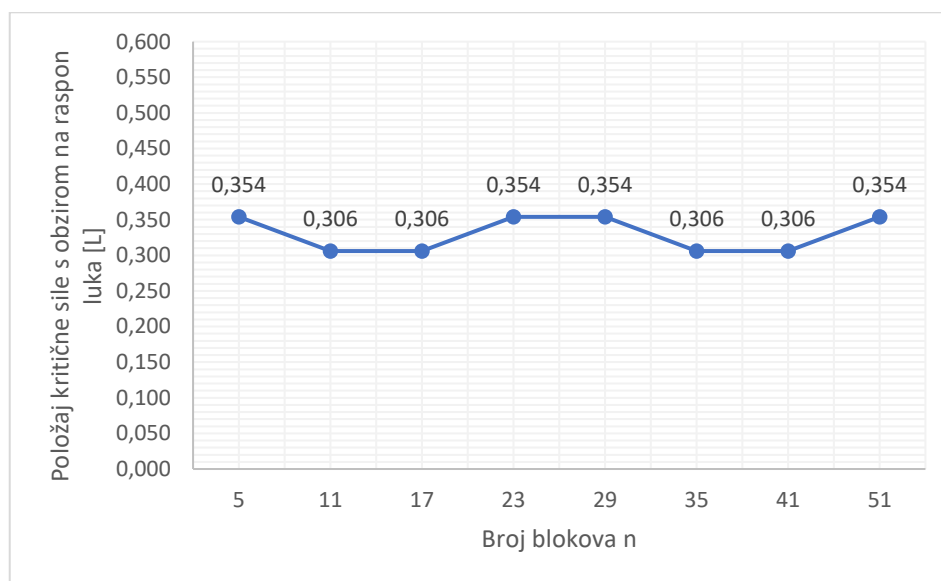
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	84,70	57,70	50,10	52,30	55,20	49,10	52,80	54,10
0.063 L	26	5,76	5,40	5,40	5,01	4,65	4,75	4,82	4,79
0.112 L	46	2,94	2,89	2,83	2,83	2,82	2,79	2,80	2,67
0.160 L	66	2,13	2,45	2,21	2,11	2,04	2,18	2,12	2,10
0.209 L	86	2,90	1,84	1,92	1,72	1,81	1,71	1,78	1,68
0.257 L	106	2,60	1,88	1,54	1,53	1,55	1,58	1,55	1,52
0.306 L	126	2,18	1,57	1,48	1,46	1,42	1,41	1,41	1,46
0.354 L	146	1,74	1,59	1,61	1,44	1,38	1,47	1,45	1,45
0.403 L	166	1,86	1,71	1,52	1,54	1,49	1,48	1,48	1,50
0.451 L	186	2,64	1,58	1,65	1,71	1,67	1,56	1,54	1,62
0.500 L	206	4,31	2,56	2,10	1,99	1,90	1,86	1,83	1,79

Na slici 115 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 116 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.74 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.38 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 26.1%.

Kritični položaj sile za luk s 11, 17, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, a za luk s 5, 23, 29 i 51 blokom na 0.354 L.



Slika 115: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 116: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



### 3.17. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

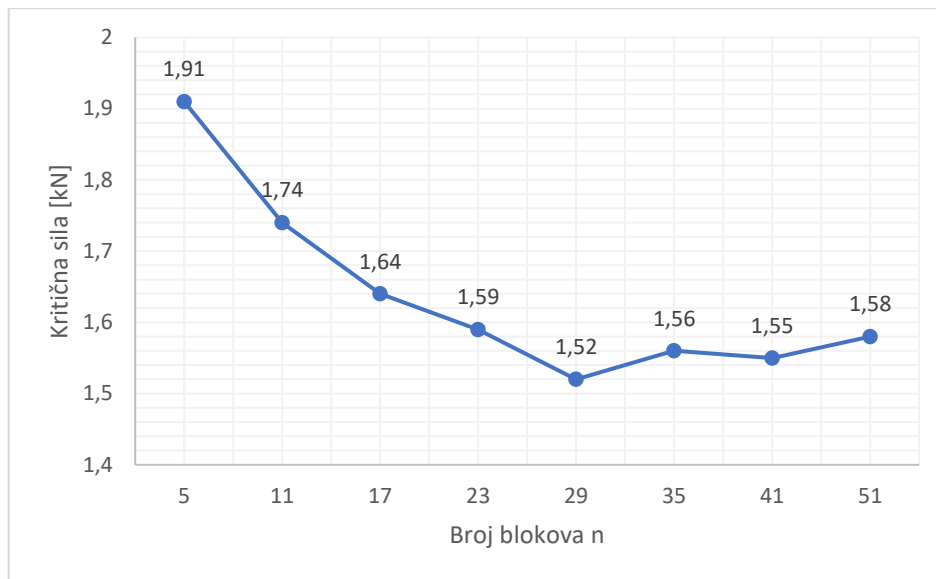
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 38 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 38: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

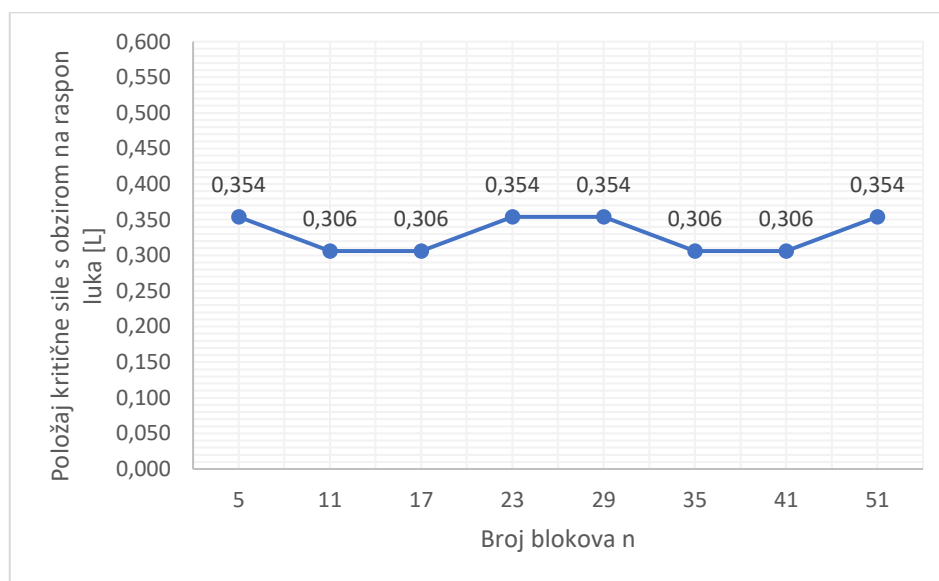
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	72,00	63,40	59,30	57,60	57,50	58,60	58,40	58,40
0.063 L	26	6,38	5,93	5,28	5,55	5,12	5,22	5,30	5,26
0.112 L	46	3,19	3,14	3,11	3,08	3,11	3,07	3,11	2,91
0.160 L	66	2,33	2,68	2,43	2,35	2,27	2,36	2,31	2,28
0.209 L	86	3,17	2,01	2,13	1,91	2,00	1,87	1,93	1,86
0.257 L	106	2,86	2,06	1,68	1,68	1,72	1,75	1,72	1,67
0.306 L	126	2,39	1,74	1,64	1,60	1,57	1,56	1,55	1,61
0.354 L	146	1,91	1,76	1,78	1,59	1,52	1,63	1,58	1,58
0.403 L	166	2,05	1,89	1,67	1,71	1,64	1,63	1,64	1,65
0.451 L	186	2,91	1,75	1,83	1,90	1,84	1,73	1,70	1,79
0.500 L	206	4,76	2,83	2,33	2,20	2,10	2,06	2,02	1,98

Na slici 117 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 118 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.91 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.52 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 25.7%.

Kritični položaj sile za luk s 11, 17, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, a za luk s 5, 23, 29 i 51 blokom na 0.354 L.



Slika 117: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 118: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$

### 3.18. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

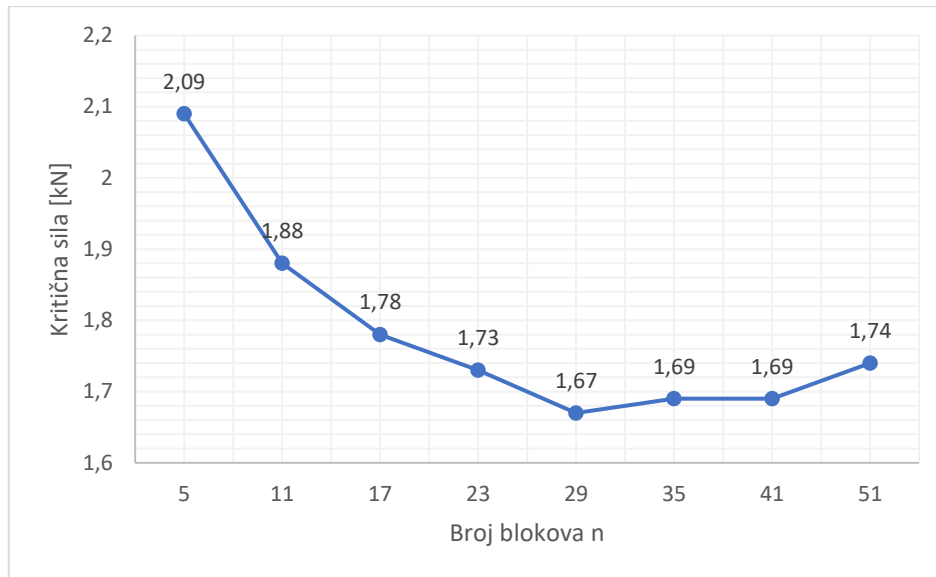
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 39 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 39: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

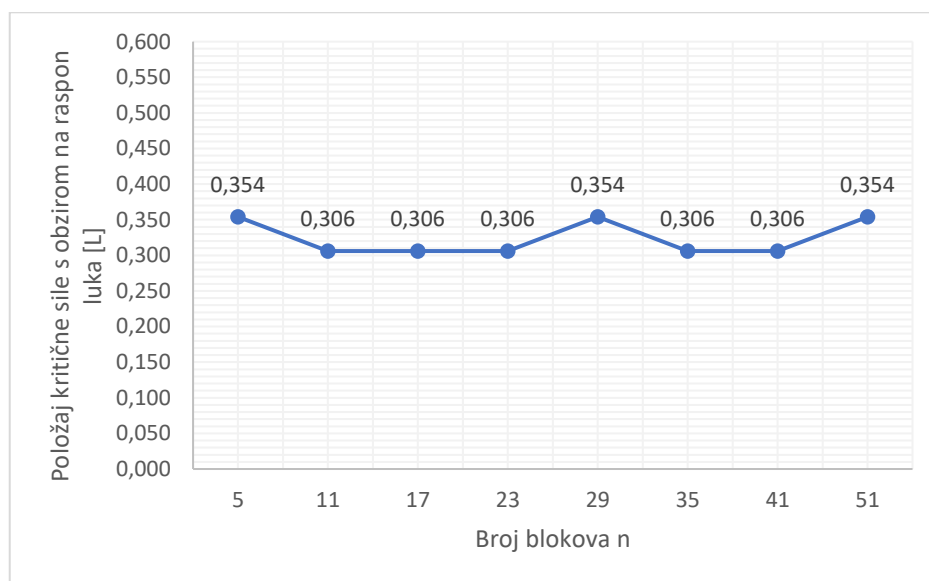
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	85,50	60,00	60,90	62,80	66,30	64,10	63,00	64,00
0.063 L	26	6,86	6,46	5,81	6,10	5,53	5,70	5,78	5,74
0.112 L	46	3,46	3,42	3,41	3,37	3,34	3,37	3,33	3,15
0.160 L	66	2,54	2,91	2,65	2,54	2,44	2,59	2,55	2,52
0.209 L	86	3,44	2,20	2,29	2,07	2,19	2,04	2,11	2,05
0.257 L	106	3,12	2,25	1,83	1,84	1,87	1,90	1,85	1,83
0.306 L	126	2,61	1,88	1,78	1,73	1,71	1,69	1,69	1,76
0.354 L	146	2,09	1,93	1,95	1,75	1,67	1,76	1,74	1,74
0.403 L	166	2,24	2,07	1,82	1,87	1,80	1,79	1,78	1,81
0.451 L	186	3,19	1,92	2,00	2,08	2,02	1,90	1,87	1,96
0.500 L	206	5,22	3,10	2,55	2,41	2,31	2,26	2,21	2,17

Na slici 119 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 120 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 2.09 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.67 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 25.1%.

Kritični položaj sile za luk s 11, 17, 23, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, a za luk s 5, 29 i 51 blokom na 0.354 L.



Slika 119: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 120: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

### 3.19. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

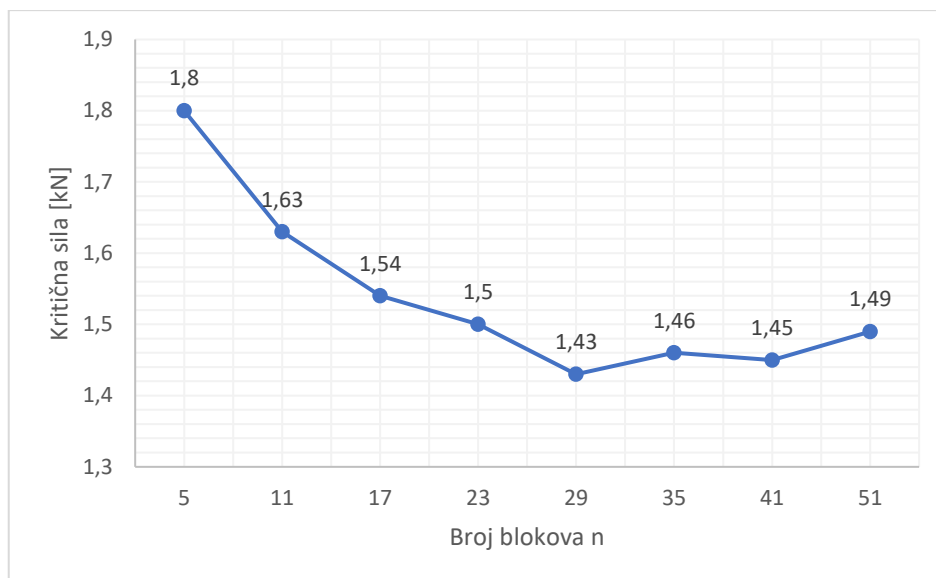
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 40 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 40: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

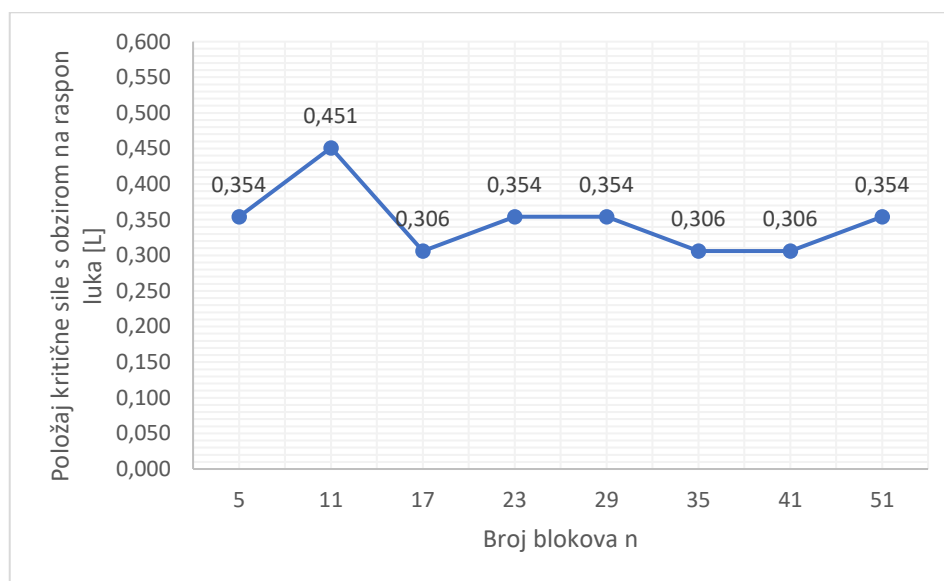
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	91,10	55,70	55,80	53,40	54,60	50,40	52,40	49,80
0.063 L	26	6,04	5,62	4,97	5,26	4,81	5,13	5,00	4,97
0.112 L	46	3,04	3,00	2,99	2,92	2,96	2,94	2,95	2,80
0.160 L	66	2,21	2,54	2,33	2,20	2,15	2,26	2,20	2,18
0.209 L	86	3,04	1,91	2,01	1,80	1,87	1,76	1,84	1,76
0.257 L	106	2,70	1,94	1,58	1,57	1,62	1,65	1,60	1,59
0.306 L	126	2,24	1,63	1,54	1,50	1,47	1,46	1,45	1,52
0.354 L	146	1,80	1,65	1,67	1,50	1,43	1,52	1,48	1,49
0.403 L	166	1,91	1,76	1,56	1,59	1,53	1,51	1,53	1,55
0.451 L	186	2,71	1,63	1,70	1,76	1,71	1,60	1,58	1,65
0.500 L	206	4,43	2,64	2,16	2,05	1,96	1,92	1,88	1,84

Na slici 121 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 122 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.80 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.43 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 25.9%.

Kritični položaj sile za luk sa 17, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, za luk s 5, 23, 29 i 51 blokom na 0.354 L, a za luk s 11 blokova na 0.451 L.



Slika 121: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 122: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

### 3.20. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

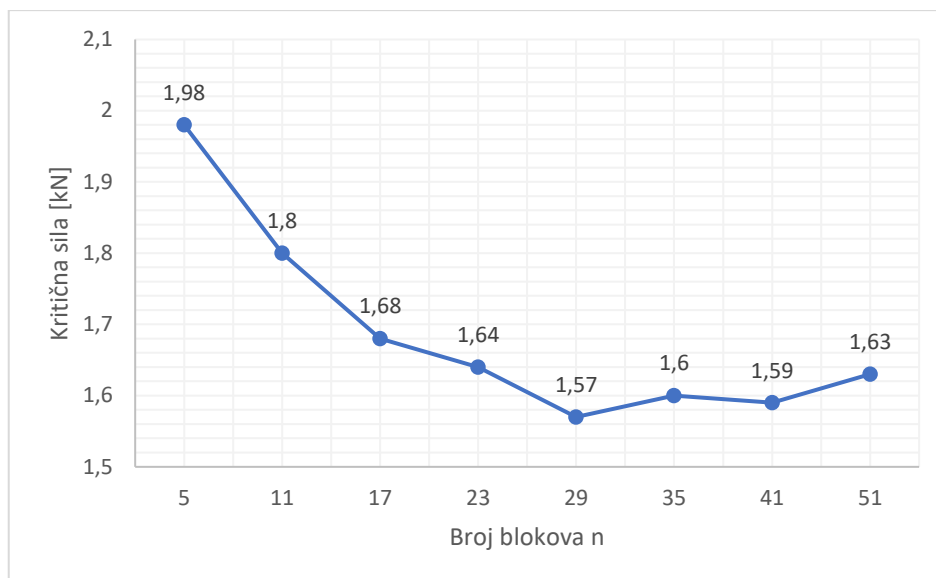
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 41 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 41: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 18 kN/m<sup>3</sup>

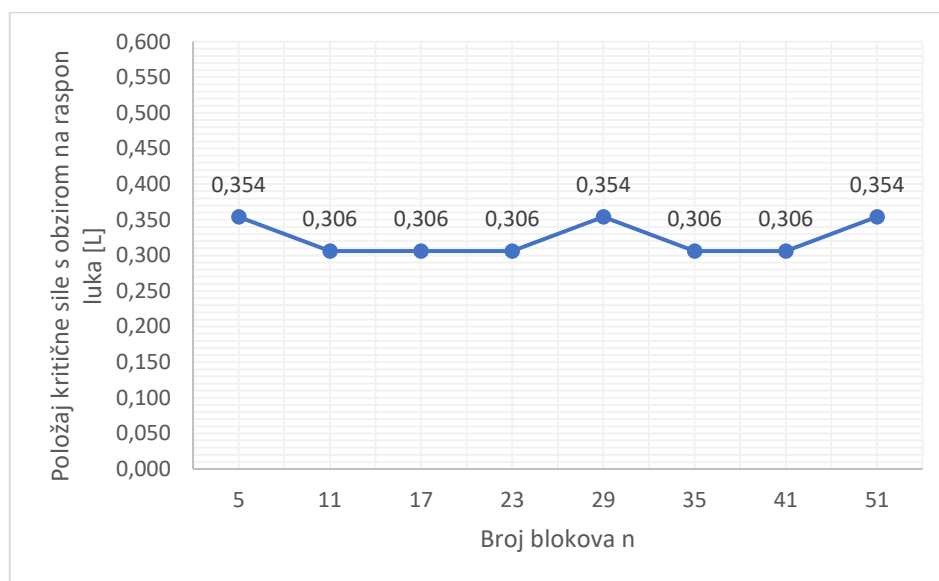
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	85,50	65,50	61,20	58,90	58,60	61,10	59,90	59,90
0.063 L	26	6,58	6,15	5,50	5,68	5,29	5,40	5,48	5,44
0.112 L	46	3,30	3,27	3,25	3,21	3,20	3,22	3,18	3,04
0.160 L	66	2,42	2,78	2,52	2,40	2,36	2,46	2,43	2,41
0.209 L	86	3,31	2,10	2,18	1,95	2,08	1,94	2,01	1,94
0.257 L	106	2,95	2,15	1,75	1,75	1,78	1,79	1,75	1,73
0.306 L	126	2,41	1,80	1,68	1,64	1,60	1,60	1,59	1,66
0.354 L	146	1,98	1,81	1,84	1,66	1,57	1,67	1,64	1,63
0.403 L	166	2,10	1,94	1,72	1,74	1,70	1,68	1,68	1,71
0.451 L	186	2,99	1,79	1,87	1,94	1,89	1,77	1,74	1,83
0.500 L	206	4,88	2,91	2,38	2,26	2,16	2,11	2,07	2,03

Na slici 123 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 124 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 1.98 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.57 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 26.1%.

Kritični položaj sile za luk s 11, 17, 23, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, a za luk s 5, 29 i 51 blokom na 0.354 L.



Slika 123: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



Slika 124: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $18 \text{ kN/m}^3$



### 3.21. Luk specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

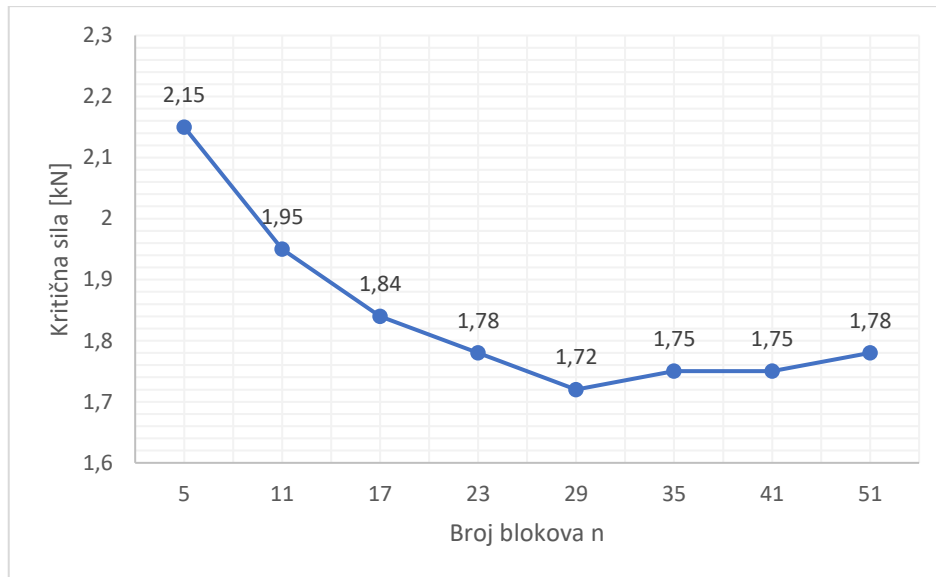
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad segmentnim lukom raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 42 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 42: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine 26 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 20 kN/m<sup>3</sup>

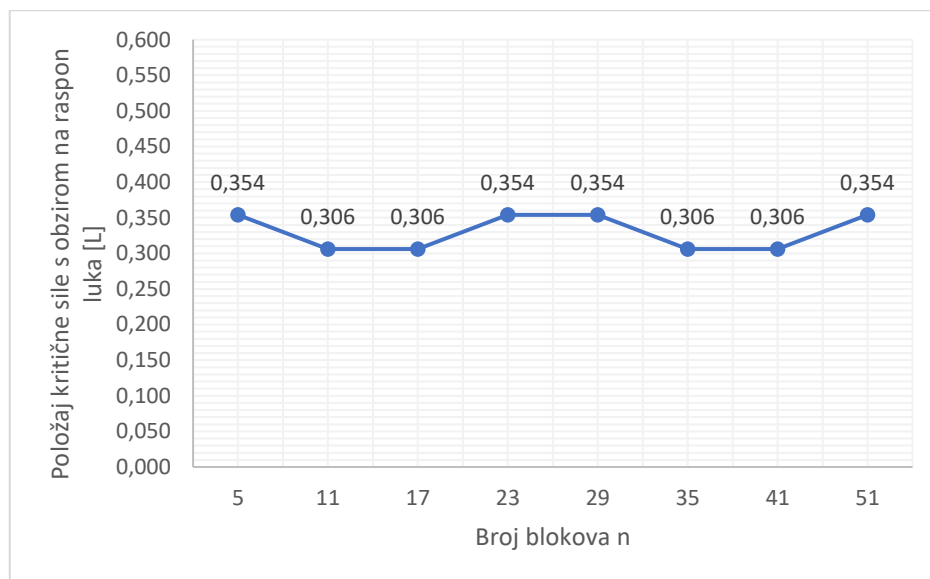
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.015 L	6	89,00	71,30	66,70	64,70	64,50	66,60	63,20	65,50
0.063 L	26	7,08	6,68	6,09	6,21	5,75	5,87	5,96	5,92
0.112 L	46	3,60	3,55	3,50	3,51	3,50	3,45	3,50	3,28
0.160 L	66	2,63	3,03	2,76	2,60	2,53	2,68	2,59	2,59
0.209 L	86	3,64	2,25	2,38	2,13	2,23	2,11	2,20	2,09
0.257 L	106	3,21	2,31	1,90	1,88	1,93	1,96	1,92	1,90
0.306 L	126	2,69	1,95	1,84	1,79	1,76	1,75	1,75	1,81
0.354 L	146	2,15	1,97	2,00	1,78	1,72	1,83	1,77	1,78
0.403 L	166	2,30	2,12	1,87	1,92	1,84	1,83	1,83	1,86
0.451 L	186	3,27	1,96	2,05	2,13	2,07	1,93	1,92	2,01
0.500 L	206	5,34	3,18	2,61	2,47	2,36	2,31	2,26	2,22

Na slici 125 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 126 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 2.15 kN na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 1.72 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 146 cm od osi luka, odnosno 0.354 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 25.0%.

Kritični položaj sile za luk s 11, 17, 35 i 41 blokom nalazi se na udaljenosti 0.306 L, a za luk s 5, 23, 29 i 51 blokom na 0.354 L.



Slika 125: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$



Slika 126: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m, specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$

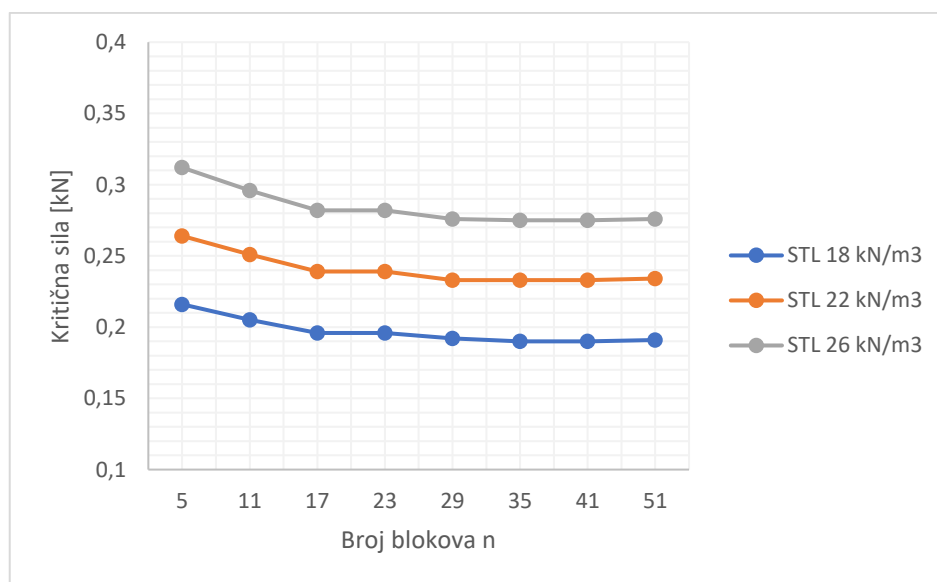
### 3.22. Analiza rezultata za segmentni luk raspona $L=4.12$ m

#### 3.22.1. Segmentni luk raspona $L=4.12$ m bez nadsloja

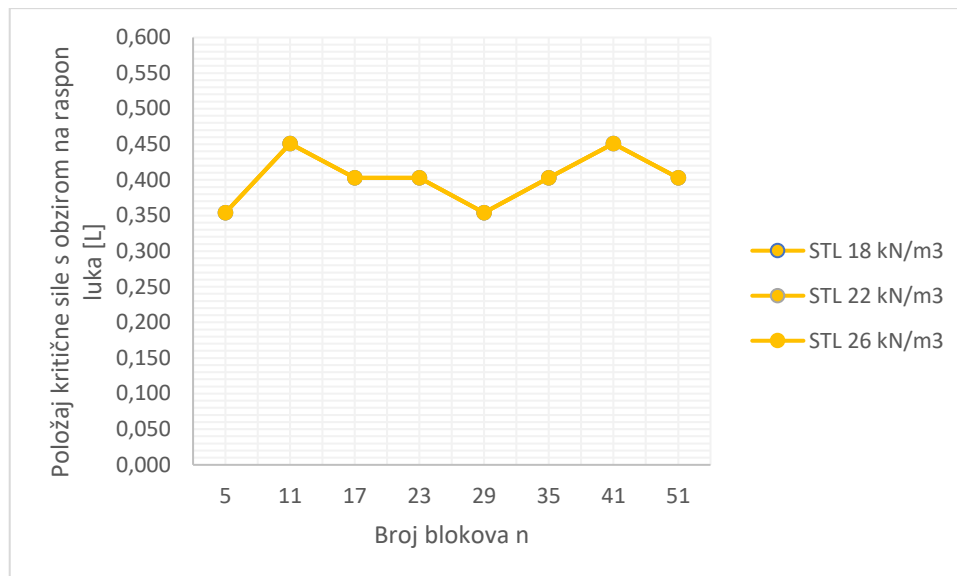
U poglavljima 3.1.-3.3. analiziran je segmentni luk raspona  $L=4.12$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 18, 22 i 26  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 22-24. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u sva tri slučaja (slika 127), te jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 128).

U tri provedene analize iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju  $0.354 L$  za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju  $0.403 L$  za luk s 35 blokova te ponovo na položaju  $0.451 L$  za luk s 41 blokom (slika 68 i slika 69).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od  $0.354 L$  do  $0.451 L$ . Promjenom specifične težine luka ostaje isti u sve tri provedene analize (slika 128).



Slika 127: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka



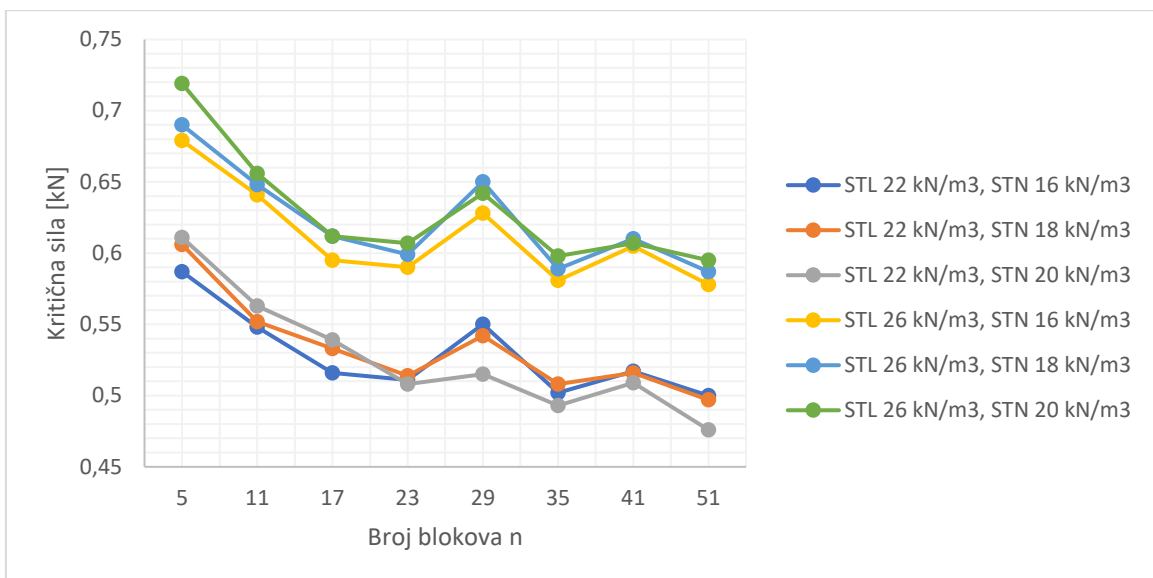
Slika 128: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m bez nadsloja, uz promjenu specifične težine luka

### 3.22.2. Segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine 0 m

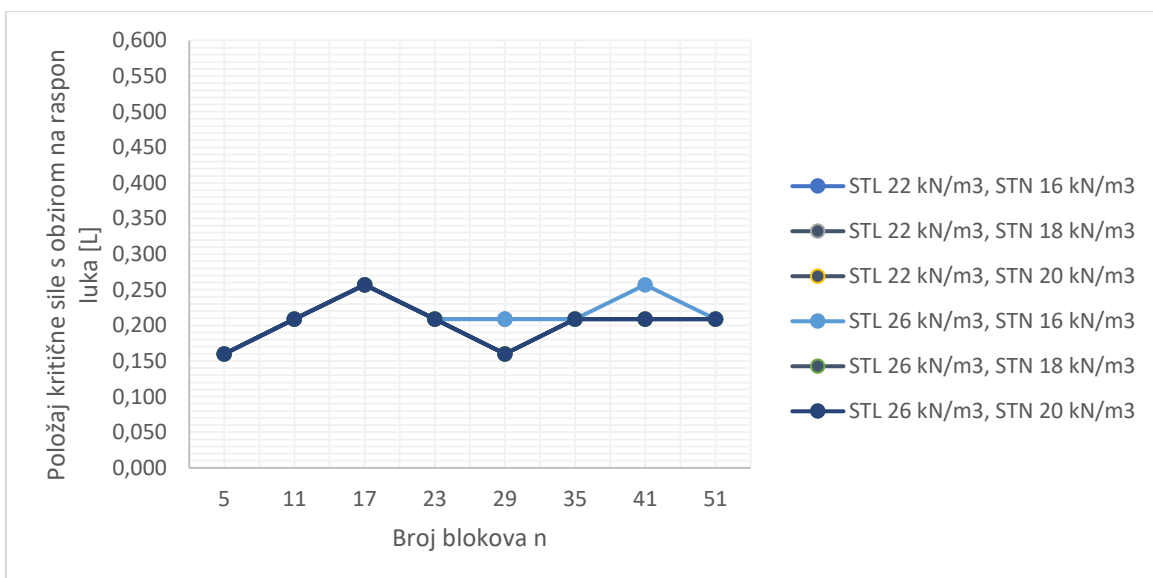
U poglavljima 3.4.-3.9. analiziran je segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26  $\text{kN/m}^3$  te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 25-30. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u svih šest slučajeva (slika 129), te djelomično jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 130).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju 0.160 L za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju 0.209 L za luk s 51 blokom (slika 129 i slika 130).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od 0.160 L do 0.257 L. Promjenom specifične težine luka i nadsloja mijenja se na luku s 29 i 41 blokom. U lukovima s 5, 11, 17, 23, 35 i 51 blokom isti je u svih šest provedenih analiza (slika 130).



Slika 129: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



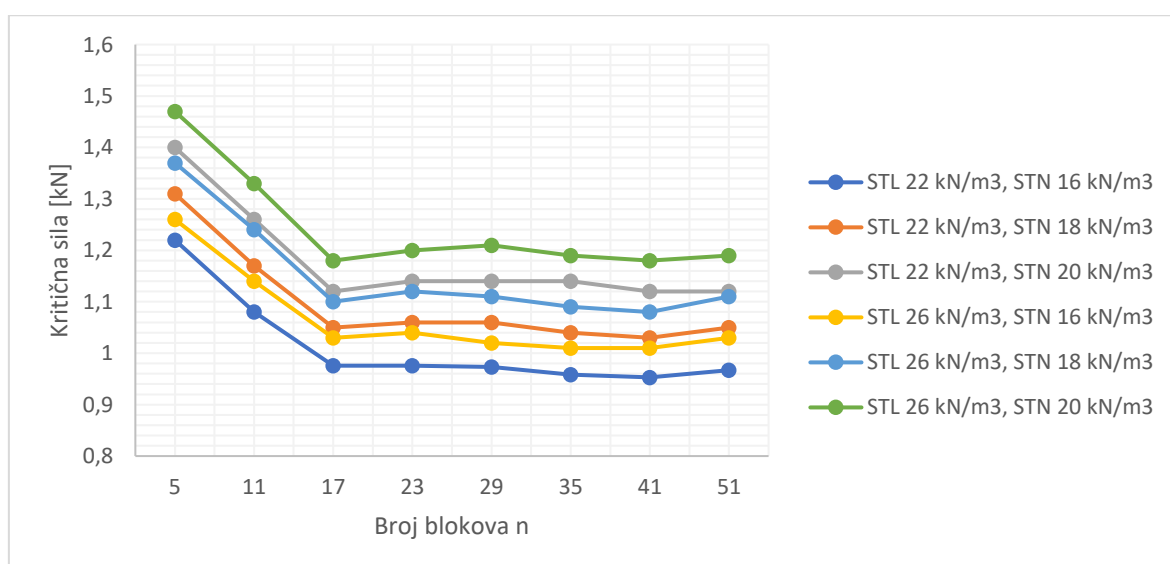
Slika 130: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

### 3.2.2.3. Segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine 0.2 m

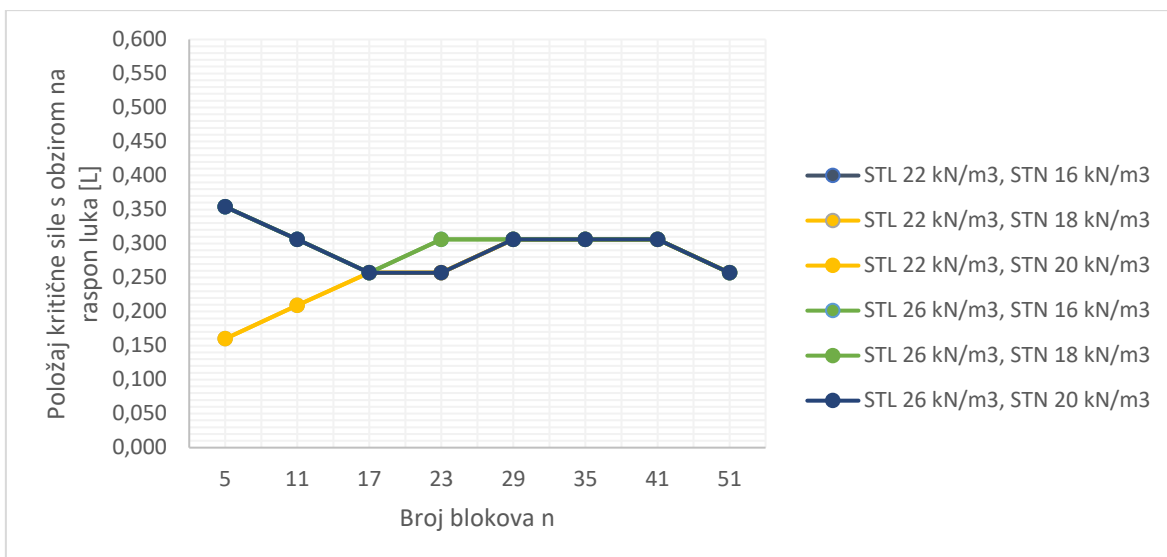
U poglavljima 3.10.-3.15. analiziran je segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.2 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26  $\text{kN/m}^3$  te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20  $\text{kN/m}^3$ . Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 31-36. Njihovom usporedbom dobiven je približno jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u šest slučajeva (slika 131), te djelomično jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 132).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je četiri puta na položaju  $0.354 L$  i dva puta na položaju  $0.160 L$  za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila pet puta na položaju  $0.306 L$  za luk s 41 blokom i jednom na  $0.257 L$  za luk s 51 blokom (slika 131 i slika 132).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od  $0.160 L$  do  $0.354 L$ . Promjenom specifične težine luka i nadsloja mijenja se na luku s 5, 11 i 23 bloka. U lukovima sa 17, 29, 35, 41 i 51 blokom isti je u svih šest provedenih analiza (slika 132).



Slika 131: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.2 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



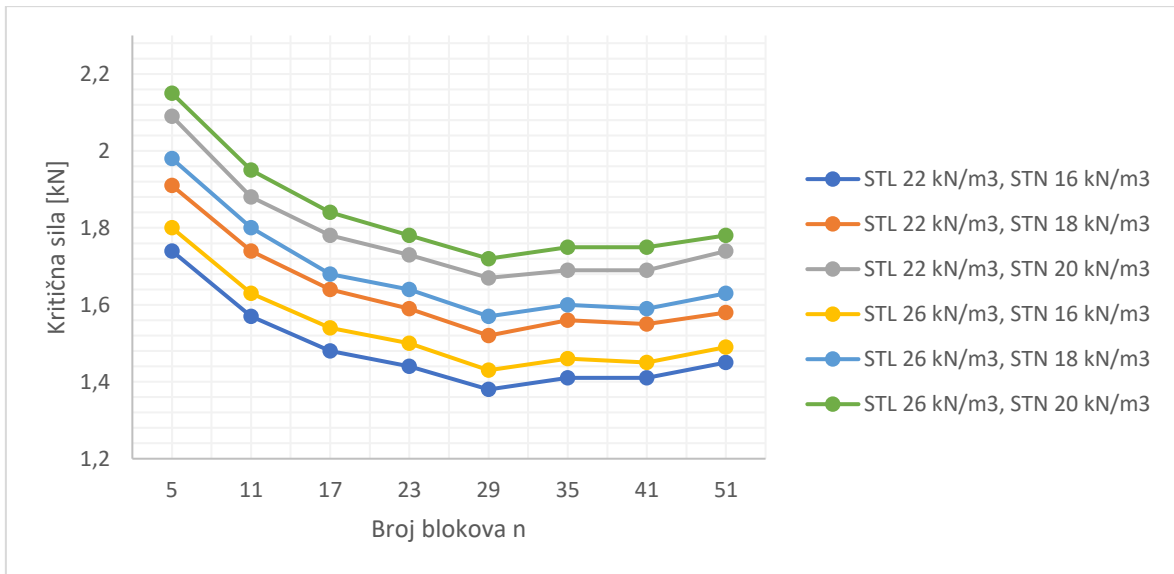
Slika 132: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.2 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja

#### 3.22.4. Segmentni luk raspona $L=4.12$ m s nadslojem visine 0.5 m

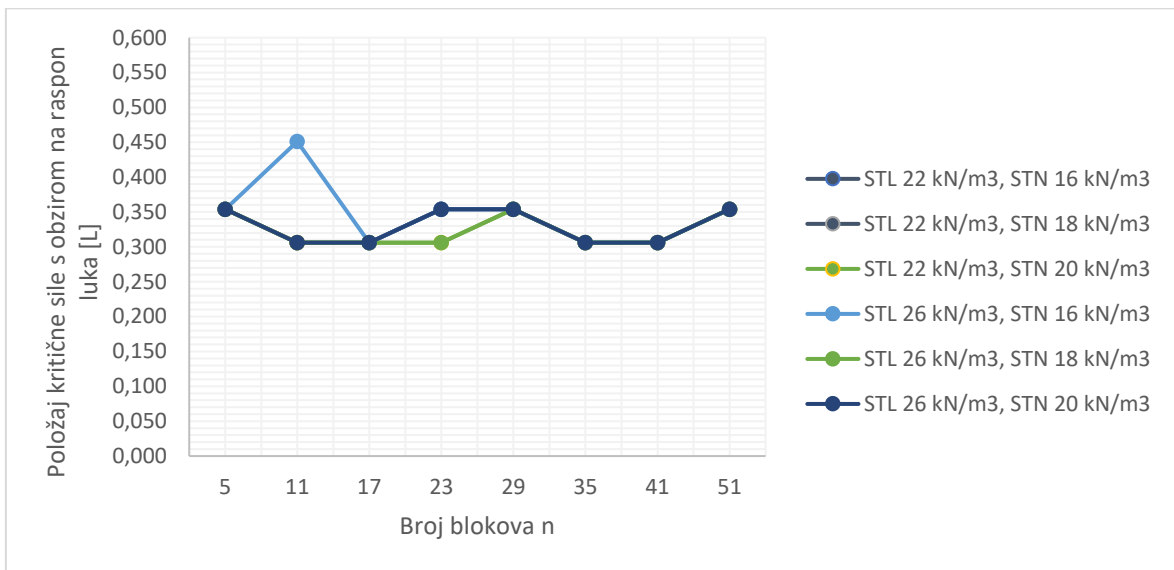
U poglavljima 3.16.-3.21. analiziran je segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.5 m uz promjenu specifične težine luka (na grafičkom prikazu „STL“): 22 i 26 kN/m<sup>3</sup> te specifične težine nadsloja (na grafičkom prikazu „STN“): 16, 18 i 20 kN/m<sup>3</sup>. Podaci o veličini i položaju kritične sile s obzirom na broj blokova luka dani su u tablicama 37-42. Njihovom usporedbom dobiven je jednak oblik krivulje odnosa kritične sile i broja blokova luka u svih šest slučajeva (slika 133), te djelomično jednak oblik krivulje odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka (slika 134).

U šest provedenih analiza iznosom najveća kritična sila dobivena je na položaju  $0.354 L$  za luk s 5 blokova, a iznosom najmanja kritična sila na položaju  $0.354 L$  za luk s 29 blokova (slika 133 i slika 134).

Položaj kritične sile s obzirom na raspon luka kreće se od  $0.306 L$  do  $0.451 L$ . Promjenom specifične težine luka i nadsloja mijenja se na luku s 11 i 23 bloka. U lukovima s 5, 17, 29, 35, 41 i 51 blokom isti je u svih šest provedenih analiza (slika 134).



Slika 133: Usporedba grafičkih prikaza odnosa kritične sile i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



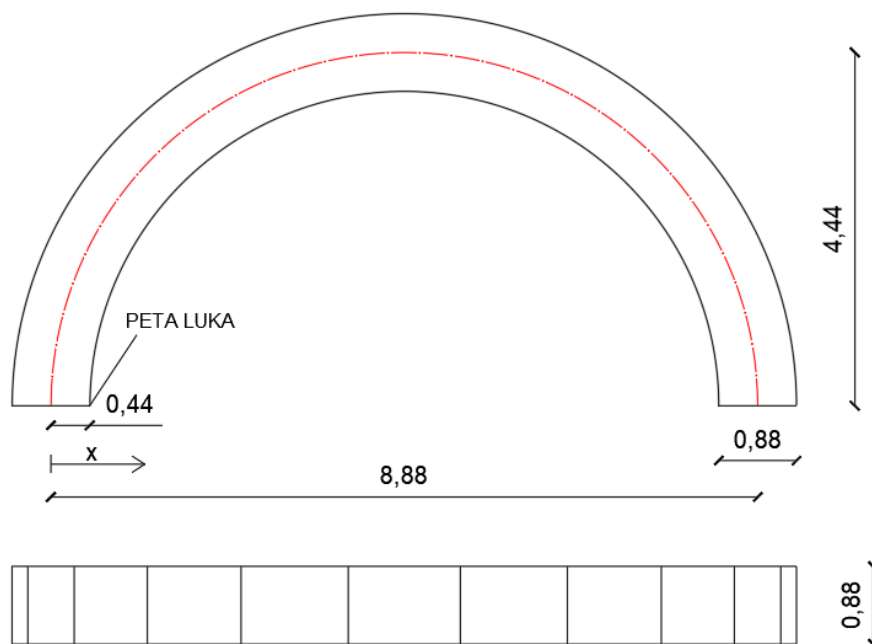
Slika 134: Usporedba grafičkih prikaza odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m s nadslojem visine 0.5 m, uz promjenu specifične težine luka i nadsloja



#### 4. ODREĐIVANJE KRITIČNE SILE NA POLUKRUŽNOM LUKU RASPONA $L=8.88$ m

U ovom poglavlju prikazana je analiza polukružnog luka raspona  $L$  u iznosu od 8.88 m. Polumjer središnje osi luka  $R$  iznosi 4.44 m, a iz odnosa  $t/R=0.2$  proizlazi da je debljina luka  $t$  jednaka 0.88 m. Širina luka, mjerena okomito na njegovu ravninu, iznosi 0.88 m. Geometrijski prikaz opisanog luka dan je na slici 135.

Osim geometrijskih karakteristika, u programu se zadaje opterećenje (koncentrirana sila) na svakih 0.4 m udaljenosti od pete luka. Položaj sile  $x$  uključuje udaljenost između osi i pete luka u iznosu  $t/2$  odnosno 0.44 m (slika 135). Zbog simetričnosti luka, dovoljno je provesti analizu samo jedne polovice luka što ukupno daje 11 položaja opterećenja.



Slika 135: Presjek i tlocrt polukružnog luka raspona  $L=8.88$  m

U potpoglavlju 4.1. provedena je analiza luka s različitim brojem blokova bez nadsloja, specifične težine luka  $22 \text{ kN/m}^3$ . Unutar potpoglavlja 4.2.-4.4. analiziran je luk s različitim brojem blokova, specifične težine luka  $22 \text{ kN/m}^3$  i nadsloja  $16 \text{ kN/m}^3$ , uz modificiranje visine nadsloja.

Istraživanje polukružnog luka raspona  $L=8.88$  m provodi se radi utvrđivanja sličnosti s rezultatima dobivenim za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m koje bi dovele do generalnih

zaključaka za bilo koji polukružni luk raspona  $L$  istih karakteristika (omjer  $t/R$ , specifična težina luka i nadsloja). Usporedba rezultata prikazana je u potpoglavlju 4.5.

#### 4.1. Luk specifične težine $22 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja

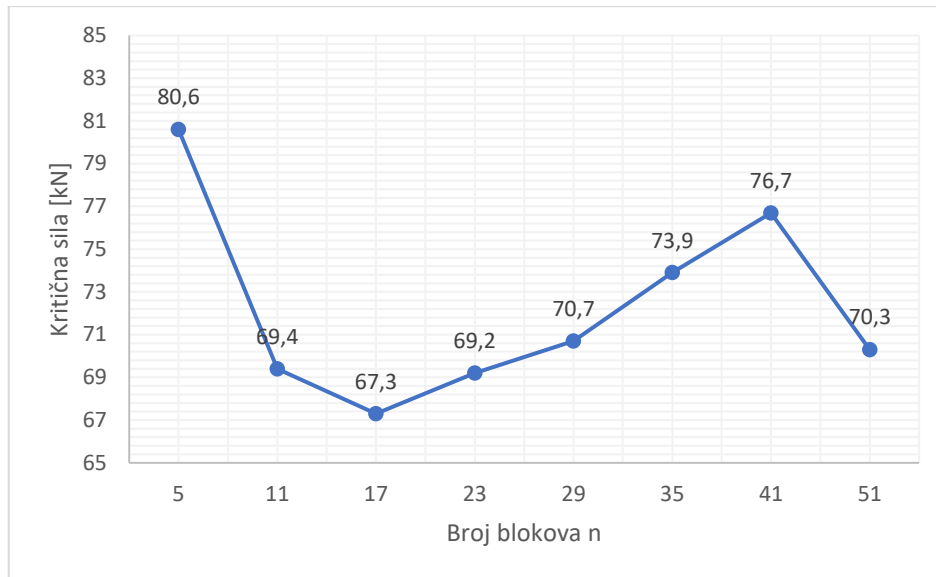
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=8.88 \text{ m}$ , specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$ , bez nadsloja. U tablici 43 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 43: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88 \text{ m}$ , specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

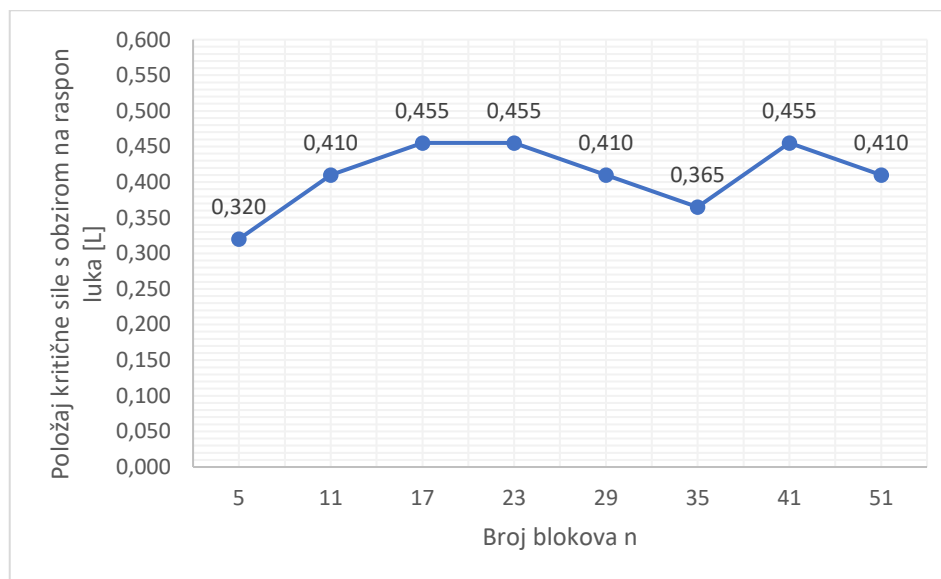
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	44	2735	5576	2733	2247	2073	1935	1872	1875
0.095 L	84	651	537	420	431	439	428	462	416
0.140 L	124	311	222	239	238	230	227	233	225
0.185 L	164	235	167	167	149	139	143	144	145
0.230 L	204	174	112	118	113	111	111	110	114
0.275 L	244	116	93,1	109	98	92,3	90,5	86,9	88,7
0.320 L	284	80,6	104	86	79,9	84,5	78,2	80,4	78,7
0.365 L	324	101	81,8	82,4	75,8	78,2	73,9	78	75,5
0.410 L	364	145	69,4	75,5	82,5	70,7	75,8	77,9	70,3
0.455 L	404	221	90,7	67,3	69,2	73,3	74,5	76,7	76,6
0.500 L	444	917	177	120	102	94,9	92	89,1	86,7

Na slici 136 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 137 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od  $80.6 \text{ kN}$  na položaju  $284 \text{ cm}$  od osi luka, odnosno  $0.320 L$ , dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od  $67.3 \text{ kN}$  dobivena je za luk sa 17 blokova na položaju  $404 \text{ cm}$  od osi luka, odnosno  $0.455 L$ . Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od  $19.8\%$ .

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti  $0.320 L$ , za luk s 35 blokova na  $0.365 L$ , za luk s 11, 29, i 51 blokom na  $0.410 L$ , a za luk sa 17, 23 i 41 blokom na  $0.455 L$ .



Slika 136: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja



Slika 137: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  i bez nadsloja

#### 4.2. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

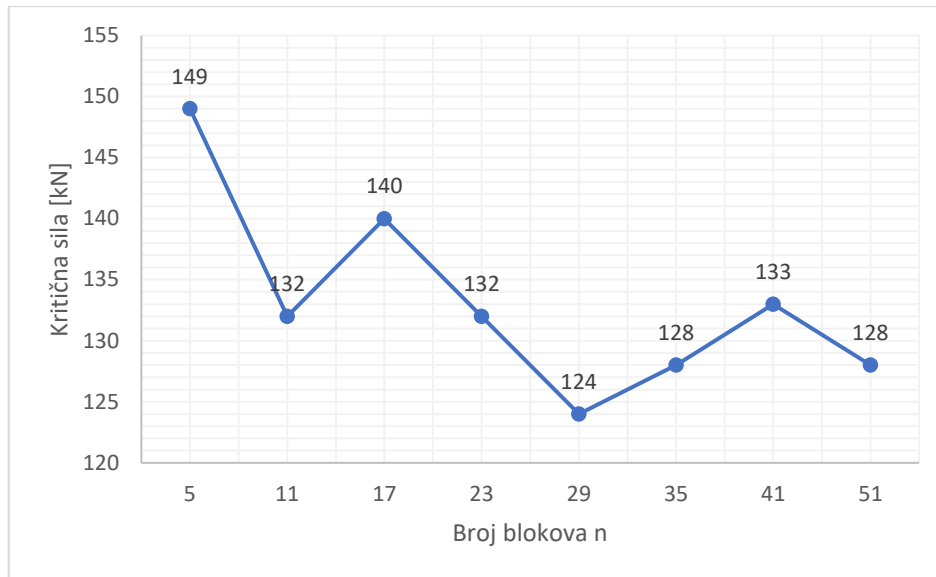
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 44 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk s različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 44: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

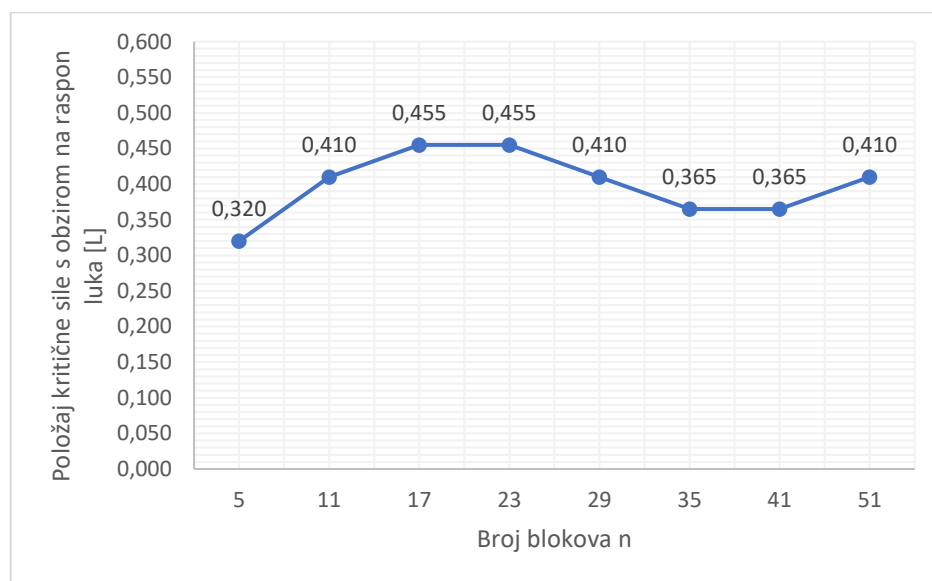
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	44	3701	4399	3608	3036	2807	2737	2331	2348
0.095 L	84	1183	714	659	636	656	680	637	537
0.140 L	124	601	323	348	351	322	332	333	315
0.185 L	164	396	266	259	223	221	222	225	225
0.230 L	204	286	183	180	173	173	173	172	176
0.275 L	244	188	149	175	162	148	144	138	144
0.320 L	284	149	196	145	133	143	131	134	130
0.365 L	324	193	155	141	135	136	128	133	131
0.410 L	364	273	132	152	144	124	136	137	128
0.455 L	404	433	165	140	132	138	142	144	133
0.500 L	444	1665	300	216	186	176	167	162	157

Na slici 138 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 139 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 149 kN na položaju 284 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 124 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 364 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 20.2%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.



Slika 138: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 139: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

### 4.3. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

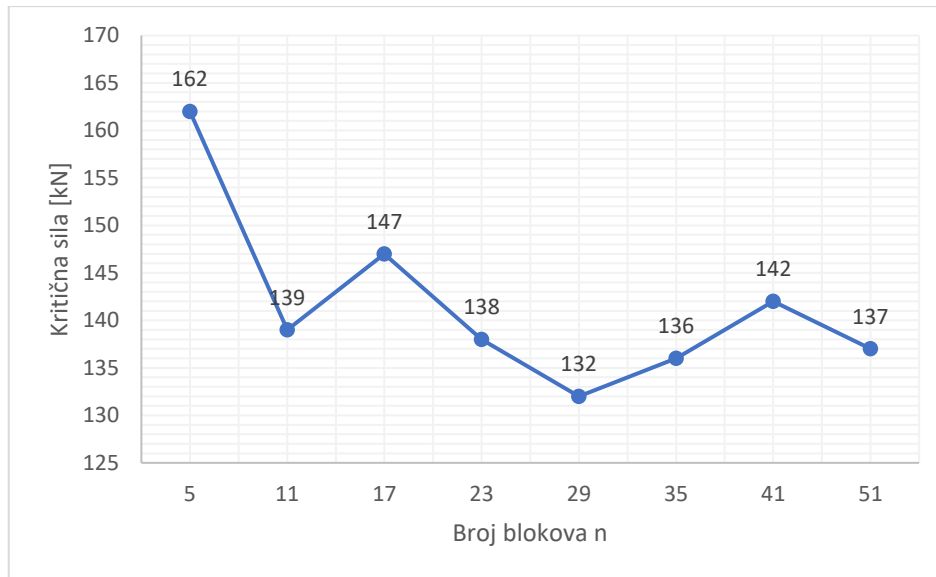
U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 45 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

Tablica 45: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.2 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

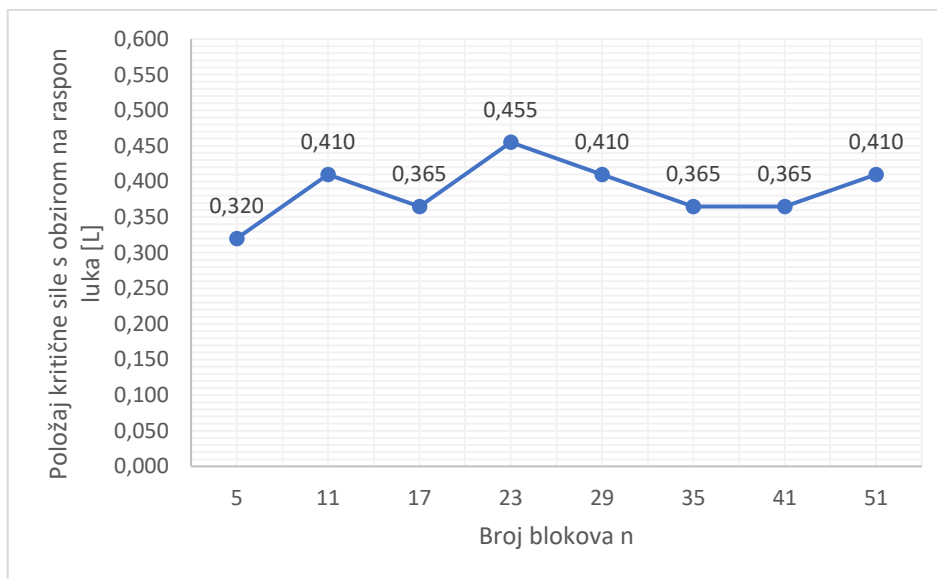
Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	44	4142	5076	3992	3433	3036	3017	2900	2868
0.095 L	84	1309	820	748	778	716	727	729	604
0.140 L	124	656	350	378	395	356	372	373	355
0.185 L	164	433	270	283	249	228	229	232	227
0.230 L	204	319	200	196	191	188	188	185	192
0.275 L	244	212	162	192	174	162	157	153	158
0.320 L	284	162	202	154	144	153	141	144	140
0.365 L	324	203	164	147	145	144	136	142	139
0.410 L	364	295	139	161	149	132	144	146	137
0.455 L	404	457	174	148	138	146	149	152	144
0.500 L	444	1772	311	231	200	189	179	174	169

Na slici 140 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 141 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 162 kN na položaju 284 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegnuo je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 132 kN dobivena je za luk s 29 blokova na položaju 364 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 22.7%.

Kritični položaj sile za luk s 5 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk sa 17, 35 i 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk s 23 bloka na 0.455 L.



Slika 140: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 141: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.2$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

#### 4.4. Luk specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

U ovome potpoglavlju provedena je analiza nad polukružnim lukom raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup>, s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>. U tablici 46 dane su najveće vrijednosti opterećenja (koncentrirane sile) prema broju blokova luka pri kojima je luk i dalje stabilan. Ti su rezultati dobiveni za položaj sile na udaljenosti  $x$  mjereno od osi luka, a iskazan je i položaj sile  $s$  obzirom na raspon luka  $L$ . Kritična sila za svaki luk  $s$  različitim brojem blokova označena je osjenčanom ćelijom, a određuje i kritični položaj.

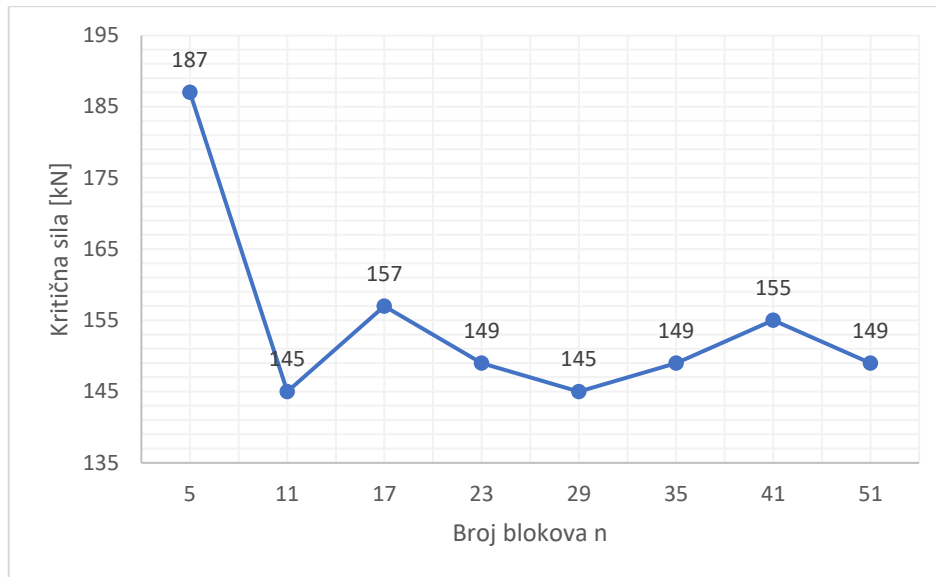
Tablica 46: Položaj i vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine 22 kN/m<sup>3</sup> s nadslojem visine 0.5 m i specifične težine 16 kN/m<sup>3</sup>

Položaj sile u odnosu na raspon luka $L$	Položaj sile u odnosu na os luka $x$ [cm]	Kritična sila prema broju blokova luka [kN]							
		5	11	17	23	29	35	41	51
0.050 L	44	4856	6158	4361	3844	3633	3477	3371	3316
0.095 L	84	1448	942	876	788	838	831	838	704
0.140 L	124	722	407	427	429	414	406	408	408
0.185 L	164	463	310	309	274	262	268	268	264
0.230 L	204	341	229	215	213	208	206	206	216
0.275 L	244	245	179	213	183	180	173	170	171
0.320 L	284	187	226	170	155	169	149	158	155
0.365 L	324	225	177	164	159	156	150	155	154
0.410 L	364	318	145	175	157	145	153	160	149
0.455 L	404	493	187	157	149	157	159	163	156
0.500 L	444	2136	348	255	208	199	189	184	178

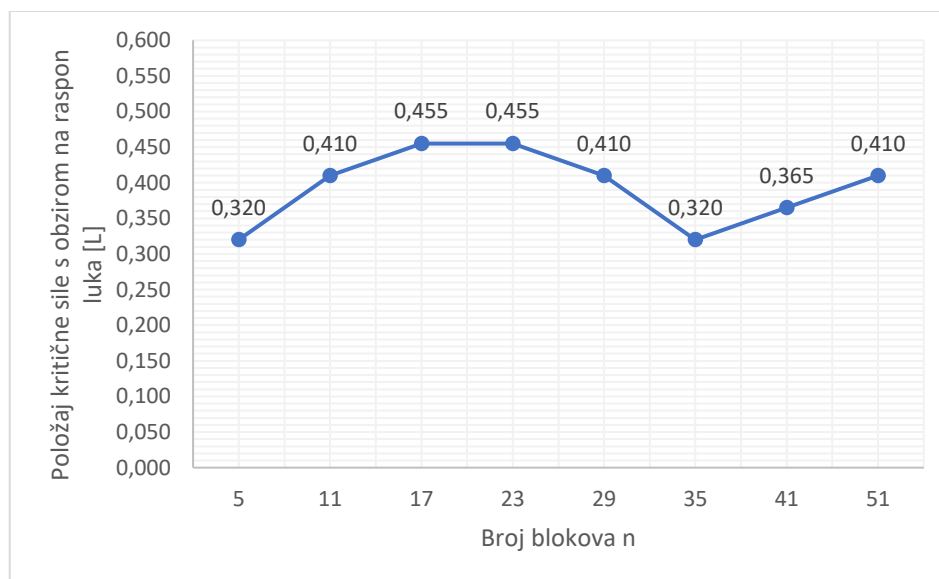
Na slici 142 nalazi se grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka, a na slici 143 grafički prikaz odnosa položaja kritične sile u ovisnosti o rasponu luka  $L$  i broja blokova luka. Iznosom najveću kritičnu silu od 187 kN na položaju 284 cm od osi luka, odnosno 0.320 L, dosegno je luk s 5 blokova. Najmanja kritična sila u iznosu od 145 kN dobivena je za luk s 11 blokova na položaju 364 cm od osi luka, odnosno 0.410 L. Omjerom najveće i najmanje kritične sile dobivena je razlika sile od 29.0%.

Kritični položaj sile za luk s 5 i 35 blokova nalazi se na udaljenosti 0.320 L, za luk s 41 blokom na 0.365 L, za luk s 11, 29 i 51 blokom na 0.410 L, a za luk sa 17 i 23 bloka na 0.455 L.





Slika 142: Grafički prikaz odnosa kritične sile i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$



Slika 143: Grafički prikaz odnosa položaja kritične sile s obzirom na raspon luka i broja blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine  $22 \text{ kN/m}^3$  s nadslojem visine  $0.5$  m i specifične težine  $16 \text{ kN/m}^3$

#### 4.5. Usporedba rezultata polukružnih lukova raspona $L=4.44$ m i $L=8.88$ m

Usporedba polukružnih lukova raspona  $L=4.44$  m i  $L=8.88$  m provedena je za specifičnu težinu luka  $22 \text{ kN/m}^3$ , specifičnu težinu nadsloja  $16 \text{ kN/m}^3$  te za slučajeve luka bez nadsloja (u tablicama „N0“) i s promjenjivom visinom nadsloja redom: 0 m, 0.2 m i 0.5 m (u tablicama „N1, N2 i N3“). Vrijednosti kritičnih sila prema broju blokova luka za luk raspona  $L=4.44$  m dane su u tablici 47, a za luk raspona  $L=8.88$  m u tablici 48.

Tablica 47: Vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m, specifične težine luka  $22 \text{ kN/m}^3$ , specifične težine nadsloja  $16 \text{ kN/m}^3$  za slučaj luka bez nadsloja i s promjenjivom visinom nadsloja

Broj blokova n	Kritična sila [kN]			
	N0	N1	N2	N3
5	10,1	18,6	22	27,2
11	8,68	16,5	17,9	20,1
17	8,42	17,4	19,3	21,1
23	8,65	16,5	18,1	20,7
29	8,84	15,5	17,9	20,5
35	9,24	16,1	18,5	21,5
41	9,59	16,7	19	22,4
51	8,78	16	18,2	21

Tablica 48: Vrijednost kritične sile prema broju blokova luka za polukružni luk raspona  $L=8.88$  m, specifične težine luka  $22 \text{ kN/m}^3$ , specifične težine nadsloja  $16 \text{ kN/m}^3$  za slučaj luka bez nadsloja i s promjenjivom visinom nadsloja

Broj blokova n	Kritična sila [kN]			
	N0	N1	N2	N3
5	80,6	149	162	187
11	69,4	132	139	145
17	67,3	140	147	157
23	69,2	132	138	149
29	70,7	124	132	145
35	73,9	128	136	149
41	76,7	133	142	155
51	70,3	128	137	149

U tablici 49 su na temelju vrijednosti iz tablica 47 i 48 izračunati omjeri kritične sile prema broju blokova luka s nadslojem i bez nadsloja  $N1/N0$ ,  $N2/N0$  i  $N3/N0$  za oba raspona. Za dobivene omjere izračunata je srednja vrijednost.

Tablica 49: Omjer kritične sile prema broju blokova luka s nadslojem i bez nadsloja za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m i  $L=8.88$  m

Broj blokova n	L=4.44 m			L=8.88 m		
	N1/N0	N2/N0	N3/N0	N1/N0	N2/N0	N3/N0
5	1,842	2,178	2,693	1,849	2,010	2,320
11	1,901	2,062	2,316	1,902	2,003	2,089
17	2,067	2,292	2,506	2,080	2,184	2,333
23	1,908	2,092	2,393	1,908	1,994	2,153
29	1,753	2,025	2,319	1,754	1,867	2,051
35	1,742	2,002	2,327	1,732	1,840	2,016
41	1,741	1,981	2,336	1,734	1,851	2,021
51	1,822	2,073	2,392	1,821	1,949	2,119
Srednja vrijednost						
	1,847	2,088	2,410	1,847	1,962	2,138

Srednja vrijednost u iznosu od 1,847 dobivena je za oba raspona luka iz omjera kritične sile na luku s nadslojem visine 0 m i na luku bez nadsloja  $N1/N0$ . Dobivena srednja vrijednost za lukove raspona  $L=4.44$  m i  $L=8.88$  m iz omjera kritične sile  $N2/N0$  razlikuje se za 0.126, a iz omjera  $N3/N0$  za 0.272

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je obrađena tematika kružno oblikovanih upetih zidanih lučnih konstrukcija. Nakon kratkog osvrtu na lučne konstrukcije u povijesti i danas, dan je uvid u različite oblike lukova i svodova te broja blokova koje luk može sadržavati. Osim toga, iznesena su načela proračuna lučnih konstrukcija. Položaj i veličinu sile koja uzrokuje gubitak stabilnosti luka moguće je odrediti primjenom statičkog teorema teorije plastičnosti (teorem sigurnosti) na kojem se i temelji računalni program *Arco* u kojem su provedeni proračuni. Proračuni su provedeni za polukružni i segmentni luk, a na njima je istražen utjecaj broja blokova luka, specifične težine luka, nadsloja i visine nadsloja na veličinu i položaj kritične sile.

Iz analize rezultata za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m može se sumirati kako je iznosom najveća kritična sila u svim provedenim analizama na položaju  $0.320 L$  na luku s 5 blokova. S druge strane, iznosom najmanja kritična sila je na položaju  $0.455 L$  na luku sa 17 blokova za lukove bez nadsloja, a na položaju  $0.410 L$  na luku s 11 ili 29 blokova za lukove s nadslojem. Osim toga, veličina kritične sile raste s povećanjem specifične težine luka i nadsloja te visine nadsloja. Dokaz toga su tablice 1-21 u kojima su dani veličina i položaj kritične sile prema broju blokova luka te pripadajući grafički prikazi odnosa kritične sile i broja blokova luka ispod njih.

Iz analize rezultata za segmentni luk raspona  $L=4.12$  m može se sumirati kako je iznosom najveća kritična sila u svim provedenim analizama na luku s 5 blokova i to na položaju  $0.354 L$  za lukove bez nadsloja, a na položaju  $0.160 L$  ili  $0.354 L$  za lukove s nadslojem. S druge strane, položaj najmanje kritične sile varijabilan je za lukove bez nadsloja zbog ponavljanja jednake veličine za različiti broj blokova luka. Za lukove s nadslojem položaj kritične sile kreće se od  $0.209 L$  do  $0.345 L$  za lukove s 29, 41 ili 51 blokom. I u ovom slučaju, veličina kritične sile raste s povećanjem specifične težine luka i nadsloja te visine nadsloja. Dokaz toga su tablice 22-42 u kojima su dani veličina i položaj kritične sile prema broju blokova luka te pripadajući grafički prikazi odnosa kritične sile i broja blokova luka ispod njih.

Zaključak provedenih analiza za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m i segmentni luk raspona  $L=4.12$  m je da na veličinu i položaj kritične sile utječe broj blokova luka, specifična težina luka, specifična težina nadsloja te visina nadsloja. Povećanjem specifične težine luka i nadsloja te visine nadsloja povećava se i veličina kritične sile. Najveću nosivost tako su postigli lukovi specifične težine  $26 \text{ kN/m}^3$ , s nadslojem specifične težine  $20 \text{ kN/m}^3$  i visine  $h=0.5$  m. Sukladno tome, lukovi bez nadsloja su oni s najmanjom postignutom nosivosti.

Međutim, ukoliko se na luk manje specifične težine postavi nadsloj veće specifične težine njegova će nosivost biti veća od luka veće specifične težine s nadslojem manje specifične težine (slika 72, 74, 131 i 133). Da će za veću specifičnu težinu luka biti potrebna i veća specifična težina nadsloja za poboljšanje njegove nosivosti sasvim je očekivano, no do koje granice u ovome radu nije istraženo.

Međusobnom usporedbom veličina kritičnih sila polukružnog luka raspona  $L=4.44$  m i segmentnog luka raspona  $L=4.12$  m iz tablica 1-44 jasno je kako polukružni luk, bez obzira na sve promjenjive parametre (broj blokova, specifične težine luka i nadsloja, visina nadsloja) ima veće veličine kritičnih sila, a time i veću nosivost od segmentnog luka.

Iz usporedbe rezultata za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m i polukružni luk raspona  $L=8.88$  m može se pretpostaviti kako zbog jednakih iznosa omjera  $N1/N0$  te samim time jednakom srednjom vrijednosti tih omjera, sve rečeno za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m bez nadsloja i s nadslojem visine 0 m, vrijedi za bilo koji polukružni luk raspona  $L$  istih karakteristika (omjer  $t/R$ , specifična težina luka i nadsloja, visina nadsloja). Za polukružne lukove s nadslojem visine 0.2 m i 0.5 m dobiveno je odstupanje u omjerima sila i njihovim srednjim vrijednostima jer visina nadsloja nije razmjerno povećana.

Na samom kraju dana je usporedba položaja kritične sile za polukružni luk raspona  $L=4.44$  m bez nadsloja s već spomenutim radom Šćulac i Milić-Toljušić [19]. Na polukružnom luku s 11 blokova položaj kritične sile nalazi se na udaljenosti  $0.410 L$ , na luku sa 17 blokova na udaljenosti  $0.455 L$ , a Šćulac i Milić-Toljušić u članku [19] dobivaju položaj kritične sile na udaljenosti  $0.317 L$  za luk s 15 blokova. Dakle, položaj kritične sile lukova u ovome radu bliži je polovici raspona, a u njihovom radu trećini raspona luka. S obzirom da nije istražen jednak broj blokova luka, te su lukovi od različitog materijala i odnosa  $t/R$ , nije moguće iznesti daljnje zaključke.

U ovome radu istražena su samo tri luka različite geometrije s modificiranjem specifičnih težina luka i nadsloja te visine nadsloja, no usprkos tome definirani su ključni parametri o kojima ovisi veličina i položaj kritične sile. Mišljenja sam da ima prostora za provedbu dodatnih istraživanja na lukovima s ciljem postizanja kvalitetnijih zaključaka koji bi doprinijeli projektiranju mostovskih konstrukcija. Smatram i da računalni program *Arco* nije idealan za provedbu određenih proračuna zbog toga što je pronalazak veličine kritične sile često dugotrajan te postoji mogućnost manje greške prilikom očitavanja sile iz programa.

## LITERATURA

- [1] Santiago Huerta, Galileo was Wrong: The Geometrical Design of Masonry Arches, Nexus Network Journal 8, 2006.
- [2] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pantheon.drawing.jpg> pristup 1.9.2023.
- [3] DiNardo, Nickolas. R., Stone arch bridges: an underutilized technology in the modern United States, Master thesis, University of Delaware, USA, 2019.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Anji\\_Bridge#/media/File:Zhaozhou\\_Bridge.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Anji_Bridge#/media/File:Zhaozhou_Bridge.jpg) pristup 1.9.2023.
- [5] Stockdale, G.; Tiberti, S., Camilletti, D., Sferrazza Papa, G., Basshofi Habieb, A., Bertolesi, E., Milani, G., Casolo, S., Kinematic collapse load calculator: Circular arches, SoftwareX, Volume 7, 174-179, 2018.
- [6] Melbourne, C., A new masonry arch bridge assessment strategy (SMART) ARCH'07 – 5th International Conference on Arch Bridges, 2007.
- [7] Hlača Lj.: Pruga Škrljevo-Rijeka-Jurdani osamdeset građevina u Rijeci je pod prijetnjom rušenja, Novi list, [Novi list d.d., Rijeka, 2020](http://Novi list d.d., Rijeka, 2020).
- [8] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/El\\_puente\\_de\\_Alc%C3%A1ntara%2C\\_C%C3%A1ceres.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/El_puente_de_Alc%C3%A1ntara%2C_C%C3%A1ceres.jpg) pristup 30.9.2023.
- [9] Ross D.: Leaderfoot Viaduct, Britain Express, Britan Express Limited, Gloucestershire
- [10] The Editors of Encyclopaedia Britannica.: Arch, Encyclopaedia Britannica, Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 2002.
- [11] [https://www.thisiscarpentry.com/wp-content/uploads/2011/08/arches\\_1.jpg](https://www.thisiscarpentry.com/wp-content/uploads/2011/08/arches_1.jpg) pristup 30.9.2023.
- [12] Yu, Meng.: Frictional sliding in limit state analysis codes of masonry arches, Master thesis, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, 2018.
- [13] <https://foursquare.com/v/arco-di-riccardo/4cb7570a52edb1f7995275fe> pristup 30.9.2023.
- [14] Lown D.: The Arch of Drusus, Walks in Rome, <https://www.walksinrome.com/blog/the-arch-of-drusus-rome> pristup 30.9.2023.
- [15] Gravanis T.:. Hadrian's Arch, This is Athens, <https://www.thisisathens.org/antiquities/hadrians-arch> pristup 30.9.2023.
- [16] Heyman, J. (1966.), The stone skeleton, International Journal of Solids and Structures
- [17] Heyman, J. (1982.), The Masonry Arch, Ellis Horwood Limited
- [18] Šimić, V.: Otpornost materijala II, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

- [19] Šćulac, P., & Milić-Toljušić, D. (2022). Grafostatička, numerička i eksperimentalna analiza zidanog polukružnog luka, Zbornik Radova (Građevinski Fakultet Sveučilišta U Rijeci), 25(1), 205-219. <https://doi.org/10.32762/zr.25.1.13>
- [20] Arco – Analysis of Mansory Arches and Vaults. <https://gelfi.unibs.it/arco.htm> pristup 1.4.2023.
- [21] Jacques Heyman, The safety of masonry arches, International Journal of Mechanical Sciences, 11,(4), 1969, pp. 363-385, [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(69\)90070-8](https://doi.org/10.1016/0020-7403(69)90070-8)
- [22] Sousa Gago, A., Alfaiate, J., Lamas, A., The effect of the infill in arched structures: Analytical and numerical modelling, Engineering Structures 33, 1450-1458, 2011.