

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 534
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER**

Kandidatka:

IRENA ANDREJAŠIČ TROHA, univ. dipl. inž. grad.

**ANALIZA TVEGANJA OBRATOVANJA GLOBOKO
TEMELJENIH KONSTRUKCIJ V LUKI KOPER**

Magistrsko delo štev.: 229

**RISK ANALYSIS OF THE OPERATION OF DEEP
FOUNDATION STRUCTURES
IN THE PORT OF KOPER**

Master of Science Thesis No.: 229

Mentor:
prof. dr. Goran Turk

Predsednik komisije:
doc. dr. Marijan Žura

Somentor:
izr. prof. dr. Jakob Likar, UL NTF

Člani komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar
prof. dr. Bojan Majes

Ljubljana, 19. april 2012

IZJAVE

Podpisana Irena Andrejašič Troha izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom
**»ANALIZA TVEGANJA OBRATOVANJA GLOBOKO TEMELJENIH KONSTRUKCIJ V
LUKI KOPER«.**

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

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

Ljubljana, 23.1.2012

Irena Andrejašič Troha

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	519.6:624.04:624.154/155(497.4Luka Koper)(043.3)
Avtor:	Irena Andrejašič Troha, univ. dipl. inž. grad.
Mentor:	prof. dr. Goran Turk
Somentor:	izr. prof. dr. Jakob Likar, UL NTF
Naslov:	Analiza tveganja obratovanja globoko temeljenih konstrukcij v Luki Koper
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	88 str., 5 pregl., 54 sl., 3 graf., 10 en.
Ključne besede:	tveganje, zanesljivost, pilot, globoko temeljenje, indeks zanesljivosti, normalna porazdelitev, Gumbelova porazdelitev, metoda Monte Carlo, drevo dogodkov

Izvodček

Poudarek magistrskega dela je na analizi tveganja globoko temeljenih konstrukcij. Globokega temeljenja konstrukcij se poslužujemo na območju nizke oziroma zelo slabe nosilnosti tal. Analiza tveganja je sistematični pristop prepoznavanja in ocenjevanja tveganja. V okviru projektiranja z varnostnim faktorjem zagotavljamo predpisano, oziroma zahtevano zanesljivost konstrukcije. V splošni praksi sta se do danes uveljavili dve metodi za varno projektiranje konstrukcij. Prva je deterministična metoda, ki je bila razvita v začetku prejšnjega stoletja, in je trenutno vpeljana v standarde Eurocode. Druga metoda pa je verjetnostna in temelji na dejstvu, da so zunanji vplivi in materialne lastnosti posameznih konstrukcijskih elementov slučajne. Z uporabo verjetnostnega pristopa zagotavljanja varnosti je mogoče ovrednotiti zanesljivost konstrukcije ali posameznega konstrukcijskega elementa.

V nalogi sem analizirala nosilnost pilotov za objekt Zapolnitev zaledne površine vezov 7.A in 7.B na pomolu I. v Luki Koper. S programom Mathematica sem ocenila verjetnost prekoračitve nosilnosti pilota, kjer sem upoštevala tri primere porazdelitve:

- normalno porazdelitev,
- Gumbelovo porazdelitev,
- kombinacija normalne in Gumbelove porazdelitve.

Pri normalni porazdelitvi sem uporabila tudi analitično računanje verjetnosti porušitve. Za večino preverjenih primerov se je izkazalo, da je verjetnost odpovedi konstrukcije relativno majhna.

Za vse tri tipe porazdelitev sem predpostavila še različne scenarije dogodkov. Tako sem z drevesom dogodkov dobila zanimiv in koristen podatek oziroma skupno oceno tveganja za posamezne primere.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	519.6:624.04:624.154/155(497.4Luka Koper)(043.3)
Author:	Irena Andrejašič Troha, univ. dipl. inž. grad.
Supervisor:	prof. dr. Goran Turk
Cosupervisor:	izr. prof. Jakob Likar, UL NTF
Title:	Risk analysis of the operation of deep foundation structures in the Port of Koper
Document type:	M.Sc.Thesis
Scope and tools	88 p., 5 tab., 54 fig., 3 graph, 10 eq.
Key words:	risk, reliability, pile, deep foundation, reliability index, normal distribution, Gumbel distribution, Monte Carlo, Event tree

Abstract

The emphasis of the Master thesis is on the risk analysis of deep foundation. These structures are used in the areas of weak upper layer of soil. The risk analysis is a systematic approach of identifying and assessing the risk. In the design of building structures, safety factors are used to provide the required reliability. In general practice, there have been two methods established for structural design. The first method is a deterministic method developed at the beginning of the last century and it is a part of Eurocode standards. The other one is based on the fact that external loads as well as material properties are random variables. Using the probability approach, it is possible to estimate, the reliability of the whole structure or its elements.

In the thesis I have analyzed the piles load-carrying capacity for the basin fill area of the quays 7A and 7B at the pier 1 situated at the Port of Koper. Using the Mathematica software, I have estimated the probability of the pile bearing capacity exceedance:

- normal distribution,
- Gumbel distribution,
- The combination of normal and Gumbel distributions.

The analytical calculations of the probability of failure were performed for the case at normal distribution. Most of investigated cases have indicated that the possibility of the construction failure is quite low.

For all three types of distributions I have created various scenarios for individual probable events. The event tree analysis has produced an interesting and useful detail i.e. a collective risk value for all cases.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju prof. dr. Goranu Turku in somentorju izr. prof. dr. Jakobu Likarju ter izr. prof. dr. Janku Logarju za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi magistrskega dela.

Zahvaljujem se tudi vsem drugim strokovnjakom in kolegom, ki so mi pomagali posredovati potrebne podatke.

KAZALO VSEBINE

Izjave	I
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	II
Bibliographic-documentalistic information and abstract	III
Zahvala	IV
1 UVOD	1
2 ANALIZA TVEGANJA	3
2.1 Splošno	3
2.2 Opredelitev tveganja	5
3 PRISTOPI ZA DOLOČITEV OCENE ZANESLJIVOSTI	7
3.1 Splošno	7
3.2 Metoda dopustnih napetosti	8
3.3 Metoda mejnih stanj	8
3.4 Primerjava metode dopustnih napetosti z metodo mejnih stanj	10
4 VREDNOTENJE NOSILNOSTI PILOTOV	11
4.1 Analitični in numerični postopek izračuna odpornosti	11
4.2 Opis razmer na lokaciji zaledne površine vezov 7.a in 7.b na pomolu i. v luki koper	13
4.3 Obremenilni preizkusi pilotov	18
4.3.1 Statični obremenilni preizkus	18
4.3.2. Dinamični obremenilni preizkus	27
5 ANALIZA VERJETNOSTI PORUŠITVE OBRAVNAVANE KONSTRUKCIJE	30
5.1 Splošno	30
5.2 Normalna porazdelitev	30
5.3 Porazdelitev ekstremnih vrednosti	31
5.3.1 Porazdelitev maksimuma	32
5.3.2 Porazdelitev minimuma	33
5.4 Metoda Monte Carlo	35
5.5 Odločitvena drevesa in drevo dogodkov	36
5.6 Vrednosti porazdelitvenih funkcij za obravnavan objekt	37
5.6.1 Splošno	37

5.6.2	Računski model	37
5.6.3	Analiza izbranih primerov	43
5.7	Porazdelitev z drevesi dogodkov	80
6	ZAKLJUČEK	85
7	SUMMARY	87

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Odpornost pilotov, ki so vgrajeni v prod in testirani po več kot 20 dneh od vgradnje	29
Preglednica 2: Podatki za izračun	41
Preglednica 3: Primeri za izračun	42
Preglednica 4: Vrednosti verjetnost porušitve in indeksa zanesljivosti za različne tipe obtežb in vrste porazdelitev	79
Preglednica 5: Skupna verjetnost porušitve in indeksa zanesljivosti za različne vrste porazdelitev	84

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Rezultati zabijanja testnih pilotov (povzeto po Strniša, 2008)	22
Grafikon 2: Obremenitev in pomiki pilota E 44 s časom (povzeto po Strniša, 2008)	24
Grafikon 3: Pomiki pilotov E44 in D44 v odvisnosti od obremenitve (povzeto po Strniša, 2008)	26

KAZALO SLIK

Slika 1:	Potek določitve odpornosti in zanesljivosti pilotov	11
Slika 2:	Pogled na območje Luke Koper z okolico iz zraka	13
Slika 3:	Zaledna površina veza 7.A in 7.B na pomolu I	14
Slika 4:	Primer geološkega profila pri načrtovanju globokega temeljenja na zaledni ploščadi vezov 7.A in 7.B v Luki Koper	16
Slika 5:	Obstoječa obala veza 7 z lokacijo testa (povzeto po Strniša, 2008)	19
Slika 6:	Sestava tal v prečnem prerezu skozi obstoječo obalo in predvideno zaledje (povzeto po Strniša, 2008)	20
Slika 7:	Zabijanje pilotov v osi 44 (povzeto po Strniša, 2008)	21
Slika 8:	Izvedba testa na pilotu D44 (povzeto po Strniša, 2008)	23
Slika 9:	Meritve pomikov na testnem pilotu E44 (povzeto po Strniša, 2008)	25
Slika 10:	Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve spremenljivke	31
Slika 11:	Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija Gumbelove porazdelitve spremenljivke ($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$); Gumbel maksimum	33
Slika 12:	Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija Gumbelove porazdelitve spremenljivke ($m_x = 4798$, $\sigma_x = 815,7$); Gumbel minimum	34
Slika 13:	Gostota verjetnosti normalne porazdelitve spremenljivke ter Gumbelove porazdelitve spremenljivke maksimuma in minimuma ($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$)	35
Slika 14:	Razporeditev pilotov na eni dilatacijski enoti	38
Slika 15:	Površina za izračun	39
Slika 16:	Padec praznega kontejnerja	43
Slika 17:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	44
Slika 18:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	45
Slika 19:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	46
Slika 20:	Padec polnega kontejnerja s transtejnerja	47
Slika 21:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	48
Slika 22:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	49
Slika 23:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	50
Slika 24:	En prazen kontejner	51
Slika 25:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	52

Slika 26:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	53
Slika 27:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	54
Slika 28:	Dva prazna kontejnerja	55
Slika 29:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	56
Slika 30:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	57
Slika 31:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	58
Slika 32:	Trije prazni kontejnerji	59
Slika 33:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	60
Slika 34:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	61
Slika 35:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	62
Slika 36:	En poln kontejner	63
Slika 37:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	64
Slika 38:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	65
Slika 39:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	66
Slika 40:	Dva polna kontejnerja	67
Slika 41:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	68
Slika 42:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	69
Slika 43:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	70
Slika 44:	Trije polni kontejnerji	71
Slika 45:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	72
Slika 46:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	73
Slika 47:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	74
Slika 48:	Štiri polni kontejnerji	75
Slika 49:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi	76
Slika 50:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi	77
Slika 51:	Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve	78
Slika 52:	Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (normalna porazdelitev)	81

Slika 53: Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (Gumbelova porazdelitev) 82

Slika 54: Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (normalna in Gumbelova porazdelitev) 83

LIST OF TABLES

Table 1:	Resistance of piles, which are stamped in gravel, they are tested after more than 20 days from instalation	29
Table 2:	Data used for calculation	41
Table 3:	Cases used for calculation	42
Table 4:	Probabilities of failure and reliability index for different types of loads and types of distributions	79
Table 5:	Combined probability of failure and reliability index for different types of distributions	84

LIST OF GRAPHS

Graph 1: Results of driving the test piles (from Strniša, 2008)	22
Graph 2: Load and displacement of the pile E44 with time (from Strniša, 2008)	24
Graph 3: Displacement of the E44 and D44 piles relative to their load (from Strniša, 2008)	26

LIST OF FIGURES

Figure 1: Process diagram of pile resistance and reliability determination	11
Figure 2: Aerial view of the Port of Koper region	13
Figure 3: The basin fill area of the quays 7.A and 7.B on the pier I	14
Figure 4: Example of geological profile in design of deep foundations at the basin fill platforms of the quays 7A and 7B at the Port of Koper.	16
Figure 5: Existing coast of the berth 7 with the test location (from Strniša, 2008)	19
Figure 6: Configuration of the soil in the cross section of the existing coast and the future fill basin (from Strniša, 2008)	20
Figure 7: Pile driving along the axis 44 (from Strniša, 2008)	21
Figure 8: Testing of the pile D44 (from Strniša, 2008)	23
Figure 9: Testing of the pile E44 (from Strniša, 2008)	25
Figure 10: Probability density and cumulative distribution function of normal distribution ($m_x = 596; \sigma_x = 23,8$)	31
Figure 11: Probability density and cumulative distribution function of Gumbel distribution ($m_x = 596; \sigma_x = 23,8$); Gumbel maximum	33
Figure 12: Probability density and cumulative distribution function of Gumbel distribution ($m_x = 4798, \sigma_x = 815,7$); Gumbel minimum	34
Figure 13: Probability density of normal distribution and Gumbel distribution of maximum and minimum ($m_x = 596; \sigma_x = 23,8$)	35
Figure 14: The layout of piles on the one dilatation unit	38
Figure 15: Area used for calculation	39
Figure 16: The fall of the empty container	43
Figure 17: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	44
Figure 18: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	45
Figure 19: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	46
Figure 20: Fall of full container from portal crane	47
Figure 21: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	48
Figure 22: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	49
Figure 23: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	50

Figure 24: One empty container	51
Figure 25: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	52
Figure 26: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	53
Figure 27: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	54
Figure 28: Two empty containers	55
Figure 29: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	56
Figure 30: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	57
Figure 31: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	58
Figure 32: Three empty containers	59
Figure 33: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	60
Figure 34: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	61
Figure 35: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	62
Figure 36: One full container	63
Figure 37: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	64
Figure 38: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	65
Figure 39: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	66
Figure 40: Two full containers	67
Figure 41: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	68
Figure 42: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	69
Figure 43: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	70
Figure 44: Tree full containers	71
Figure 45: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	72
Figure 46: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	73
Figure 47: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	74
Figure 48: Four full containers	75
Figure 49: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution	76
Figure 50: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution	77

Figure 51: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions	78
Figure 52: Combined probability of failure for different scenarios (normal distribution)	81
Figure 53: Combined probability of failure for different scenarios (Gumbel distribution)	82
Figure 54: Combined probability of failure for different scenarios (normal and Gumbel distribution)	83

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšave

LSD	limit state design
MSN	mejno stanje nosilnosti
MSU	mejno stanje uporabnosti

Velike latinske črke

A	dogodek
D	ploščina prereza konstrukcijskega elementa
M	upogibni moment
M_{sk}	karakteristična vrednost upogibnega momenta
N	osna sila
N_{sk}	karakteristična vrednost osne sile
$P(A)$	verjetnost dogodka
P	verjetnost nastopa dogodka z neugodnimi posledicami
R	odpornost elementa ali konstrukcije
$R_{c,k}$	karakteristična odpornost elementa ali konstrukcije
$R_{c,m}$	merjena ali izračunana odpornost elementa ali konstrukcije
T	tveganje oziroma izpostavljenost tveganju
V_x	koeficient variacije
V_p	velikost posledic
W	odpornostni moment prereza konstrukcijskega elementa

Grške črke

β	indeks zanesljivosti
σ	standardna deviacija, standardni odklon
σ_{del}	delujoča napetost
σ_{dop}	dopustna napetost
σ_{sd}	projektna napetost
f_k	karakteristična vrednost odpornosti
γ	Eulerjeva konstanta
γ_f	varnostni faktor na strani vplivov
γ_R	varnostni faktor na strani odpornosti

1 UVOD

Izgradnja Luke Koper se je začela leta 1957, ko so pričeli z izgradnjo nasipa proti Ankaranu. V istem letu je sesalni bager Peter Klepec pričel izkop morskega dna na severni obali mesta Koper, ob koncu leta pa je Vodna skupnost začela betonirati prvi privez. Z novim načinom gradnje, s poglobljanjem in nasipavanjem, so pridobili nove operativne površine za bodoče pristanišče. Poglobljanja morskega dna in nasipavanja zalednih površin se poslužujejo tudi danes in tako pridobivajo nove operativne površine za nemoteno obratovanje pristanišča. Ker je nosilnost tal na tem območju nizka, se pri gradnji pomolov, skladiščnih in drugih objektov na področju luke Koper pogosto poslužujejo globokega temeljenja konstrukcij.

Poudarek magistrskega dela je na analizi tveganja globoko temeljenih konstrukcij.

Analiza tveganja je proces, ki zajema oceno tveganja, obvladovanje tveganja ter izmenjavo informacij in mnenj med vsemi udeleženci in zainteresiranimi pri določenem objektu ali skupini objektov. Proces ocene tveganja predstavlja prvo stopnjo analize, ki mu sledi obvladovanje tveganja.

Namen magistrskega dela je analizirati in med seboj primerjati nosilnost pilotov za objekt Zapolnitev zaledne površine vezov 7.A in 7.B na pomolu I. v Luki Koper, in sicer za kombinacijo različnih obtežnih primerov in s programom Mathematica preveriti, kolikšna je verjetnost odpovedi oz. neuporabnosti konstrukcije ob različnih tipih porazdelitev.

Uporabila sem tri različne tipe porazdelitev:

- normalno porazdelitev,
- Gumbelovo porazdelitev minimuma in maksimuma,
- kombinacijo normalne, Gumbelove porazdelitve minimuma in maksimuma.

Pri normalni porazdelitvi sem uporabila tudi analitični izračun verjetnosti porušitve konstrukcije.

Za vsak tip porazdelitve sem s pomočjo drevesa dogodkov izračunala skupno verjetnost porušitve konstrukcije.

Magistrsko delo je sestavljeno iz več tematskih sklopov, ki si sledijo v naslednjem zaporedju:

- opis analize tveganja,

- opis pristopov za določitev ocene zanesljivosti objektov po metodi dopustnih napetosti in po metodi mejnih stanj,
- opis vrednotenja nosilnosti pilotov in opis razmer na lokaciji zaledne površine vezov 7.A in 7.B na pomolu I. v Luki Koper,
- opis terenskih preiskav nosilnosti pilotov,
- analiza inženirskega objekta,
- uporaba normalne in Gumbelove porazdelitve s programom Mathematica in primerjava rezultatov,
- uporaba drevesa dogodkov za posamezen tip porazdelitve in primerjava rezultatov.

2 ANALIZA TVEGANJA

2.1 SPLOŠNO

Aristotel je pred 2000 leti zapisal: »Verjetne nemožnosti so boljše kot možnosti, ki niso verjetne.« Ta Aristotlova izjava nam pove, da so ljudje že od samega začetka poskušali klasificirati negotove dogodke in glede na njih tudi sprejeti odločitve. Dandanes imamo razvito novejšo vedo, ki se ukvarja z negotovimi dogodki in odločitvami, imenuje se upravljanje s tveganjem.

Analiza tveganja (angleško risk analysis) je sistematični pristop prepoznavanja in ocenjevanja tveganja.

Analiza tveganja je proces, ki zajema oceno tveganja (angleško risk assessment), obvladovanje tveganja (angleško risk management) ter izmenjavo informacij in mnenj med vsemi udeleženci in zainteresiranimi (angleško risk communication).

Proces ocene tveganja predstavlja prvo stopnjo analize, ki mu sledi obvladovanje tveganja.

Odločanje je aktivnost, ki je vključena v del reševanja določenega problema. Težavnost odločitve in izbira odločitve, ki jo sprejmemo, je različna glede na pomembnost in posledice.

Proces odločitve obsega aktivnosti, ki nas pripeljejo do določene izbire:

- spoznavanje problema, za katerega iščemo odločitev,
- zbiranje informacij, analiza problema,
- določitev meril oz. odločitvenih kriterijev,
- predvidevanje posledic odločitve,
- izbira najboljše alternative.

Da bi se čim lažje in najboljše odločili, pa moramo:

- imeti na voljo vse potrebne podatke,
- naš cilj mora biti jasen,
- imeti dobro izoblikovane kriterije,
- dovolj časa, da vse preučimo in sprejmemo optimalno rešitev.

Tako ločimo dve vrsti odločitev, in sicer odločitev z gotovostjo in odločitev z negotovostjo.

Ko se odločamo na podlagi popolnih informacij, to imenujemo odločitev z gotovostjo. Torej je gotovost stanje, ko lahko izide določenih dogodkov zanesljivo in natančno predvidimo. V tem primeru tveganje ni prisotno.

Negotovost se pojavi takrat, kadar se posameznik ali skupina sooči s pomanjkanjem informacij. Problem negotovosti lahko povzamemo po (Chapman, Ward, 1997). Negotovost se pojavi, ko je struktura problema dobro definirana, kakor je tudi dobro definirana narava vseh spremenljivk in povezanost med njimi. Niso pa poznane numerične vrednosti posameznih spremenljivk. Vrednosti parametrov in spremenljivk so torej izražene z verjetnostnimi porazdelitvenimi funkcijami.

Vendar vemo, da je večina odločitev povezanih s tveganjem.

Tveganje je povezano z negotovostjo odločitve in pomeni pomanjkanje informacij o objektivnih razmerah ali pa so informacije, ki jih imamo na voljo, dvoumne. Takrat se pri samem odločanju pojavi tveganje.

Verjetnost pomeni možnost, da se bo dogodek zgodil, merjeno v razponu od 0 do 1, kjer 0 pomeni, da se dogodek gotovo ne bo zgodil in 1, da se bo dogodek gotovo zgodil. (Carter, Hancock, 1994)

Verjetnost je število, ki nam pove, kolikšna je možnost, da se zgodi neki dogodek. Verjetnost je temeljni pojem matematične panoge, ki jo imenujemo verjetnostni račun.

Verjetnost dogodka A označimo s $P(A)$. Črka P izvira iz latinščine: probabilitas = verjetnost.

Poznamo več matematičnih definicij verjetnosti:

- klasična definicija,
- statistična definicija.

Klasična definicija

Verjetnost dogodka $P(A)$ je razmerje med številom ugodnih izidov (m) in številom vseh možnih izidov dogodka (n), ki so enako verjetni:

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

kjer je:

$P(A)$... verjetnost dogodka,

A ... dogodek,

m ... ugodni izidi dogodka,

n ... vsi možni izidi dogodka.

Statistična definicija

Za statistično obdelavo moramo poskus ponoviti zelo velikokrat. Pri tem računamo, kolikokrat se dogodek A zgodi (to je frekvenca dogodka A). Verjetnost dogodka A je število, pri katerem se kvocient $\frac{m}{n}$ ustali, ko število ponovitev poskusa večamo proti neskončno.

2.2 OPREDELITEV TVEGANJA

Za tveganje sta značilni dve bistveni lastnosti, in sicer:

- da je vsako tveganje povezano z verjetnostno porazdelitvijo vseh dejavnikov,
- da nekateri rezultati teh dejanj povzročajo nezaželen rezultat.

Tveganje je posledica pomanjkljivih ali nekakovostnih informacij, ki jih ima odločevalec na razpolago za sprejemanje odločitev. Najpogosteje se tveganje dojema kot nevarnost oz. grožnja.

Zaščita pred tveganjem se je preoblikovala v obvladovanje tveganja. Naloga upravljanja s tveganji pa je obvladovanje teh tveganj.

Upravljanje s tveganji zajema:

- opredelitev tveganja,
- ocenjevanje tveganja,
- odzivanje na tveganje,
- pregledovanje in poročanje.

Obvladovanje tveganja je potrebno vgraditi v vsako strateško, operativno in finančno odločitev. Pri obvladovanju tveganja je bistvenega pomena:

- prepoznavanje tveganja,
- merjenje in obvladovanje tveganja,

- informiranje o tveganjih, katerim je projekt izpostavljen,
- predstaviti model za obvladovanje tveganja.

Cilj obvladovanja tveganja je sposobnost presojanja tveganja oziroma ocenjevanja nevarnosti.

Tveganje nastane pri vsaki izvedeni aktivnosti, pri vsakem projektu in podjetju prinaša določene izpostavljenosti in obvladovanje le-teh. Za vsak projekt je potrebno izdelati poseben načrt, ki ga imenujemo strategija obvladovanja tveganja. Ta pa je zaradi specifičnosti projekta in udeležencev v projektu za vsak projekt drugačen. Sistem obvladovanja tveganja je potrebno prilagajati glede na posamezen projekt in na spremembe v tem projektu.. Potrebno je oceniti verjetnost nastanka negativnega dogodka in posledice nastanka tega negativnega dogodka. Če obstajajo resne posledice negativnega dogodka na projektu, je potrebno ta negativni dogodek opustiti oz. iskati drugo rešitev.

Dejavniki tveganja na projektu so:

- pomanjkanje strokovnjakov,
- nezadostna opredelitev problema,
- slaba študija projekta,
- nejasni cilji.

Numerično definicijo tveganja zapišemo:

$$T = PV_p, \quad (2)$$

kjer je:

T ... tveganje, oziroma izpostavljenost tveganju,

P ... verjetnost nastopa dogodka z neugodnimi posledicami,

V_p ... velikost posledic.

Velikost tveganja je torej produkt med verjetnostjo nastopa nekega negativnega dogodka in velikostjo posledic tega na projekt.

3 PRISTOPI ZA DOLOČITEV OCENE ZANESLJIVOSTI

3.1 SPLOŠNO

V okviru projektiranja z varnostnim faktorjem zagotavljamo predpisano, oziroma zahtevano zanesljivost konstrukcije. Od vrednosti faktorja varnosti za trdnost je odvisna računsko trdnost konstrukcije, vrednost varnostnega faktorja za obtežbo pa določa računsko obtežbo konstrukcije. Za določanje varnosti konstrukcije z uporabo varnostnih faktorjev, obstajajo različne metode. Večina metod zahteva, da je dobljeni faktor varnosti konstrukcije ali posameznega elementa večji od 1, da je zagotovljena predpisana varnost.

V splošni praksi sta se do danes uveljavili dve metodi za varno projektiranje konstrukcij, in sicer:

- deterministična metoda,
- verjetnostna (probabilistična) metoda.

Deterministična metoda je bila razvita v začetku prejšnjega stoletja. Ta metoda je trenutno vpeljana v standarde Evrokod in sloni na določanju ter oceni materialnih karakteristik ter izkustvenem določanju varnostnih faktorjev zunanjih in notranjih vplivov.

Drugo metodo projektiranja, ki je uporabna za nadaljnji razvoj standardov, imenujemo verjetnostna (probabilistična) oziroma statistična metoda in temelji na določanju verjetnosti uresničitve določenih zunanjih vplivov ter verjetnosti zmanjšanja nosilnosti (odpornosti) posameznih konstrukcijskih elementov. V tem primeru so vplivi na konstrukcijo in parametri nosilnosti konstrukcijskih elementov podani kot statistična porazdelitev s povprečno vrednostjo in standardnim odklonom.

Glavna razlika med omenjenima pristopoma je v analizi variabilnosti na eni strani vplivov na konstrukcijo, katere označimo z E in na drugi odpornosti z oznako R . Z uporabo verjetnostnega pristopa zagotavljanja varnosti je mogoče ovrednotiti zanesljivost konstrukcije ali posameznega konstrukcijskega elementa.

3.2 METODA DOPUSTNIH NAPETOSTI

Projektiranje na dopustno napetostno stanje se v gradbeništvu uporablja že od začetka leta 1800. Pri tej metodi gre za primerjavo delujoče napetosti σ_{del} , ki deluje na konstrukcijo ali na določen del konstrukcije, z dopustno napetostjo, katere velikost že vsebuje določeno varnost. Kot primer je kontrola dopustnih napetosti (kontrola robnih napetosti v prerezu konstrukcijskega elementa na upogib) prikazana z izrazom:

$$\sigma_{del} = \frac{N}{D} \pm \frac{M}{W} \leq \sigma_{dop}, \quad (3)$$

kjer je:

σ_{del} ... delujoča napetost,

N ... osna sila,

M ... upogibni moment,

D ... ploščina prereza konstrukcijskega elementa,

W ... odpornostni moment prereza konstrukcijskega elementa,

σ_{dop} ... dopustna napetost.

Enačba (3) predstavlja splošno prakso uporabe tradicionalnega pristopa skupaj z različnimi stopnjami kontrole pri analizi konstrukcij. V primeru, da se je skozi čas izboljševala stopnja zanesljivosti kontrole, je bila dovoljena osnovna napetost posameznega konstrukcijskega elementa ali celotne konstrukcije reducirana z manjšim varnostnim faktorjem, kar je pomenilo bolj optimalno (ekonomično) projektiranje preko dopustnih napetosti.

3.3 METODA MEJNIH STANJ

V petdesetih letih prejšnjega stoletja (1950) se je pojavila zahteva po bolj ekonomičnem projektiranju konstrukcij, kar je pripeljalo do projektiranja glede na mejna stanja (LSD = limit state design). Znotraj projektiranja glede na mejna stanja sta upoštevana mejno stanje nosilnosti (MSN) ter mejno stanje uporabnosti (MSU).

Mejno stanje nosilnosti se nanaša na varnost konstrukcije proti poružitvi. Mejno stanje uporabnosti se nanaša na deformacije in pomike oz. poslabšanje konstrukcije. Le to ne sme biti tolikšno, da bi vplivalo na obnašanje konstrukcije pod pričakovano delovno obtežbo.

Načrtovanje po metodi mejnih stanj zahteva detajlno ovrednotenje materialnih parametrov vgrajenih materialov na eni strani in določitev vrednosti vseh vplivov, ki utegnejo delovati na konstrukcijo v njeni projektni življenjski dobi na drugi strani. Lastnosti uporabljenih materialov se določi s terenskimi in laboratorijskimi standardiziranimi preizkusnimi metodami, ki so del novih standardov za projektiranje. Velikostni red in pogostost vplivov se ovrednoti na podlagi preteklih izkušenj, dognanj in opravljenih meritev.

Skladno z metodo mejnih stanj se enačba (3) v splošnem glasi:

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sk} \cdot \gamma_f}{D} \pm \frac{M_{sk} \cdot \gamma_f}{W} \leq \frac{f_k}{\gamma_R}, \quad (4)$$

kjer je:

σ_{sd} ... projektna napetost,

N_{sk} ... karakteristična vrednost osne sile,

M_{sk} ... karakteristična vrednost upogibnega momenta,

γ_f ... varnostni faktor na strani vplivov,

f_k ... karakteristična vrednost trdnosti,

γ_R ... varnostni faktor na strani trdnosti,

D ... ploščina prereza konstrukcijskega elementa,

W ... odpornostni moment prereza konstrukcijskega elementa.

3.4 PRIMERJAVA METODE DOPUSTNIH NAPETOSTI Z METODO MEJNIH STANJ

Kontrola po metodi dopustnih napetosti vključuje primerjavo med pričakovano napetostjo, ki se pojavi v nekem konstrukcijskem elementu in tisto dopustno napetostjo, ki je bila določena na podlagi znanega nivoja porušitvene napetosti.

Pri metodi mejnih stanj je mejno stanje definirano kot računsko meja, pri kateri pride do različnih odповіdi, in sicer poznamo:

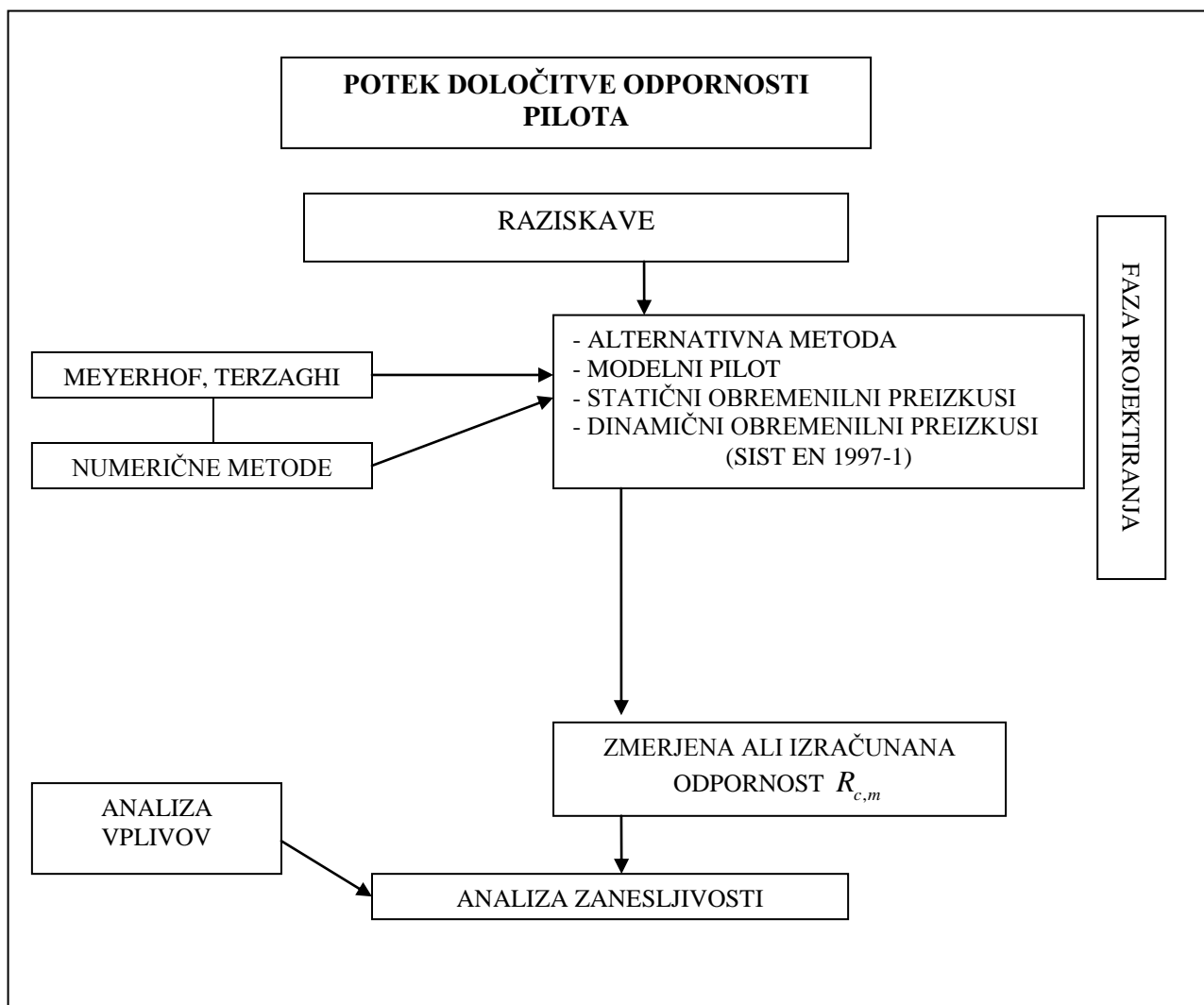
- Mejno stanje nosilnosti – delno ali popolna porušitev konstrukcije – izguba ravnotežja togega telesa, prevrnitev, zlom ali izguba stabilnosti kateregakoli dela konstrukcije vključno s temelji in podporami.
- Mejno stanje uporabnosti – prekoračitev kriterijev vezanih na uporabnost konstrukcije – pomiki, razpoke, vibracije, poškodbe nekonstruktivnih elementov.

Metodo mejnih stanj je možno uporabiti preko dveh pristopov, in sicer:

1. Deterministični:
 - vse količine imajo točno določene vrednosti, ki so predpisane v tehničnih predpisih in ostalih publikacijah,
 - mejno stanje predstavlja ostro mejo med varnim in nevarnim stanjem – varnostni faktorji so podani na osnovi izkušenj,
 - dejansko varnost je nemogoče oceniti.
2. Verjetnostni:
 - vse količine obravnavamo kot slučajne spremenljivke, ki sledijo neki verjetnostni porazdelitvi, s čimer ugotavljamo nezanesljivost podatkov, s katerimi razpolagamo,
 - določena je sprejemljiva verjetnost porušitve.

4 VREDNOTENJE NOSILNOSTI PILOTOV

4.1 ANALITIČNI IN NUMERIČNI POSTOPEK IZRAČUNA ODPORNOSTI



Slika 1: Potek določitve odpornosti in zanesljivosti pilotov

Figure 1: Process diagram of pile resistance and reliability determination

Slika 1 prikazuje postopek analize enega pilota, pri čemer skladno s SIST EN 1997-1 uporabimo za račun nosilnosti alternativno metodo ali modelni pilot glede na vsebino podatkov iz rezultatov terenskih raziskav. Nosilnost pilota pa se lahko določi tudi na podlagi izvedbe statičnega ali dinamičnega obremenilnega preizkusa. Za analizo nosilnosti se lahko uporabijo tiste metode, ki so bile

verificirane s statičnim obremenilnim preizkusom v primerljivih pogojih. V fazi projektiranja lahko odpornost posameznega pilota glede na pridobljene podatke iz geološko-geomehanskih raziskav določimo analitično (statični obrazci, metode izračuna na podlagi terenskih raziskav tal, kot so npr. CPT ali presiometer,...) oziroma numerično, s sodobnimi računalniškimi programi. Iz merjenih ali izračunanih odpornosti $R_{c,m}$ določimo karakteristično odpornost $R_{c,k}$.

Statični in dinamični obremenilni testi se običajno v praksi izvajajo šele po fazi projektiranja (načrtovanja) in služijo za primerjavo odpornosti pilotov, določene z računskimi analitičnimi ali numeričnimi metodami. Določitev potrebnega števila izvedbe statičnih in dinamičnih obremenilnih testov pilotov je v veliki meri odvisna od širšega poznavanja geološko-geotehničnih razmer na lokaciji predvidenih posegov, predvsem pa od registrirane spremenljivosti geoloških plasti, tlorisne velikosti objekta in predvidenega skupnega števila pilotov.

4.2 OPIS RAZMER NA LOKACIJI ZALEDNE POVRŠINE VEZOV 7.A IN 7.B NA POMOLU I. V LUKI KOPER

V nalogi bom analizirala eno izmed že zgrajenih in globoko temeljenih konstrukcij na območju Luke Koper, ki so bile zgrajene v zadnjih petih letih.

Za analizo in primerjavo sem si izbrala naslednji objekt:

- Zapolnitev zaledne površine vezov 7.A in 7.B na pomolu I. v Luki Koper.



Slika 2: Pogled na območje Luke Koper z okolico iz zraka

Figure 2: Aerial view of the Port of Koper region



Slika 3: Zaledna površina veza 7.A in 7.B na pomolu I

Figure 3: The basin fill area of the quays 7.A and 7.B on the pier I

Opis objekta

Splošno

Po Zakonu o graditvi objektov spada objekt med zahtevne objekte. Leži na območju Luke Koper, na parcelnih št. 1608/3 in 1608/4 k.o. Koper.

Zaledna površina je namenjena skladiščenju polnih in praznih kontejnerjev. Njene dimenzije so 292 m × 56,33 m, kar znaša tlorisne površine 16448 m².

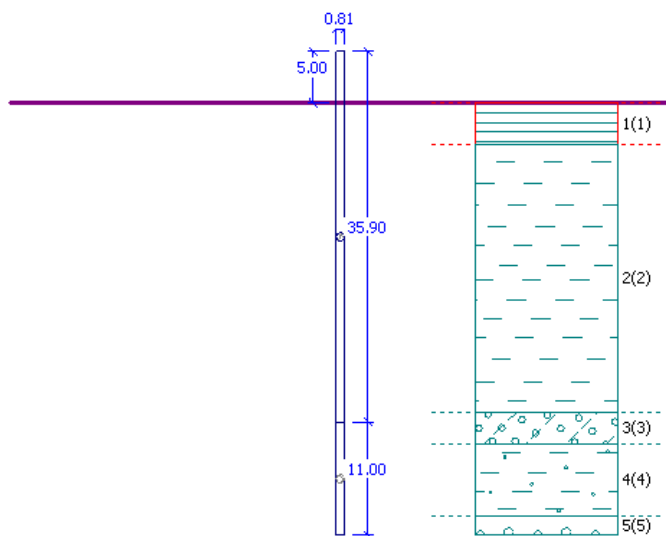
Podatki o temeljnih tleh

Podatke o temeljnih tleh sem povzela iz poročil že izvedenih raziskav na območju vezov 7A in 7B:

- Poročilo o geotehničnih raziskavah temeljnih tal na obali za kontejnerje 2 v Luki Koper, št. 1/43–80, 1980,
- Poročilo o raziskavah vzorcev tal odvzetih na lokaciji razširitve kontejnerskega terminala v Luki Koper, št. 1–20/89, 1989,
- Poročilo o obremenilnih preizkušnjah jeklenega cevnega kola E22 v podaljšku kontejnerske obale 2, na pomolu I v Luki Koper, SLP d.o.o., Ljubljana 2008,
- Podatki o globini zabijanja pilotov v območju zaplnitve veza 7.B.

Sestava temeljnih tal na obravnavanem območju je:

- lahkognetna glinasto meljna siva morska naplavina, debelina plasti med 23 in 28 m,
- slabo granulirana prodno peščena meljna zemljina, debelina plasti med 4 in 8 m;
- glinasti melj, debelina plasti med 2 in 6 m,
- slabo granulirana prodno peščena glinasta zemljina; debelina plasti med 3 in 9 m,
- pusta glina do glinasti melj s koščki preperelega laporja rjave in sivozelene barve s prodniki, debeline 3 m, ki pa se mestoma izklinja,
- preperel flišni lapor, debelina plasti med 3 in 6 m,
- kompakten fliš, ki predstavlja trdno podlago.



Št.	Opis plasti	Šrafura
1	voda	
2	plast (lahkognetna glinasto meljna siva morska naplavina)	
3	plast (slabo granulirana prodno peščena meljna zemljina)	
4	plast (glinast melj)	
5	plast (slabo granulirana prodno peščena glinena zemljina)	

Slika 4: Primer geološkega profila pri načrtovanju globokega temeljenja na zaledni ploščadi vezov 7.A in 7.B v Luki Koper

Figure 4: Example of geological profile in design of deep foundations at the basin fill platforms of the quays 7A and 7B at the Port of Koper.

Zasnova konstrukcije

Izgradnja obale oz. zapolnitev lagun je bila razdeljena v dve fazi. Prva faza je zajemala izgradnjo obale v zaledju veza 7.A2 in je zajemala dve dilatacijski enoti. Prva dilatacijska enota, ki je v območju žerjavne proge, je dolžine 89,45 m in širine 18,55 m, druga dilatacijska enota, ki je izven območja žerjavne proge, pa zajema površino dolžine 89,45 m in širine 37,73 m. Tako je skupna dimenzija obravnavanega območja $89,45 \text{ m} \times 56,28 \text{ m}$, s skupno površino 5034 m^2 . Druga faza je zajemala izgradnjo oziroma zapolnitev veza 7.B.

Obe enoti sta bili zasnovani kot armiranobetonski konstrukciji, polmontažnega tipa. Temeljeni sta na sistemu zabitih jeklenih pilotov $\text{Ø}812,8/12,5 \text{ mm}$. Na pilotih so kape pilotov, ki so služile kot ležišče za prečnike. Montažne plošče debeline 0,15 m so bile položene na montažne prečnike. Služili so kot opaž za armirano betonsko ploščo. Ko je bila taka površina pripravljena, je kot celota prevzela funkcijo opaža za betoniranje armiranobetonske plošče do končne višine.

Ker je bilo potrebno novo konstrukcijo prilagajati že obstoječim konstrukcijam, raster pilotov ni enakomerno porazdeljen po celotni obravnavani površini nove konstrukcija. Na površini dilatacije z žerjavno progo so bili predvideni rasteri $4,5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, na površini brez žerjavne proge pa pretežno $4,5 \text{ m} \times 5,1 \text{ m}$ in $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$.

V delu območja zaledne konstrukcije je bila predvidena tirnica žerjavne proge. Kjer je bila montirana tirnica A100, je bila armirano betonska plošča nadvišana za 10 cm. Ker segajo jekleni piloti $\text{Ø}812,8/12,5 \text{ mm}$ do območja nihanja morske gladine, so zaščiteni z armirano betonsko oblogo.

Predvidena globina zabijanja pilotov je bila do kote -42 m NMV in je prilagojena poteku linije nosilne plasti temeljnih tal, ki jo predstavlja slabo granulirana prodno peščena meljasta zemljina, $\text{GF}_c - \text{GF}_s$. Poševni piloti so bili zabiti v nagibu 4:1 v nosilno plast najmanj 2 m globoko.

Minimalni trdnostni razred za betone montažnih elementov (prečnikov, kap pilotov in plošč) ter jarmov je C35/45, kar ustreza stopnji izpostavljenosti elementov konstrukcije XS3. Najmanjša debelina krovnega sloja betona je 5 cm. Stopnja odpornosti proti prodoru vode je PV-III. Jeklo za armaturo je kakovosti S500, piloti pa so izdelani iz jekla S355 J2.

4.3 OBREMENILNI PREIZKUSI PILOTOV

Ločimo dve vrsti obremenilnih preizkusov, in sicer:

- statični obremenilni preizkus,
- dinamični obremenilni preizkus.

4.3.1 Statični obremenilni preizkus

Postopek obremenitve

Na pilotu se opravi meritve, iz katerih dobimo podatke o deformacijah pri obremenjevanju, razbremenjevanju in lezenju pilota. Zato morajo biti postopki obremenilnega preizkusa pilota, število obremenilnih stopenj oziroma korakov, trajanje teh korakov in izvedba obremenilnih ciklov takšni, da je iz opravljenih meritev mogoče te podatke tudi dobiti in jih vnaprej uporabiti. Za pridobitev podatka o mejni obremenitvi pilota pa je pomembna izbira obtežbe. Izbrati moramo tako obtežbo, da ta podatek lahko pridobimo. Za izvedbo statičnega obremenilnega preizkusa se uporablja standard ASTM 1143-81-Standard Method of Testing Piles Under Static Axial Compressive Load. Dinamični obremenilni preizkus se izvaja po standardu ASTM D4945-00 - standard Method of High Strain Dynamic Testing of Piles.

Primer statičnega obremenilnega preizkusa na objektu Zapolnitev zaledne površine vezov 7.A in 7.B

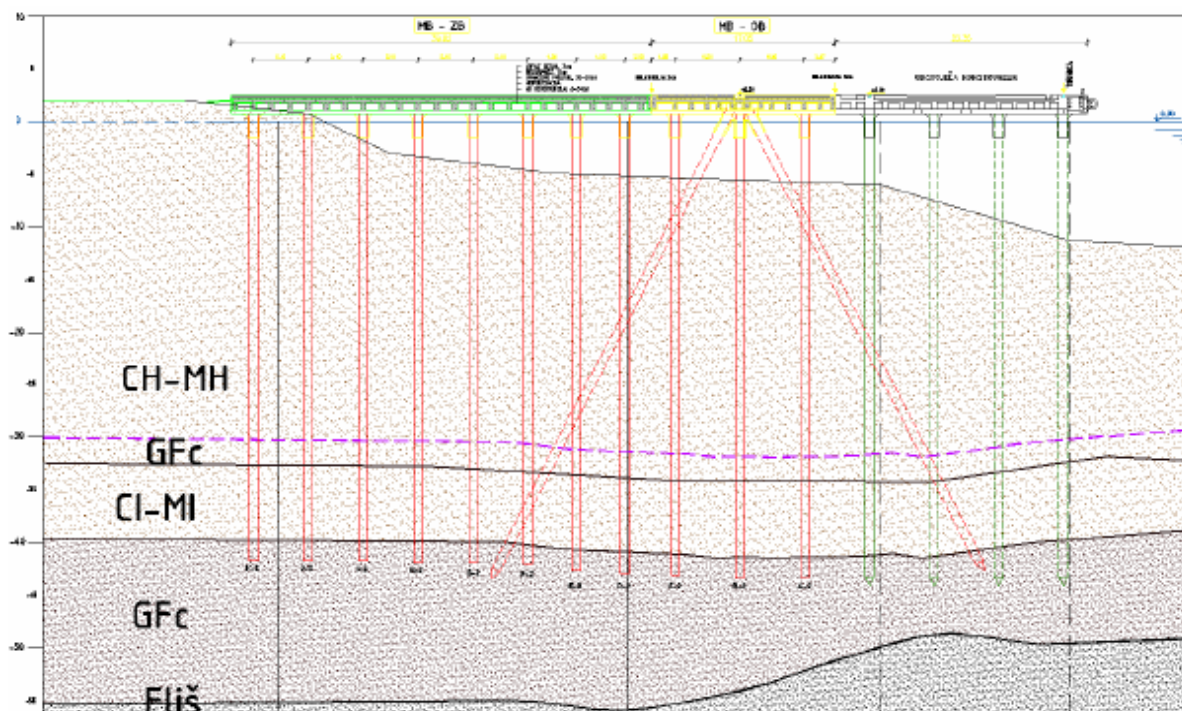
Poročilo je izdelalo podjetje SLP d.o.o., Št. p.: PDA 102-02-2008; Ljubljana, novembra 2008. Preiskave so bile izvedene na testnih jeklenih pilotih ϕ 812/12.5 mm. Za kontrolo in izbor ustreznih pilotov je bilo predvideno testiranje štirih pilotov v osi 44. Ti piloti so imeli oznako C44, F44, E44 in D44.



Slika 5: Obstoječa obala veza 7 z lokacijo testa (povzeto po Strniša, 2008)

Figure 5: Existing coast of the berth 7 with the test location (from Strniša, 2008)

Sestava tal je razvidna iz spodnje slike:



Slika 6: Sestava tal v prečnem prerezu skozi obstoječo obalo in predvideno zaledje (povzeto po Strniša, 2008)

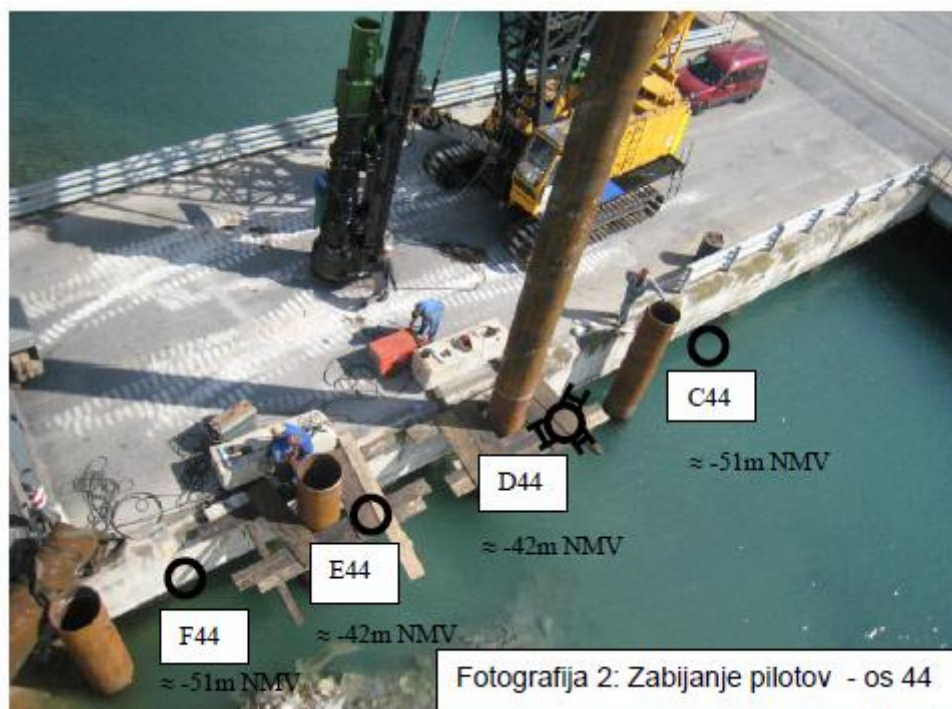
Figure 6: Configuration of the soil in the cross section of the existing coast and the future fill basin (from Strniša, 2008)

Iz zgornje slike je razvidna sestava tal na obravnavani površini:

- do globine -30 m NMV so prisotni židki in lahkognetni morski sedimenti,
- nato je tanka plast zaglinjenega peščenega proda,
- do globine približno -40 m NMV manj stisljiva glina in melj,
- povprečno na -40 m NMV se pojavi dokaj heterogena plast zaglinjenega peščenega proda; ta se nadaljuje do flišne preperine in flišne podlage na koti od -50 m do -55 m NMV.

Zabijanje preizkusnih pilotov in analiza nosilnosti

Septembra 2008 so bili zabiti vsi štirje preizkusni piloti. Vsi piloti so bili zabiti z dizelskim zabijalom ICE 46.



Slika 7: Zabijanje pilotov v osi 44 (povzeto po Strniša, 2008)

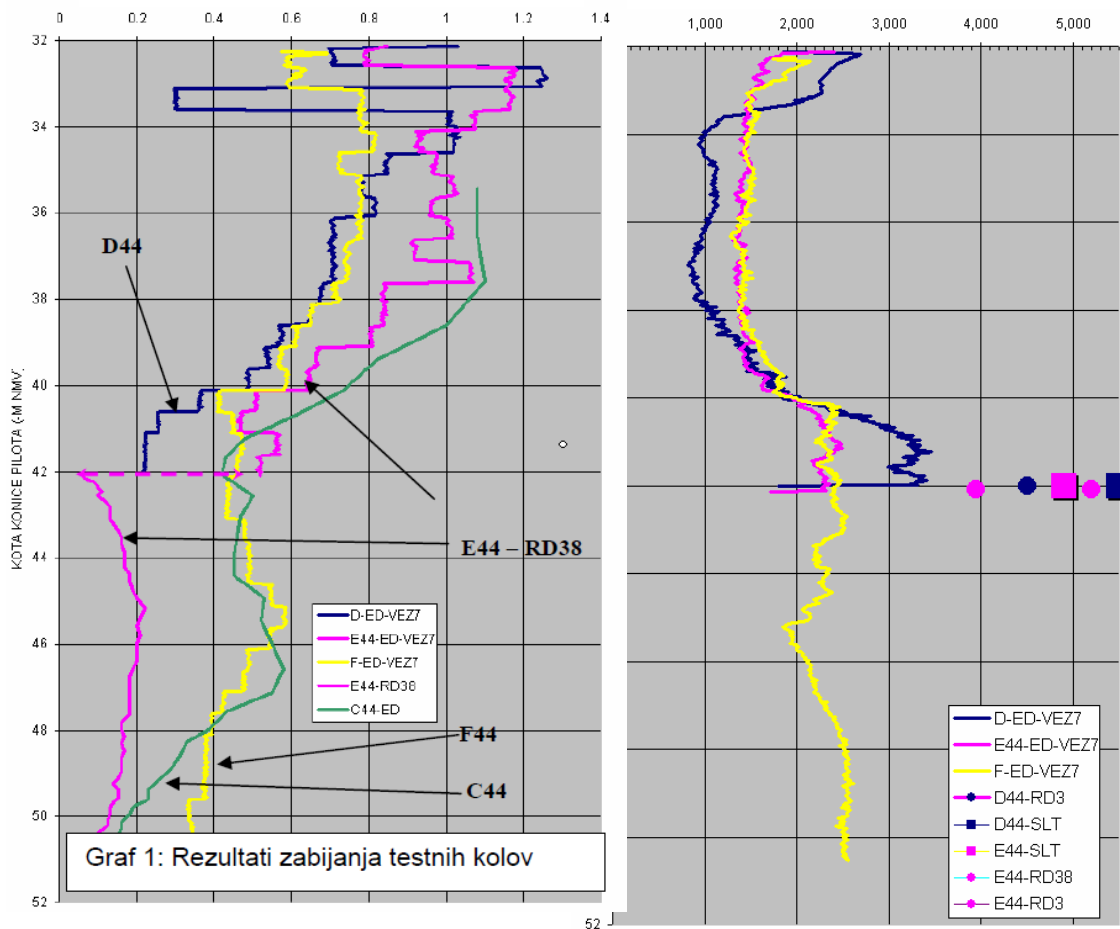
Figure 7: Pile driving along the axis 44 (from Strniša, 2008)

Za izvlečna pilota sta bila uporabljena pilota C44 in F44. Oba sta bila zabita do globine $-50,5$ m NMV, pilot E44 pa do globine -42 m NMV. Prav tako je bil do globine -42 m zabit pilot D44, vendar se je od drugih pilotov nekoliko razlikoval. V zadnjem delu je imel ob konici simetrično privarjene tri HEA320 jeklene profile. Jekleni profili so bili dolžine 2 m. HEA profili so bili uporabljeni z namenom povečanja površine konice in plašča pilota v dobro nosilnem sloju zaglinjenega grušča približno na globini -42 m NMV.

Rezultati zabijanja testnih pilotov so razvidni iz grafikona 1 (povzeto po Strniša, 2008)

Pogrezki med zabijanjem (m/minuto)

Nosilnost med zabijanjem, pri ponovnem zabijanju in statičnem testu (kN)



Grafikon 1: Rezultati zabijanja testnih pilotov (povzeto po Strniša, 2008)

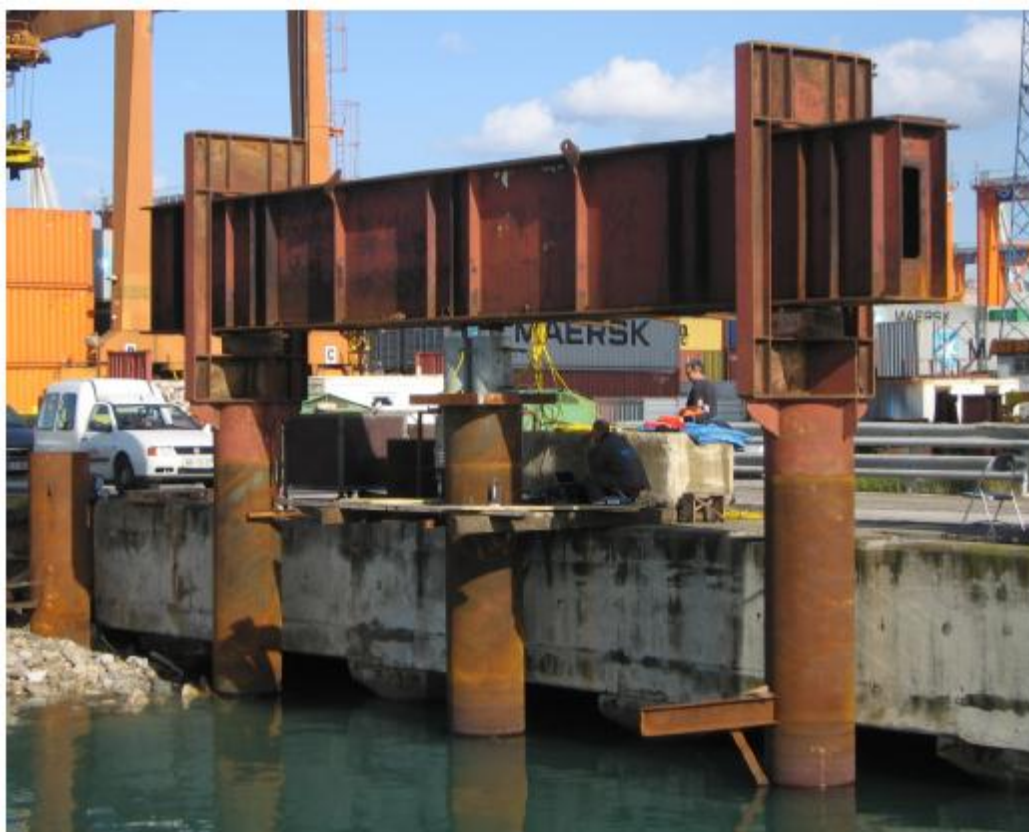
Graph 1: Results of driving the test piles (from Strniša, 2008)

Izvedena sta bila dva statična obremenilna preizkusa:

- na pilotu z oznako E44, ki je bil zabit do kote -42 m NMV,
- drugi na pilotu z oznako D44, prav tako zabit do kote -42 m NMV.

D44 je imel na konici dodane tri dva metra dolge HEA320 profile.

Preizkusna pilota sta bila obremenjena preko treh hidravličnih cilindrov. Opirajoč se na jeklen nosilec, so cilindri kontrolirano prenašali silo na preizkusni pilot. Na glavo pilota je bila najprej položena jeklena plošča. Centrično na glavo pilota preko jeklene plošče pa so bile postavljene tri vzporedno vezane dvigalke. Skupna kapaciteta vseh treh dvigalk je bila preko 9600 kN. Osna oddaljenost izvlečnih pilotov od testnega pilota je bila 5,10 m.



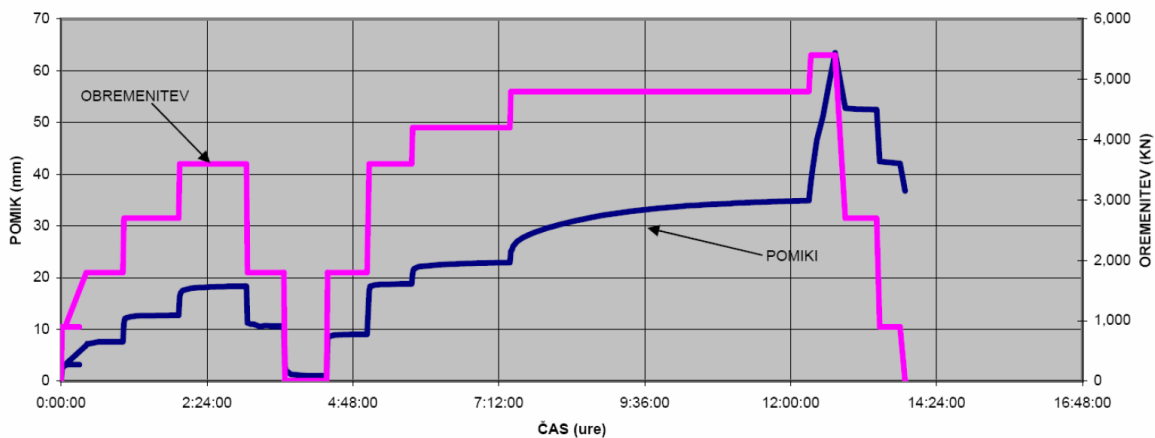
Slika 8: Izvedba testa na pilotu D44 (povzeto po Strniša, 2008)

Figure 8: Testing of the pile D44 (from Strniša, 2008)

Opazovanje pomika na glavi pilota med statičnim obremenilnim testom je potekalo na štirih merskih točkah, ki so bile razporejene približno v dveh med seboj pravokotnih smereh. Med opazovanjem so bile uporabljene tri mikrometrške urice in kontrolni ekstenzometer. Potekala je tudi groba kontrola opazovanja pomikov pilota in v ta namen je bil uporabljen nivelir. Stojišče nivelirja je bilo od testnega pilota oddaljeno več kot 12 m, zato da deformacije tal niso vplivale na rezultate meritev.

Na obeh izvlečnih pilotih je bil uporabljen po en ekstenzometer, nivelir in po ena mikrometrška urica. Obremenjevanje pilotov je bilo predvideno postopno, v dveh fazah.

Statični obremenilni test na pilotu E 44



Grafikon 2: Obremenitev in pomiki pilota E 44 s časom (povzeto po Strniša, 2008)

Graph 2: Load and displacement of the pile E44 with time (from Strniša, 2008)

Potek obremenilnega preizkusa, obremenitve in pomiki na pilotu E44 so prikazani v zgornjem privzetem grafu. Prikazano je stopnjevanje osne sile v kN, čas v urah, čas trajanja posamezne obtežbe in odčitki pomika glave pilota.

V prvi fazi obremenjevanja (do osne tlačne obremenitve 3600 kN) se je preizkusni pilot E 44 obnašal popolnoma elastično.

V drugi fazi pa je šele po petih urah prišlo do umiritve pomikov. Uporabljena je bila obremenitev 4800 kN. Iz 4800 kN je bila uporabljena obremenitev povečana na 5400 kN. Z uporabo povečane obremenitve je prišlo do velikih pomikov pilota. Pomiki niso kazali trenda zmanjševanja pomikov s časom. Tako je velikost skupnega pomika dosegla večjo vrednost kot kriterij za določitev mejne nosilnosti po ASTM in DIN standardu. Obremenjevanje je bilo pri pomiku 63 mm prekinjeno. V fazi razbremenitve pilota oz. po razbremenitvi pilota, je preostala deformacija znašala 36,8 mm.

Tako je bila določena mejna statična nosilnost preizkusnega pilota E44, zabitega do kote -42 m NMV, ki je imela vrednost 4900 kN.

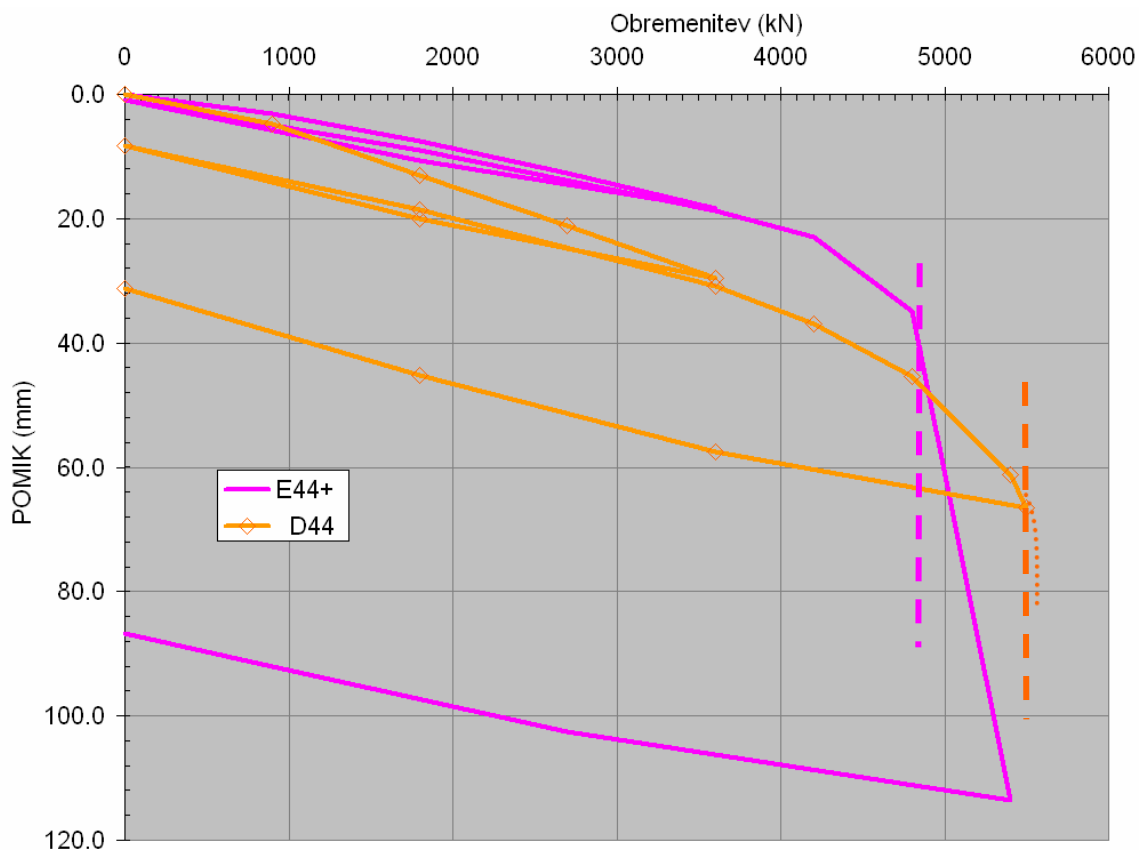


Slika 9: Meritve pomikov na testnem pilotu E44 (povzeto po Strniša, 2008)

Figure 9: Testing of the pile E44 (from Strniša, 2008)

Po vgradnji pilota E44 in preteku 36 dni od vgradnje pilota je bil na tem pilotu izveden statični preizkus. V ta namen sta pilota F44 in D44 delovala kot izvlečna pilota. Ocenjena mejna nosilnost testnega pilota E44 je bila 4900 kN. Pilot E44 so nato zabili do flišne podlage.

Po preteku 50 dni od zabijanja je bil tudi na pilotu D44 izveden statični preizkus. V tem primeru sta bila kot natezna pilota uporabljena pilota C44 in E44. Mejna nosilnost preizkusnega pilota D44 je imela vrednost 5500 kN.



Grafikon 3: Pomiki pilotov E44 in D44 v odvisnosti od obremenitve (povzeto po Strniša, 2008)

Graph 3: Displacement of the E44 and D44 piles relative to their load (from Strniša, 2008)

Po zaključenem statičnem preizkusu nosilnosti pilota E44 je bila nosilnost pilota kontrolirana tudi z dinamičnim preizkusom. Rezultati so pokazali dobro ujemanje med vrednostmi, dobljenimi iz statičnega in dinamičnega preizkusa. Statična nosilnost pilota E44, določena na osnovi dinamičnega preizkusa in CAPWAP analize, je 5199 kN, kar predstavlja samo 6% razlike od nosilnosti, izmerjene s statičnim preizkusom.

Ko primerjamo zabijanja pilotov C44, F44 in E44, lahko ugotovimo, da lahko pilot hitro zabijemo do flišne podlage. Pri tem smo uporabili zabijalo ICE46 v najmočnejši prestavi. Na koti -42 m se je pričakovalo pogrezke med 60 in 70 cm/minuto zabijanja. Ko pilot doseže globino približno -50 m NMV in preide fliš, pogrezki hitro padejo pod 20 cm/minuto zabijanja.

Če pilot na določeni globini stoji dalj časa, se hitrost zabijanja lahko zelo zmanjša. To se je pokazalo pri zabijanju pilota E44, saj je bilo zabijanje pilota E44 pod koto -42 m NMV po 38 dneh čakanja,

precej bolj počasno kot zabijanje drugih dveh pilotov. Zabijanje ostalih dveh pilotov se je izvedlo v času enega oziroma dveh dni.

Pri zabijanju pilotov je prišlo do odriva zemljine. Vsak pilot je odrinil od 4–5 m³ zemljine. Ko je po 38 dneh potekalo še dodatno zabijanje pilota E44 od kote –42 m NMV do fliša, je bilo dodatno izrinjene še približno 0,75 m³ zemljine.

4.3.2. Dinamični obremenilni preizkus

Dinamične obremenilne preizkuse uporabljamo za oceno osne tlačne odpornosti pilota. Izvedene morajo biti ustrezne preiskave tal na konkretni lokaciji, poleg tega pa mora biti metoda umerjena na statične obremenilne preizkuse, ki morajo biti izvedeni na enaki vrsti pilotov, podobne dolžine in prereza ter v primerljivih geotehničnih pogojih.

Kadar se uporabi več različnih vrst dinamičnih preizkusov, moramo rezultate različnih vrst dinamičnih preizkusov vedno preučiti z upoštevanjem relacij med temi preizkusi. Dinamični obremenilni preizkusi se lahko uporabijo tudi kot pokazatelji zveznosti pilotov ter za odkrivanje pilotov z nižjimi nosilnostmi.

Dinamični obremenilni test izvajamo:

- samo ob koncu zabijanja,
- pri ponovnem zabijanju čez nekaj dni od vgradnje pilota.

Cilj dinamičnega obremenilnega testa je dobiti končno vrednost oz. mejno nosilnost testiranega pilota. Ko je mejna nosilnost pilota znana, jo projektant uporabi pri nadaljnjem projektiranju konstrukcije.

Mejna nosilnost pilotov na objektu Zapolnitev zaledne površine veza 7.A2

Dinamični obremenilni testi so bili izvedeni med zabijanjem pilotov, ob koncu zabijanja in nekaj časa po končanem zabijanju.

Za zabijanje in testiranje pilotov je podjetje SLP uporabilo dieselsko zabijalo DELMAG D46-13, ki je bilo montirano na vodilo zabijalnega bagra.

Senzorje za merjenje deformacij in pospeškov so pritrčili na testni pilot. Senzorji so bili pritrjeni osno simetrično, približno 2 premera pod glavo pilota. Ti senzorji so povezani s PDA (Pile Driving Analyser) analizatorjem. Po glavi pilota se udarja z zabijalom, ki povzroča tlačni napetostni val. Ta potuje po pilotu navzdol, ko doseže konico, se odbije in vrne nazaj gor. Napetostne valove zazna senzor. Ti valovi se preko PDA-ja (Pile Driving Analyser) obdelajo in tako dobimo ob vsakem udarcu zabijala na zaslonu prikaz poteka sile in hitrosti pomika merskega mesta v odvisnosti od časa. Po zabijanju te rezultate ponovno analiziramo.

Ko so dinamični obremenilni testi končani, dobljene podatke o sili in pospešku uporabimo za računalniško analizo s CAPWAP (CAse Pile Wave Analysis Program) programom. Osnova tega programa je valovna enačba. Z obremenjevanjem določenega modela pilota in zemljine dobimo graf obtežba-pomik izbranega testiranega pilota.

Izbrani testiran pilot K41 so spremljali s PDA od -26,8 m NMV do približno -41,00 m NMV. Na osnovi meritev je bil izdelan graf in analiza nosilnosti ob koncu zabijanja.

Po 58 dneh po končanem zabijanju je bil na pilotu K41 izveden test z zabijalom D46. Pogrezki v seriji 10 udarcev so bili večji kot 3 cm/10 udarcev.

Tako je bila dobljena mejna nosilnost pilota z oznako K41s konico zabito do -40,9 m NMV s časom vgradnje do meritve 58 dni z zabijalom 39 ud/min 4185 kN.

Vrednosti odpornosti pilotov, ki so bili dobljeni z dinamičnimi obremenilnimi testi za pilote, ki so bili vgrajeni v prod in testirani nad 20 dni, sem uporabila v nadaljevanju naloge. Podatki so vzeti iz poročila SLP d.o.o. in sicer za Zapolnitev zaledne površine veza 7.A2, veza 7.B in veza 7.C in zbrani v preglednici(1).

Preglednica 1: Odpornost pilotov, ki so vgrajeni v prod in testirani po več kot 20 dneh od vgradnje

Table 1: Resistance of piles, which are stamped in gravel, they are tested after more than 20 days from instalation

Pilot	Kota konice m NMV	dni	Mejna nosilnost $R(kN)$
K 41	-40,90	58	4185
MOST	-45,00	>1leto	5724
G13-RD26	-42,00	26	3591
G9-RD21	-42,10	21	4125
A5-RD27	-50,10	27	5850
G104-RD30	-42,20	30	4177
F104-RD94	-42,50	94	5020
G23-RD220	-42,30	220	5092
I17-RD39	-42,00	39	3818
D62	-52,00	22	6400

Z uporabo izmerjenih vrednosti mejne nosilnosti pilotov iz preglednice sem izračunala srednjo vrednost odpornosti pilota, nato standardni odklon in koeficient variacije ter te podatke uporabila v nadaljevanju naloge:

- $R = 4798 \text{ kN}$,
- $\sigma = 960,20 \text{ kN}$,
- $V_x = 0,20$.

Vrednost koeficienta variacije za nosilnost tlačno obremenjenih pilotov znaša po NBS SPECIAL PUBLICATION 577, Issued June 1980 in JCSS-OSTL-02-5-98 0,17, kar je podobno vrednosti, dobljeni iz meritev iz preglednice 1. V nadaljevanju naloge sem uporabljala podatek iz literature ($V_x = 0,17$), ker je dobljen na podlagi bistveno večjega vzorca, poleg tega so meritve iz preglednice 1 izvedene po različnih časih od vgradnje, kar dodatno prispeva k večji razpršenosti rezultatov.

5 ANALIZA VERJETNOSTI PORUŠITVE OBRAVNAVANE KONSTRUKCIJE

5.1 SPLOŠNO

Pri matematiki oz. verjetnostnem računu in statistiki poznamo več različnih porazdelitev:

- enakomerna porazdelitev,
- porazdelitev, ki izhajajo iz Bernoullijevega poskusa,
- normalna porazdelitev,
- logaritemsko normalna porazdelitev,
- porazdelitve ekstremnih vrednosti.

Pri svoji nalogi bom uporabila normalno porazdelitev in porazdelitev ekstremnih vrednosti – Gumbelovo porazdelitev maksimuma in minimuma.

5.2 NORMALNA PORAZDELITEV

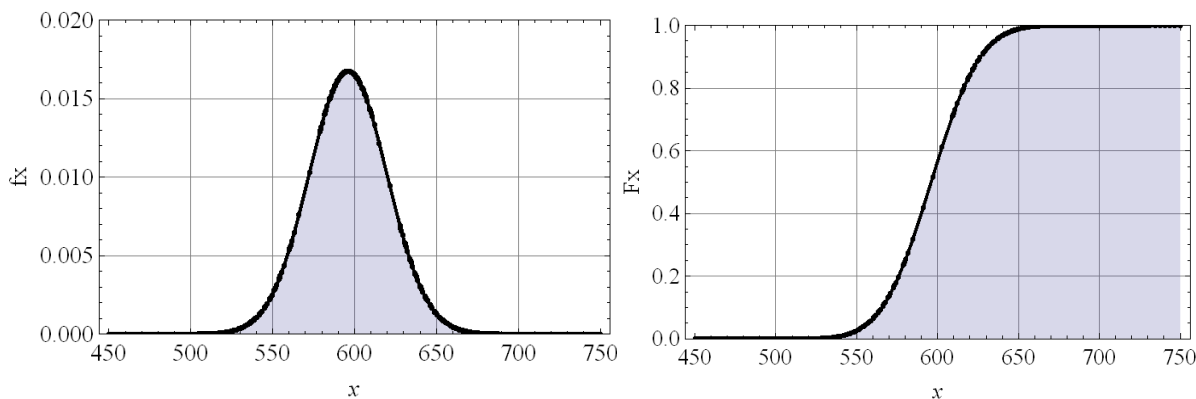
Normalno porazdelitev imenujemo porazdelitev, ki jo dobimo, če seštejemo neskončno mnogo enako porazdeljenih neodvisnih slučajnih spremenljivk. Imenujemo jo tudi Gaussova porazdelitev. Gostota verjetnosti je oblikovana v obliki zvona oziroma Gaussove krivulje. Normalna ali Gaussova porazdelitev je najpogosteje uporabljena porazdelitev v statistiki.

Porazdelitveno funkcijo, ki je določena z integriranjem funkcije gostote verjetnosti, zapišemo kot:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\bar{x} - m_X}{\sigma_X}\right)^2} d\bar{x} \quad (5)$$

Ker integrala v enačbi (5) analitično ne moremo rešiti, lahko vrednost porazdelitvene funkcije določimo le numerično. V nekaterih programih je porazdelitvena funkcija že vgrajena, v drugih pa je definirana sorodna funkcija, iz katere lahko določimo vrednost porazdelitvene funkcije. Tako sta v

programu Excel to funkciji *normdist* in *normsdist*, v programu Mathematica pa lahko uporabimo funkcijo Normal Distribution.



Slika 10: Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve spremenljivke

$$(m_x = 596; \sigma_x = 23,8)$$

Figure 10: Probability density and cumulative distribution function of normal distribution

$$(m_x = 596; \sigma_x = 23,8)$$

5.3 PORAZDELITEV EKSTREMNIH VREDNOSTI

V inženirstvu nas pogosto zanimajo le ekstremne vrednosti določenih spremenljivk. Na primer, konstrukcija se poruši zaradi najmočnejšega vetra. Zato nas pravzaprav zanima porazdelitev hitrosti najmočnejšega vetra in ne porazdelitev hitrosti vetra v poljubnem trenutku. Podobno velja za trdnost materiala: zanima nas porazdelitev najnižje vrednosti trdnosti materiala. (povzeto po Turk, 2011).

Porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I imenujemo Gumbelova porazdelitev. Pri Gumbelovi porazdelitvi obravnavamo porazdelitev maksimuma in porazdelitev minimuma.

5.3.1 Porazdelitev maksimuma

Če ima porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ na zgornjem repu porazdelitveno obliko

$$F_X(x) = 1 - e^{-g(x)},$$

kjer je $g(x)$ monoton naraščajoča funkcija, je porazdelitvena funkcija maksimuma slučajnih spremenljivk X_i , ko gre njihovo število proti neskončnosti, enaka

$$F_Y(y) = e^{-e^{-\alpha(y-u)}}, \quad -\infty < y < \infty \quad (6)$$

Konstanti α in u sta parametra, ki sta odvisna od pričakovane vrednosti in variance slučajne spremenljivke Y . Gostoto verjetnosti te slučajne spremenljivke dobimo z odvajanjem porazdelitvene funkcije $F_Y(y)$ v enačbi (5). (povzeto po Turk, 2011)

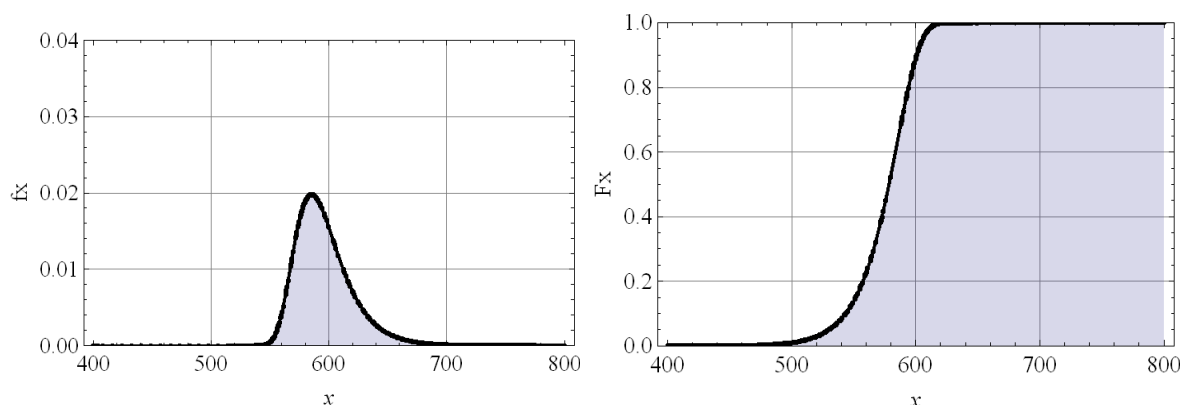
$$f_Y(y) = \alpha e^{-\alpha(y-u) - e^{-\alpha(y-u)}} \quad (7)$$

Pri reševanju uporabimo zvezi med momentom slučajne spremenljivke m_Y in σ_Y ter njenima parametroma u in α

$$m_Y = u + \frac{\gamma}{\alpha}, \quad \sigma_Y^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2},$$

kjer je γ Eulerjeva konstanta z vrednostjo $\gamma \approx 0,577216$. Tako lahko določimo tudi obratni zvezi:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma_Y}, \quad u = m_Y - \frac{\gamma}{\alpha}. \quad (8)$$



Slika 11: Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija Gumbelove porazdelitve spremenljivke
($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$); Gumbel maksimum

Figure 11: Probability density and cumulative distribution function of Gumbel distribution
($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$); Gumbel maximum

5.3.2 Porazdelitev minimuma

Če ima porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ na spodnjem repu porazdelitveno obliko eksponentne funkcije

$$F_X(x) = e^{-g(x)},$$

je porazdelitvena funkcija minimuma slučajnih spremenljivk X_i , ko gre njihovo število proti neskončnosti, enaka

$$F_Z(z) = 1 - e^{-e^{\alpha(z-u)}}, \quad -\infty < z < \infty. \quad (9)$$

Gostoto verjetnosti določimo z odvajanjem porazdelitvene funkcije

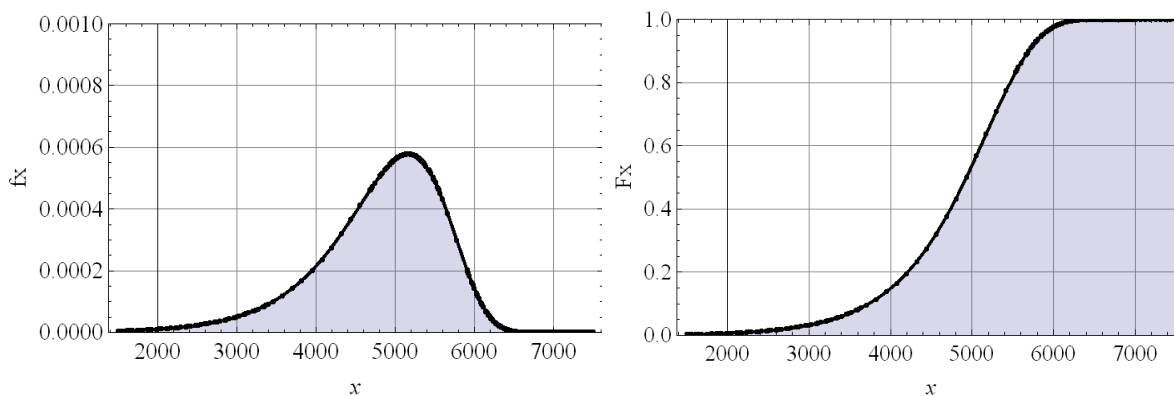
$$f_Z(z) = \alpha e^{\alpha(z-u) - e^{\alpha(z-u)}}.$$

Zveze med parametroma porazdelitve α in u so podobne kot pri porazdelitvi maksimuma

$$m_z = u - \frac{\gamma}{\alpha}, \quad \sigma_z^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$$

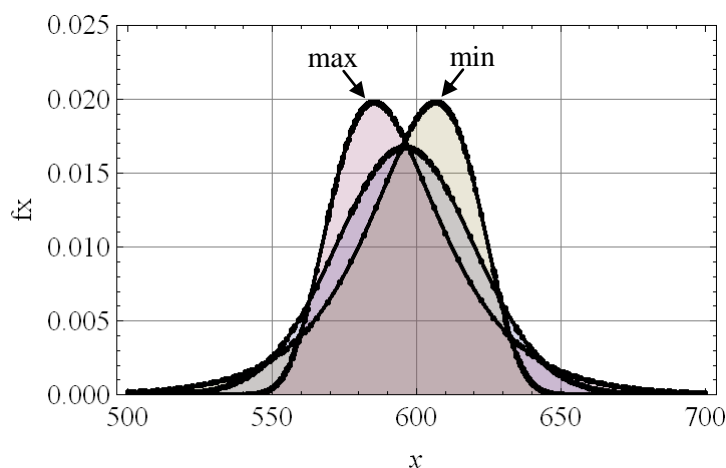
in obratno

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma_z}, \quad u = m_z + \frac{\gamma}{\alpha}. \quad (10)$$



Slika 12: Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija Gumbelove porazdelitve spremenljivke
($m_x = 4798$, $\sigma_x = 815,7$); Gumbel minimum

Figure 12: Probability density and cumulative distribution function of Gumbel distribution
($m_x = 4798$, $\sigma_x = 815,7$); Gumbel minimum



Slika 13: Gostota verjetnosti normalne porazdelitve spremenljivke ter Gumbelove porazdelitve spremenljivke maksimuma in minimuma ($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$)

Figure 13: Probability density of normal distribution and Gumbel distribution of maximum and minimum ($m_x = 596$; $\sigma_x = 23,8$)

5.4 METODA MONTE CARLO

Metoda Monte Carlo se je začela uporabljati že med II. svetovno vojno v okviru projekta Manhattan, pri izdelavi prve atomske bombe. Pozneje so jo uporabili tudi pri načrtovanju vodikove bombe za prikaz oz. simulacijo gibanja nevtronov. Lahko bi ji rekli tudi metoda simulacij. Zelo pomembna je postala pri vrednotenju finančnih instrumentov in upravljanju s tveganji. Njena pogosta uporaba pa se je pričela z razcvetom računalnikov, ki omogočajo veliko število naključno generiranih vzorcev v vedno krajšem času. Vendar pa smo tu omejeni z zmogljivostjo računalnika in časom, ki ga imamo na razpolago. Da bi dobili čim natančnejši oz. zanesljiv rezultat, pa mora biti število ponovitev dovolj veliko.

Postopek z metodo Monte Carlo:

- generiranje vzorca slučajnih spremenljivk (lastna teža konstrukcije, teža transtejnerja odpornost pilota,...),
- določanje pogojev ali generirane vrednosti ustrezajo (določiti kaj je porušitev),
- štetje primerov, ko generirane vrednosti ustrezajo pogojem (ali nastopi porušitev).

Pred pričetkom je potrebno:

- opredeliti problem (primer 1-9),
- opredeliti ključne spremenljivke (lastna teža konstrukcije, teža transtejnerja, odpornost pilota...),
- izdelati simulacijski model.

Ko imamo vse zgoraj naštetu pripravljeno, pa lahko izvedemo simulacijo (v mojem primeru od 100 pa do 80.000.000 ponovitev). Po končani simulaciji sledi primerjava in analiza rezultatov.

V simulaciji lahko uporabimo različne verjetnostne porazdelitve in lahko takoj vidimo možne posledice naših odločitev. Lahko proučujemo medsebojni vpliv posameznih spremenljivk v sistemu.

Tako se je v nalogi hitro pokazalo kolikšna je verjetnost odpovedi enega pilota.

5.5 ODLOČITVENA DREVESA IN DREVO DOGODKOV

Odločitveno drevo (angleško decision tree) je vrsta odločitvenega modela, na katerem so ponazorjene odločitve in dogodki, ki vodijo do rezultata, ki je posledica uporabljene odločitve. Pogosto se uporabljajo v statistiki, prepoznavanju vzorcev, odločanju,... Vedno ga rišemo od leve proti desni, preko vozlišč, ki so med seboj povezana.

Drevo dogodkov (angleško event tree) je del odločitvenega drevesa. Diagram drevesa dogodkov predvideva oz. ponazarja logično zaporedje dogodkov, ki bi se lahko realizirali v odvisnosti od tega dogodka. Analize z uporabo dreves dogodkov vključujejo analizo zagotavljanja induktivnega pristopa (načina raziskovanja od posameznega k splošnemu – zakonitosti odkrivamo tako, da sklepamo na posameznih opazovanjih) zanesljivosti in analizo tveganja z uporabo logike. Pri tem je vključena celotna analiza dogodkov. Drevo dogodkov temelji na logičnem zaporedju, kjer se je dogodek zgodil ali pa se ni zgodil. Je analiziranje posledic v primeru, da se dogodek zgodi ob določeni verjetnosti. Pri odločanju s tveganjem je lahko končni rezultat tudi zavajajoč, ker je drevo dogodkov sestavljeno iz različnih izidov, ki imajo različne verjetnosti. Pojavi se problem negotovosti.

Negotovost je povezana z več elementi odločitvenega drevesa oz. drevesa dogodkov in sicer:

- ali se bodo res zgodili vsi dogodki, ki smo jih upoštevali,
- če se bodo, ali se bodo zgodili z ocenjeno verjetnostjo dogodka,
- ali je upoštevana verjetnost (v mojem primeru verjetnost porušitve) pravilno izračunana.

5.6 VREDNOSTI PORAZDELITVENIH FUNKCIJ ZA OBRAVNAVAN OBJEKT

5.6.1 Splošno

V nalogi sem določala vrednosti porazdelitvene funkcije po metodi Monte Carlo z uporabo programa Mathematica.

Upoštevala sem tri primere porazdelitev:

1. Normalna porazdelitev

V vseh 9 primerih sem upoštevala, da so vse vhodne spremenljivke normalno porazdeljene in izračunala gostoto in verjetnost posameznih spremenljivk.

2. Gumbelova porazdelitev

Ker je Gumbelova porazdelitev, porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I, sem upoštevala vrednosti spremenljivk za Gumbelovo porazdelitev maksimuma za spremenljivke lastne teže konstrukcije, teže transtejnerja, teže zaradi padca kontejnerja in teže kontejnerjev. Za odpornost pilota pa je bila upoštevana vrednost spremenljivk za Gumbelovo porazdelitev minimuma.

3. Normalna in Gumbelova porazdelitev

V tretjem primeru sem upoštevala kombinacijo normalne in Gumbelove porazdelitve maksimuma in minimuma.

Lastna teža konstrukcije, teža transtejnerja in teže kontejnerjev so upoštewane kot normalne porazdelitve, padci kontejnerjev kot Gumbelova porazdelitev maksimuma, odpornost pilota pa kot Gumbelova porazdelitev minimuma.

5.6.2 Računski model

Za določitev zanesljivosti objekta potrebujemo dve vrsti podatkov. Prvi podatki so vplivi v konstrukcijskih elementih, ki jih povzročajo obremenitve na objekt. Drugi podatek, ki ga potrebujemo, je odpornost konstrukcijskega elementa, ki ga primerjamo z obremenitvijo na ta element.

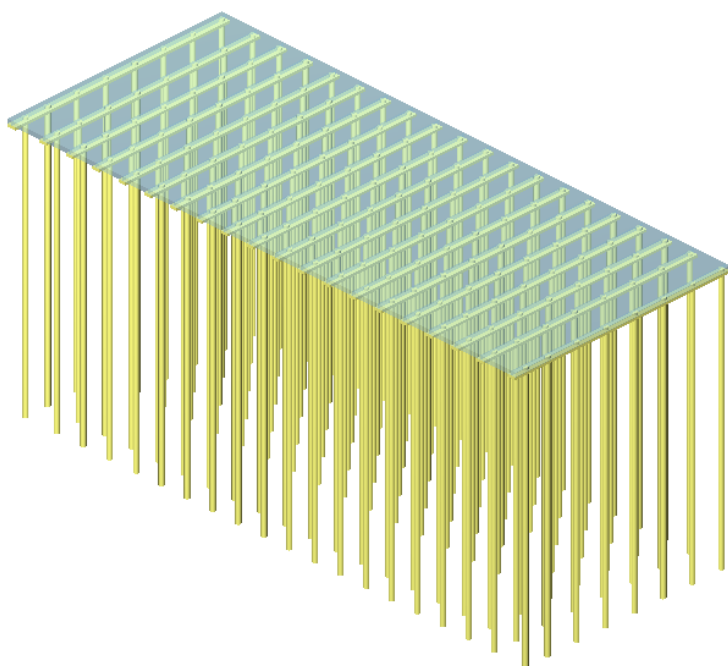
Za vrednosti obtežb za posamezne obtežne primere in vrednosti odpornosti pilotov sem uporabila podatke iz že izdelanih projektov:

- Huis, M. 2009. Projekt zapolnitev zaledne površine veza 7.A2 PZI, Št. projekta gp-pr-025/08. Ljubljana, Geoportal d.o.o.
- Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabitih jeklenih kolov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA-071-01-2009, Zapolnitev zaledne površine veza 7.A2 v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.
- Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabitih jeklenih pilotov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA 102-03-2008, Zapolnitev zaledne površine veza 7.B v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.
- Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabitih jeklenih pilotov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA 102-04-2008, Zapolnitev zaledne površine veza 7.C v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.

Odpornost pilota

Za vrednosti odpornosti pilotov sem upoštevala podatke iz zgoraj navedenih projektov in sicer za pilote, ki so bili vgrajeni v prod in testirani po preteku 20 dni od vgradnje.

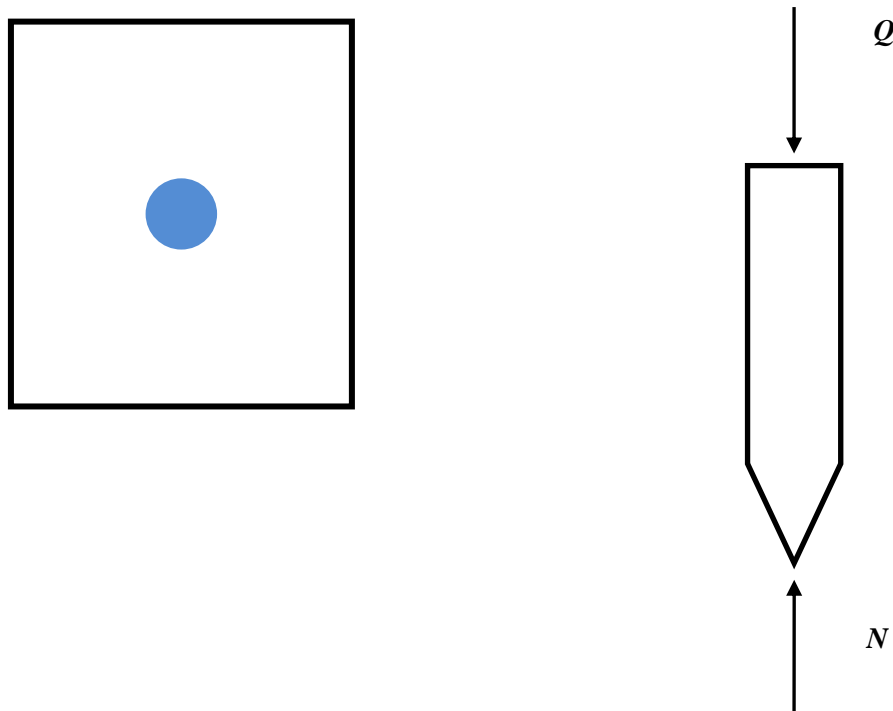
Obtežba na pilot



Slika 14: Razporeditev pilotov na eni dilatacijski enoti

Figure 14: The layout of piles on the one dilatation unit

Slika 14 prikazuje razporeditev vseh pilotov na eni dilatacijski enoti veza 7.A in 7.B v Luki Koper. Pri določitvi obtežbe na pilot sem upoštevala vplivno površino, ki pripada enemu pilotu. To prikazuje slika 15.



Slika 15: Površina za izračun

Figure 15: Area used for calculation

Vplivna površina, ki pripada enemu pilotu:

- vplivna širina 4,50 m,
- vplivna dolžina 5,10 m.

Dimenzije prečnikov so:

- dolžina prečnika 4,14 m,
- širina prečnika 1,20 m,
- debelina prečnika 0,40 m.

Dimenzije polnila:

- dolžina 0,96 m,

- širina 1,20 m,
- debelina 0,40 m.

Montažne plošče debeline 0,15 m so bile položene na montažne prečnike. Debelina armiranobetonske plošče je 0,70 m.

Povprečna debelina je 1,04 m:

$$m_1 = 4,5 \cdot 5,1 \cdot 1,04 \cdot 25 = 596 \text{ kN.}$$

Skupna teža, ki deluje na en pilot, znaša 596 kN. Ta vrednost je v izračunih vzeta kot lastna teža konstrukcije $m_1 = 596 \text{ kN}$.

Transtejner je premična obtežba in znaša 310 kN/m oziroma na en pilot deluje 1395 kN.

Dimenzije kontejnerjev, ki so bile upoštevane pri izračunu:

- dolžina 6,075 m,
- širina 2,458 m,
- višina 2,513 m.

Teža kontejnerja:

- teža praznega 2500 kg,
- približna teža polnega kontejnerja, ki sem jo vzela pri izračunu, je 20.000 kg.

Tako je teža praznega kontejnerja 1,674 kN/m² oziroma pripadajoča teža na en pilot 38,418 kN, teža polnega kontejnerja pa 13,39 kN/m² oziroma pripadajoča teža polnega kontejnerja na en pilot 307,30 kN.

Udarec kontejnerja na pilot:

- udarec praznega kontejnerja 111 kN,
- udarec polnega kontejnerja 200 kN.

Obremenitve, ki pripadajo posameznemu pilotu in so bile uporabljene pri izračunih:

- lastna teža konstrukcije 596 kN,
- teža transtejnerja 1395 kN,
- padec praznega kontejnerja 111 kN,
- padec polnega kontejnerja 200 kN,
- teža enega praznega kontejnerja 38,4 kN,
- teža dveh praznih kontejnerjev 76,84 kN,
- teža treh praznih kontejnerjev 115,3 kN,
- teža enega polnega kontejnerja 307,30 kN,
- teža dveh polnih kontejnerjev 614,60 kN,

- teža treh polnih kontejnerjev 921,90 kN,
- teža štirih polnih kontejnerjev 1.229,30 kN,
- odpornost pilota 4798 kN.

Za vrednosti koeficienta variacije pa sem uporabila podatke iz NBS SPECIAL PUBLICATION 577, Issued June 1980 in JCSS-OSTL -02-5-98.

Vrednosti uporabljenih koeficientov variacije:

- za običajni beton $V_x = 0,04$,
- teža transtejnerja $V_x = 0,01$,
- kontejner $V_x = 0,25$,
- odpornost pilota $V_x = 0,17$.

Pri transtejnerju sem vzela najmanjšo vrednost koeficienta variacije, ker je v tem primeru transtejner znana obtežba, torej je obtežba konstantna vrednost.

Preglednica 2: Podatki za izračun

Table 2: Data used for calculation

Obremenitev na pilot	m (kN)	V_x	σ (kN)
lastna teža	596	0,04	23,84
teža transtejnerja	1.395	0,01	13,95
padec praznega kontejnerja	111	0,25	27,8
padec polnega kontejnerja	200	0,25	50
en prazen kontejner	38,40	0,25	9,60
dva prazna kontejnerja	76,84	0,25	19,09
tri prazni kontejnerji	115,30	0,25	28,81
en poln kontejner	307,30	0,25	76,83
dva polna kontejnerja	614,60	0,25	153,65
tri polni kontejnerji	921,90	0,25	230,48
štiri polni kontejnerji	1.229,30	0,25	307,48

Vhodne podatke sem uporabila v devetih primerih in s programom Mathematica izračunala tri primere porazdelitev. Izračun je narejen za različno število ponovitev in sicer za: 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000, pri nekaterih primerih, pri katerih je bila verjetnost porušitve zelo majhna, tudi za 30.000.000, 40.000.000, 50.000.000 in 80.000.000.

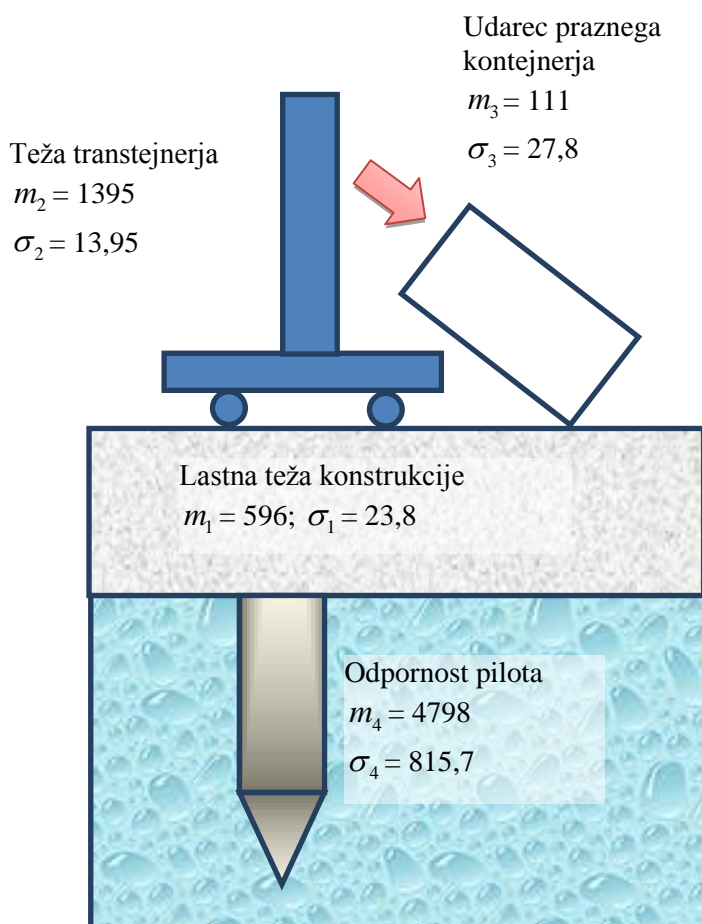
Preglednica 3: Primeri za izračun

Table 3: Cases used for calculation

Primer	Opis primera
1	lastna teža + teža transtejnerja + udarec enega praznega kontejnerja
2	lastna teža + teža transtejnerja + udarec enega polnega kontejnerja
3	lastna teža + en prazen kontejner
4	lastna teža + dva prazna kontejnerja
5	lastna teža + tri prazni kontejnerji
6	lastna teža + en poln kontejner
7	lastna teža + dva polna kontejnerja
8	lastna teža + tri polni kontejnerji
9	lastna teža + štiri polni kontejnerji

5.6.3 Analiza izbranih primerov

PRIMER 1: PADEC PRAZNEGA KONTEJNERJA S TRANSTEJNERJA



Slika 16: Padeč praznega kontejnerja

Figure 16: The fall of the empty container

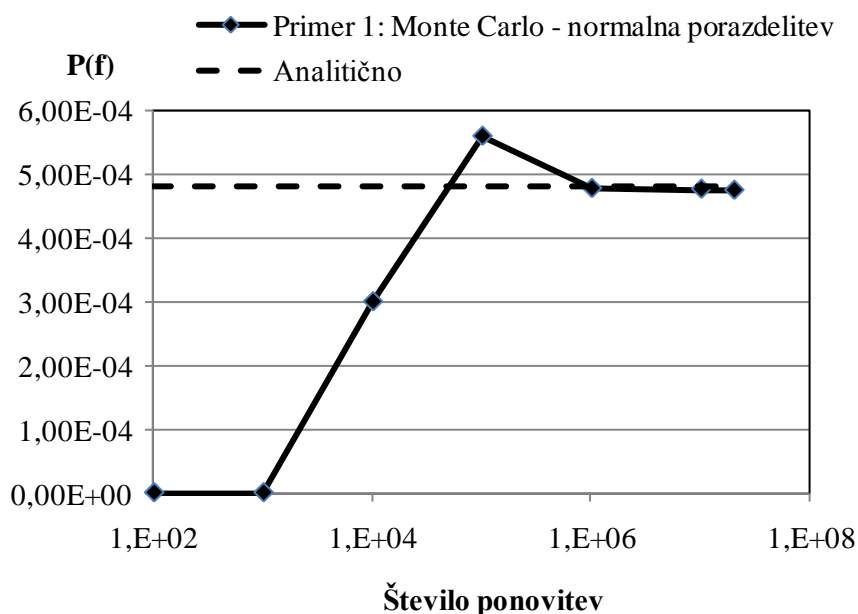
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža transtejnerja ($m_2 = 1395$ kN, $\sigma_2 = 13,95$ kN),
- padeč praznega kontejnerja ($m_3 = 111$ kN, $\sigma_3 = 27,8$ kN),
- odpornost pilota ($m_4 = 4798$ kN, $\sigma_4 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema s pomočjo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 17 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 17: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 17: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

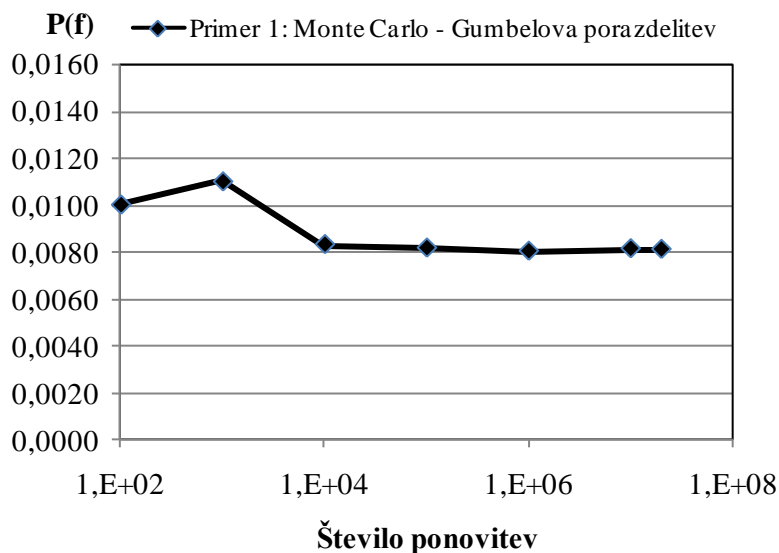
Iz slike 17 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 1.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000475.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 0,000481$; $m_x = 2696$ kN, $\sigma_x = 816,6$ kN) vidimo, da se vrednosti bistveno ne razlikujeta, kar priča o merodajnosti dobljenih rezultatov z metodo Monte Carlo.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 18 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

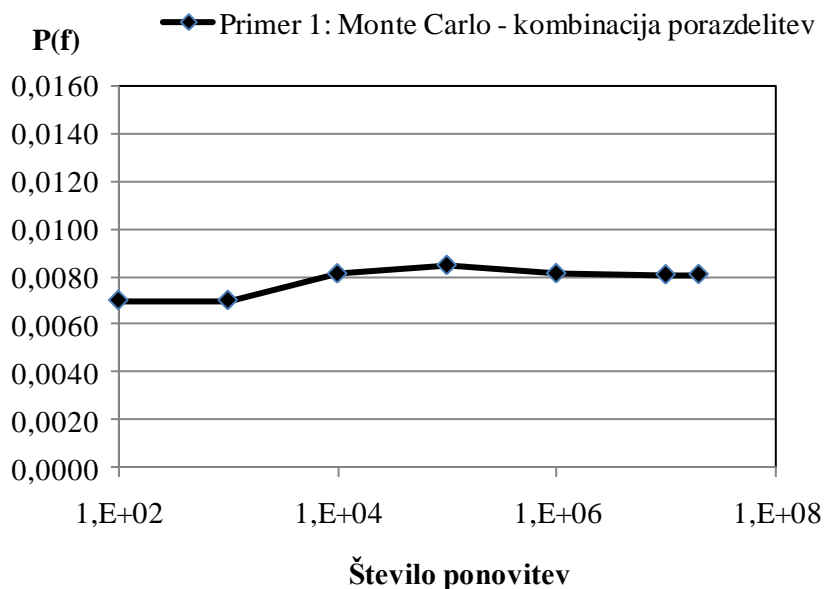


Slika 18: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 18: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00809.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

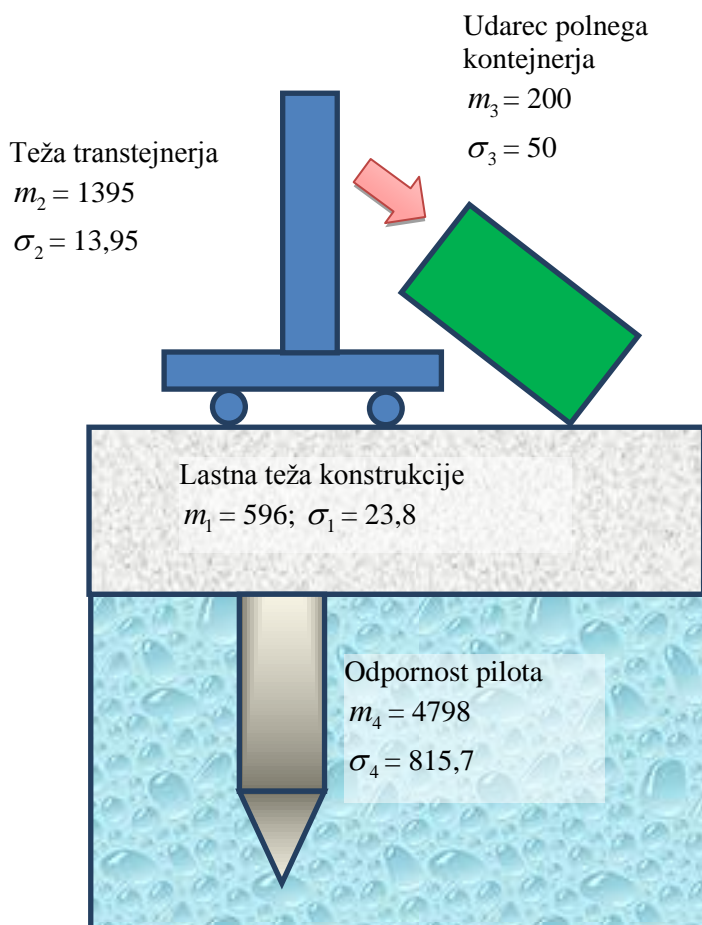


Slika 19: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 19: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 19 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00807.

PRIMER 2: PADEC POLNEGA KONTEJNERJA S TRANSTEJNERJA



Slika 20: Padeč polnega kontejnerja s transtejnerja

Figure 20: Fall of full container from portal crane

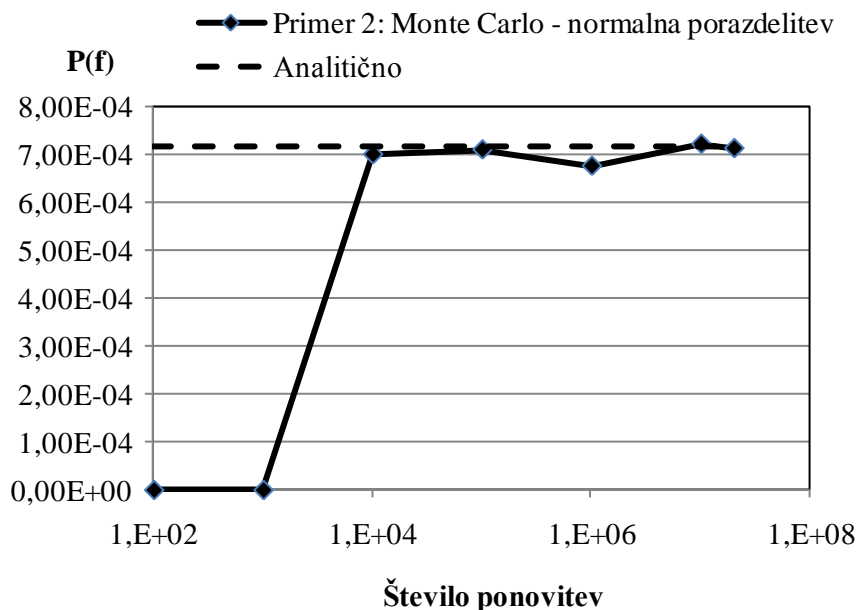
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža transtejnerja ($m_2 = 1395$ kN, $\sigma_2 = 13,95$ kN),
- padeč polnega kontejnerja ($m_3 = 200$ kN, $\sigma_3 = 50$ kN),
- odpornost pilota ($m_4 = 4798$ kN, $\sigma_4 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 21 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 21: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 21: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

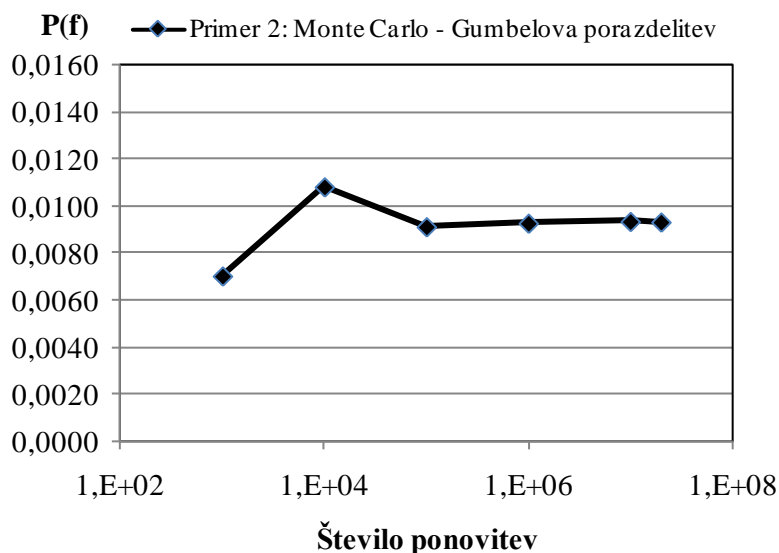
Iz slike 21 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 10.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000713.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 0,000715$; $m_x = 2607$ kN, $\sigma_x = 817,7$ kN) vidimo, da se vrednosti bistveno ne razlikujeta, kar priča o merodajnosti dobljenih rezultatov z metodo Monte Carlo.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 22 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

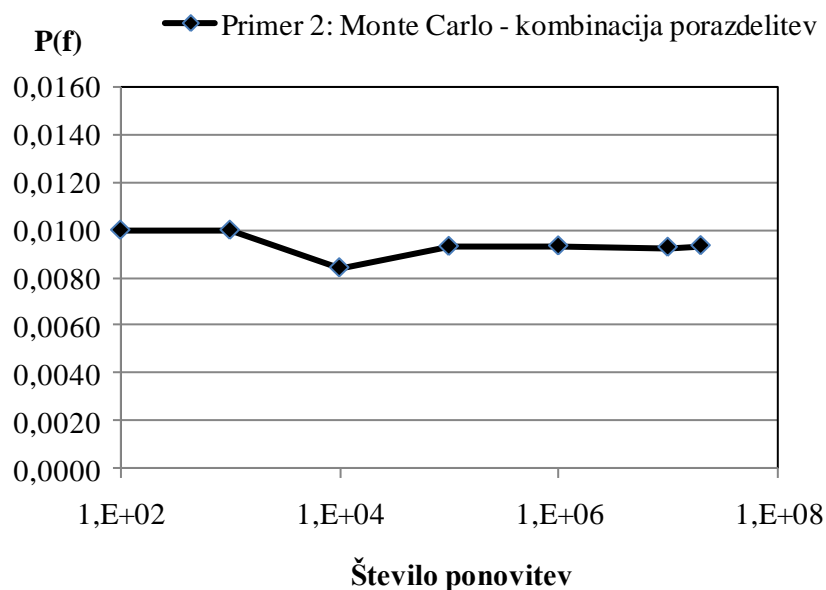


Slika 22: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 22: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00930.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE POPORAZDELITVE

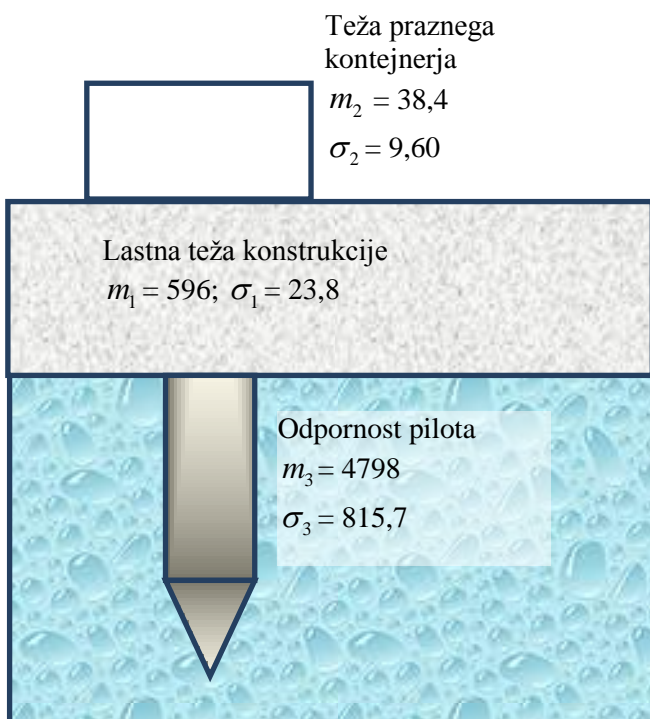


Slika 23: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 23: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 23 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00934.

PRIMER 3: EN PRAZEN KONTEJNER



Slika 24: En prazen kontejner

Figure 24: One empty container

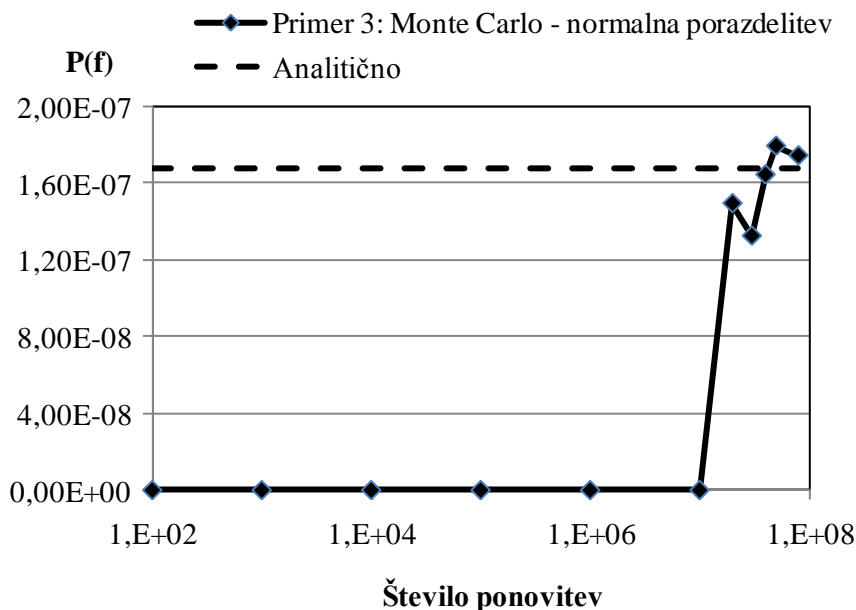
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža praznega kontejnerja ($m_2 = 38,4$ kN, $\sigma_2 = 9,60$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000. Na sliki 25 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 25: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 25: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

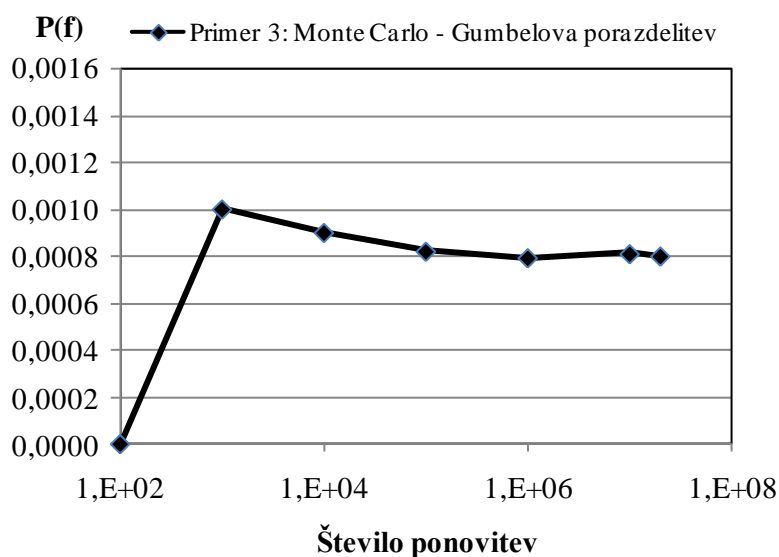
Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 40.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve $1,65 \text{ E}-07$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 1,68 \text{ E}-07$; $m_x = 4163,58 \text{ kN}$, $\sigma_x = 816,07 \text{ kN}$) vidimo, da se vrednosti bistveno ne razlikujeta, kar priča o merodajnosti dobljenih rezultatov z metodo Monte Carlo.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponovljivosti vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000, 50.000.000 in 80.000.000. Na sliki 26 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

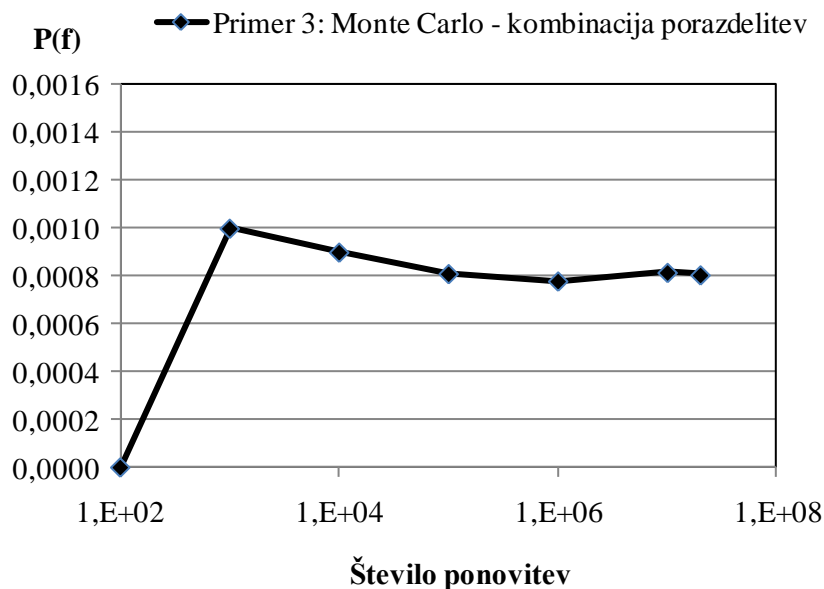


Slika 26: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 26: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000800.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

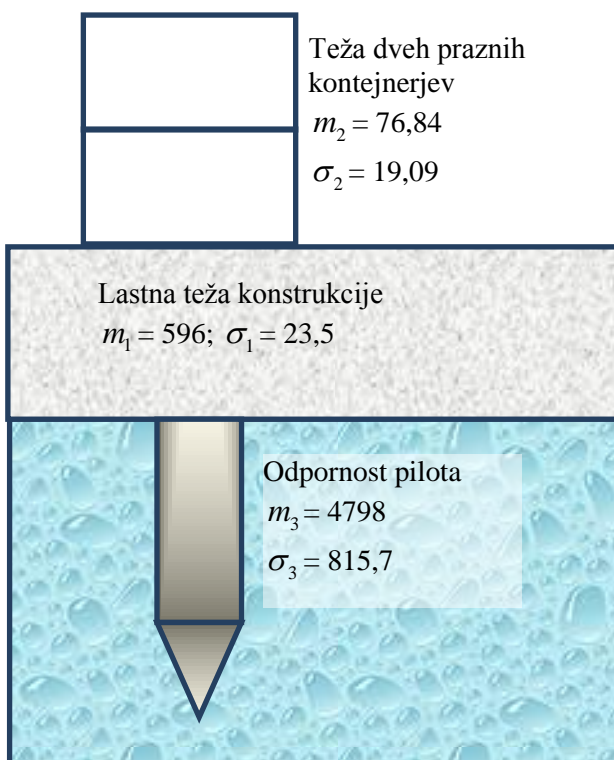


Slika 27: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 27: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 27 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000805.

PRIMER 4: DVA PRAZNA KONTEJNERJA



Slika 28: Dva prazna kontejnerja

Figure 28: Two empty containers

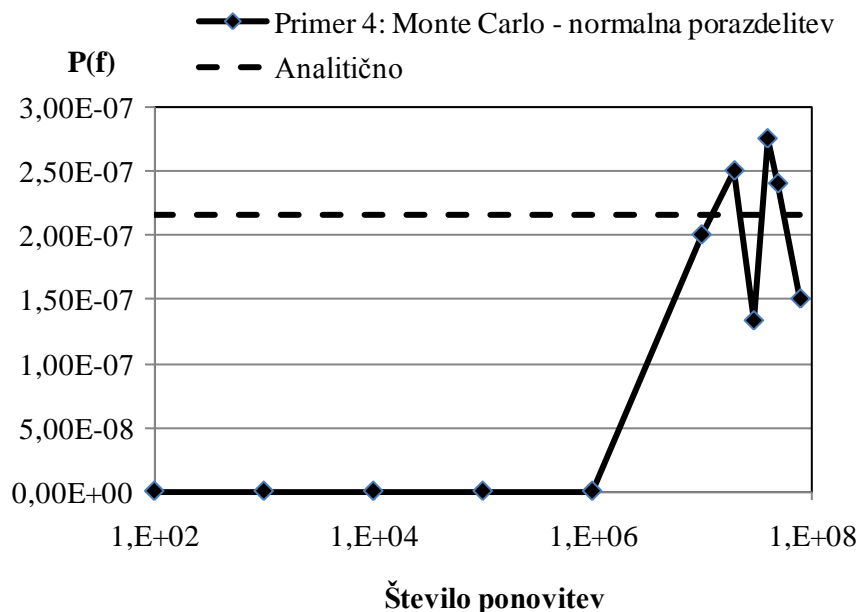
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,85$ kN),
- teža dveh praznih kontejnerjev ($m_2 = 76,84$ kN, $\sigma_2 = 19,09$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000, 50.000.000 in 80.000.000. Na sliki 29 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 29: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 29: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

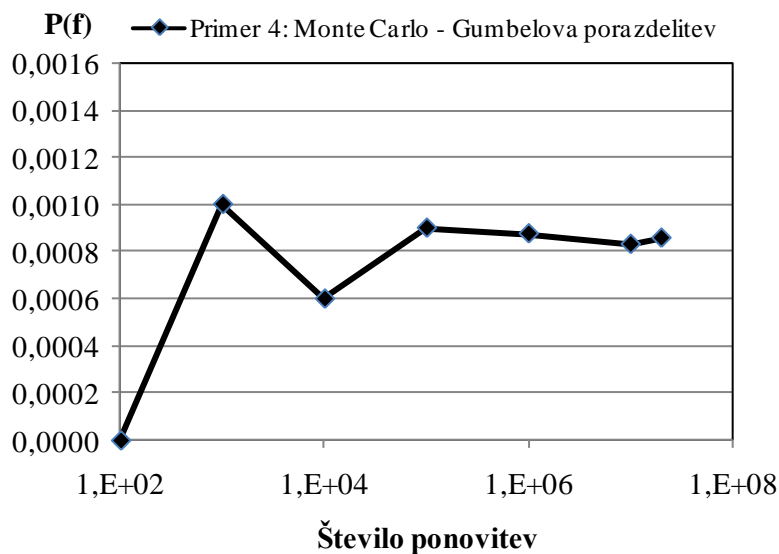
Iz slike 29 je vidno, da se kljub 80.000.000 ponovitev rezultat še ne umirja. Kljub temu bom upoštevala rezultat pri 80.000.000 ponovitev, kjer je verjetnost porušitve $1,50 \text{ E}-07$. Vendar zaradi majhne verjetnosti ne morem z gotovostjo trditi, da je ta rezultat pravi.

Z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 2,16 \text{ E}-07$; $m_x = 4125 \text{ kN}$, $\sigma_x = 816,2 \text{ kN}$) pa je verjetnost porušitve $2,164 \text{ E}-07$.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 30 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

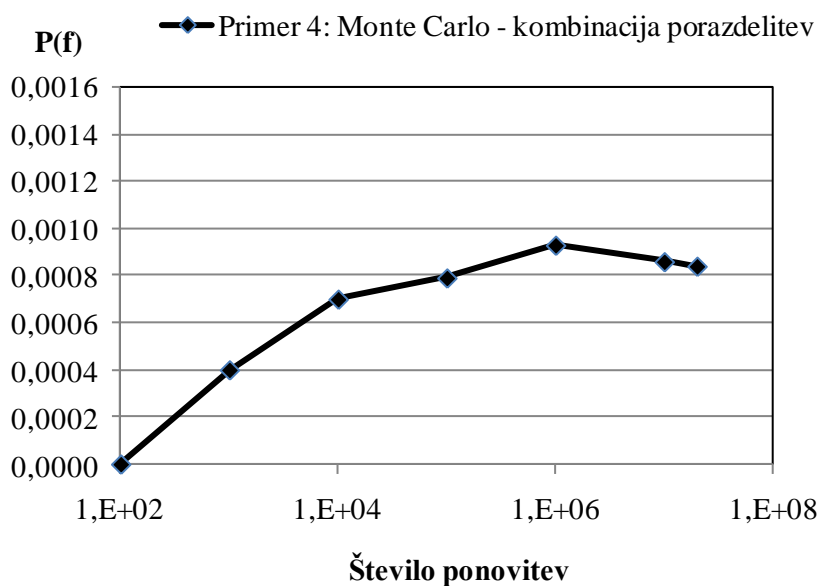


Slika 30: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 30: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 1.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000858.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

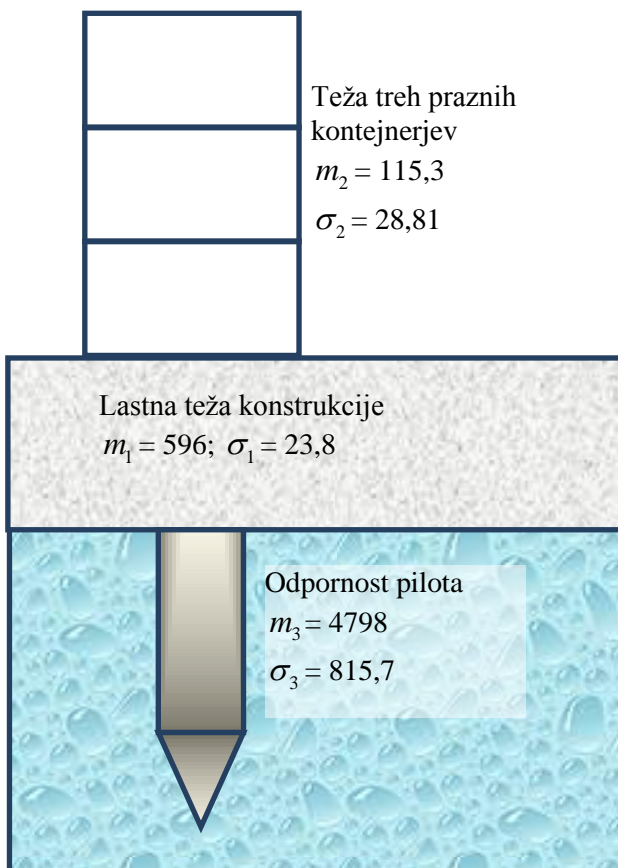


Slika 31: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 31: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 31 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000840.

PRIMER 5: TRIJE PRAZNI KONTEJNERJI



Slika 32: Trije prazni kontejnerji

Figure 32: Three empty containers

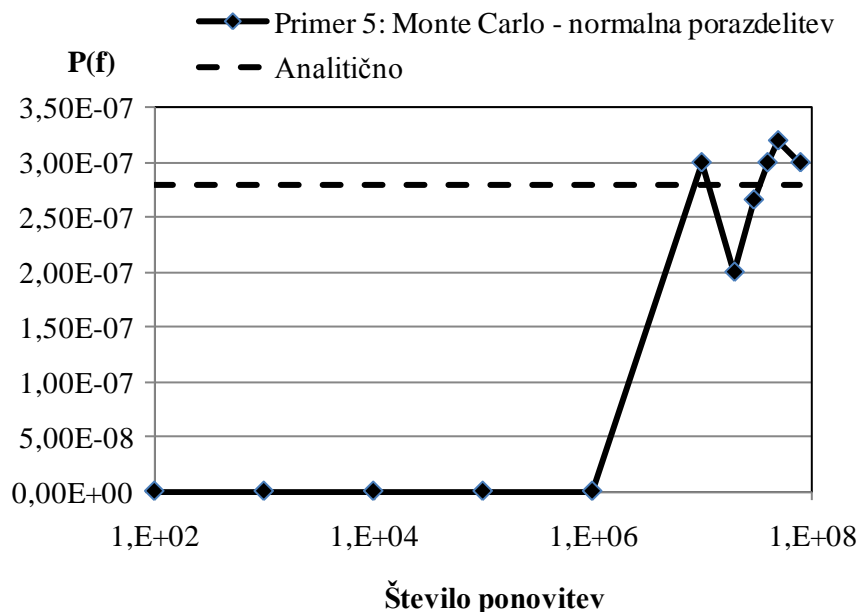
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža treh praznih kontejnerjev ($m_2 = 115,3$ kN, $\sigma_2 = 28,81$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000, 50.000.000 in 80.000.000. Na sliki 33 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 33: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 33: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

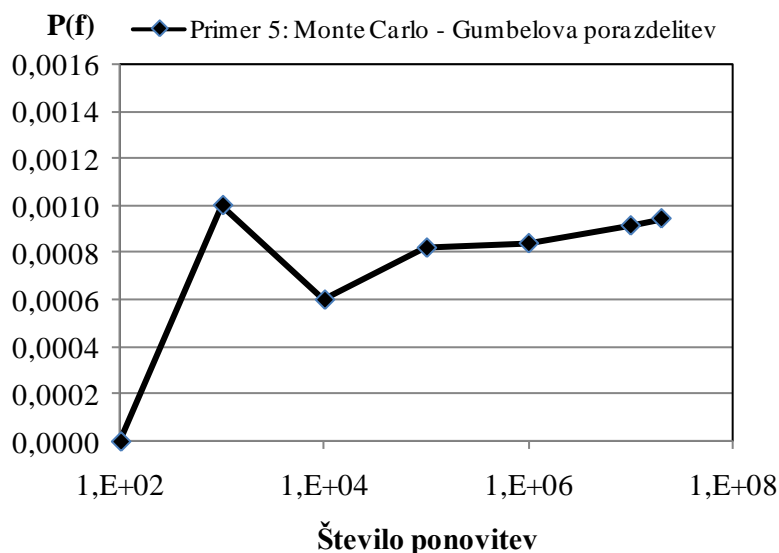
Iz slike je vidno, da se je rezultat pričel umirjati pri 40.000.000, 50.000.000. in 80.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultat pri 80.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve $3,00 \text{ E}-07$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 2,79 \text{ E}-07$; $m_x = 4088 \text{ kN}$, $\sigma_x = 816,5 \text{ kN}$) vidimo, da se vrednosti nekoliko razlikujeta, vendar je to odvisno od slučaja oz. od ponovitve vzorca.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000 in 20.000.000. Na sliki 34 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

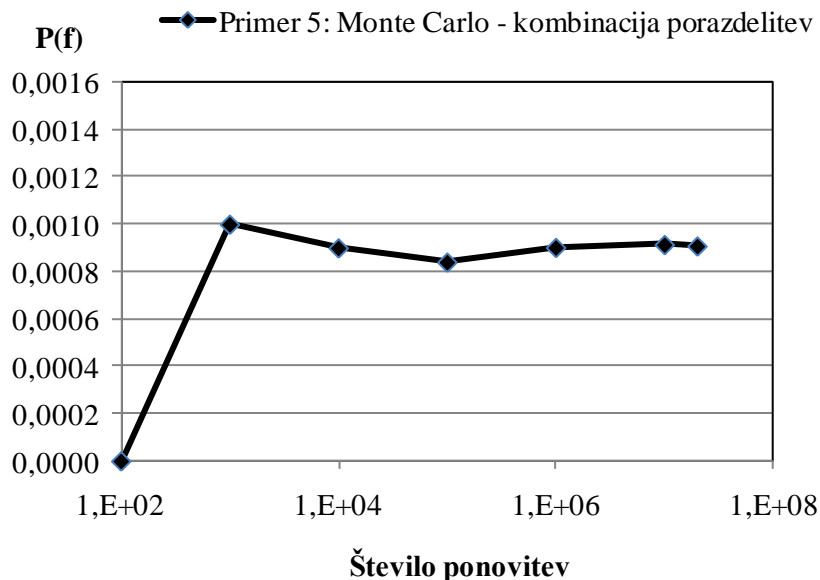


Slika 34: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 34: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike 34 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 1.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000944.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

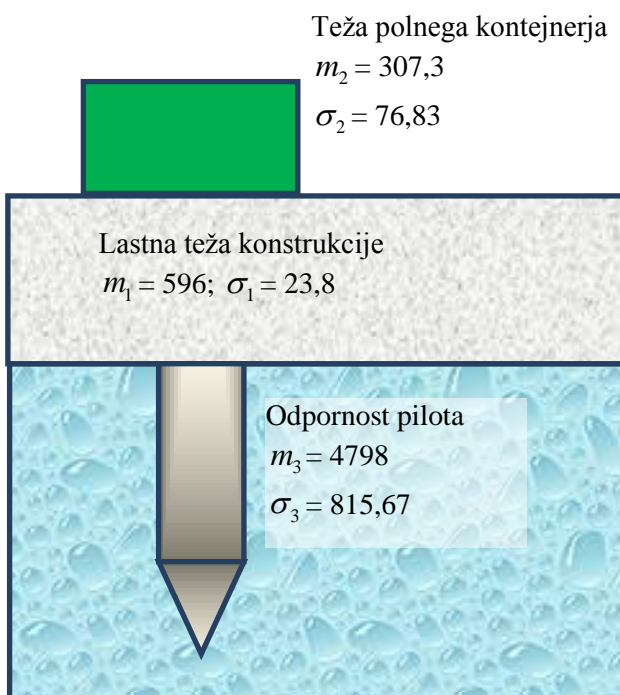


Slika 35: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 35: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 35 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 100.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 20.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,000908.

PRIMER 6: EN POLN KONTEJNER



Slika 36: En poln kontejner

Figure 36: One full container

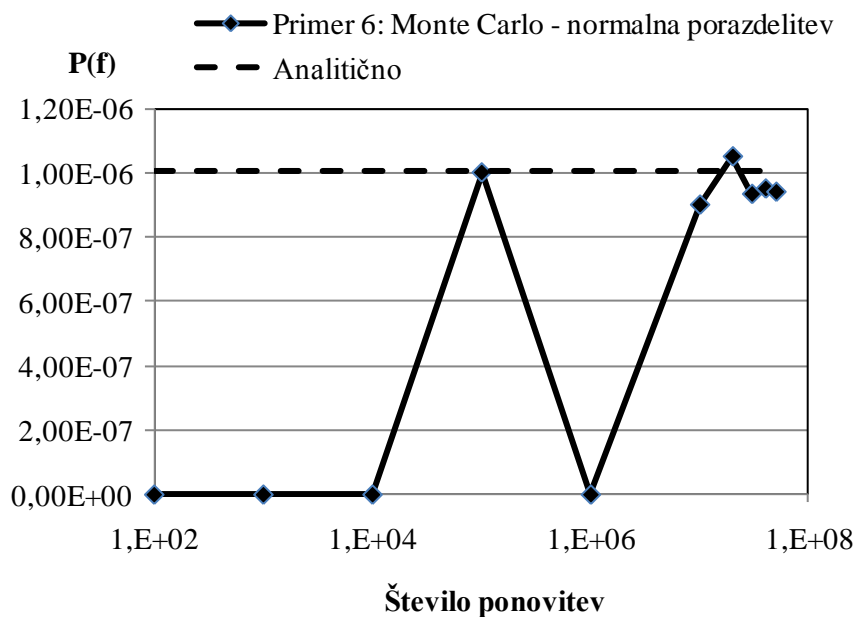
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža polnega kontejnerja ($m_2 = 307,6$ kN, $\sigma_2 = 76,83$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,67$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 37 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 37: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 37: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

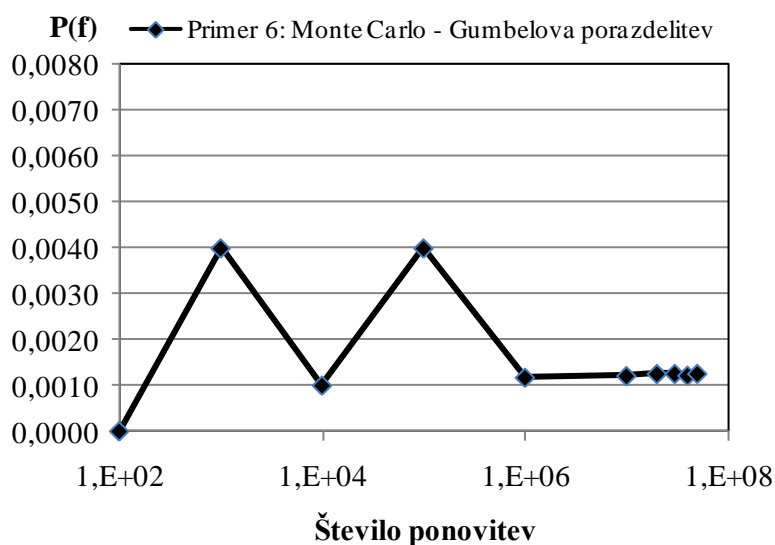
Iz slike je vidno, da se vrednosti verjetnosti porušitve pričnejo umirjati pri 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000 ponovitev. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultat pri 40.000.000 ponovitev, kjer je verjetnost porušitve $9,50 E-07$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 1,01 E-06$; $m_x = 3894,70$ kN, $\sigma_x = 819,63$ kN) vidimo, da se vrednosti nekoliko razlikujeta, vendar je to odvisno od slučaja oz. od ponovitve vzorca.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 38 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

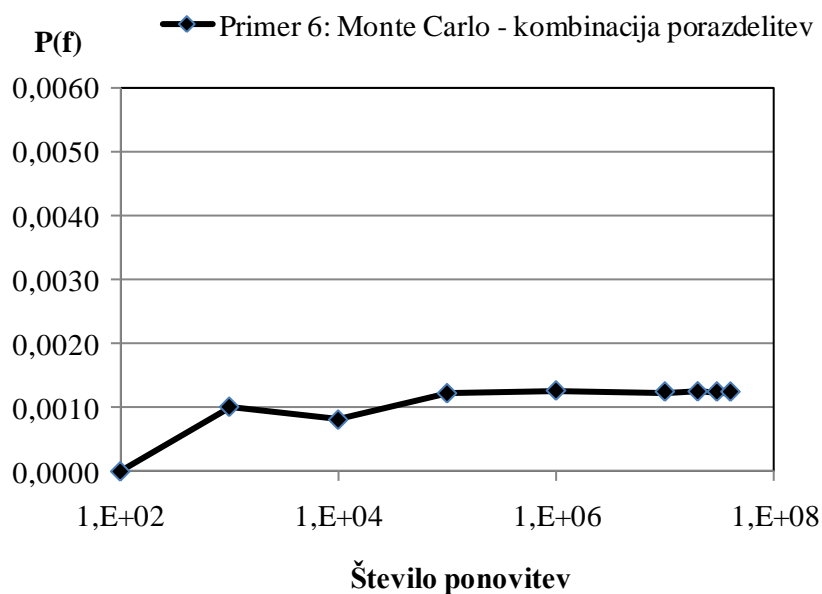


Slika 38: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 38: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00126.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

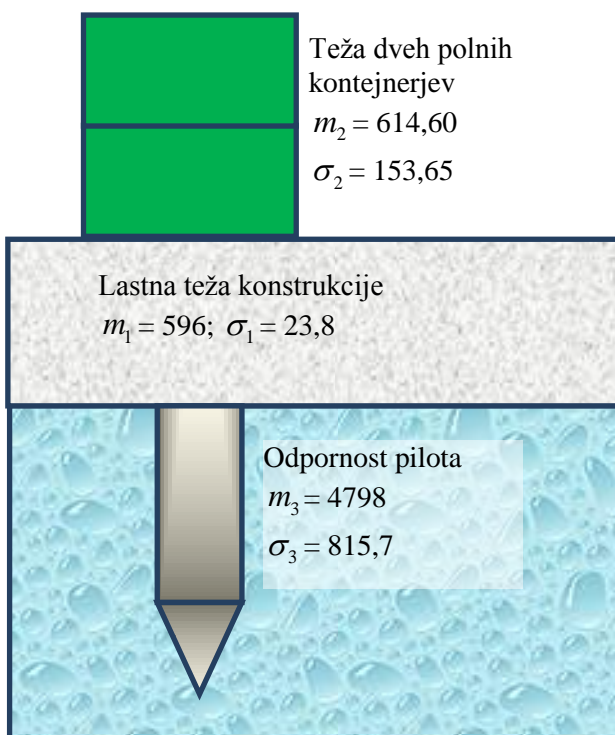


Slika 39: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 39: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 39 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 40.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00123.

PRIMER 7: DVA POLNA KONTEJNERJA



Slika 40: Dva polna kontejnerja

Figure 40: Two full containers

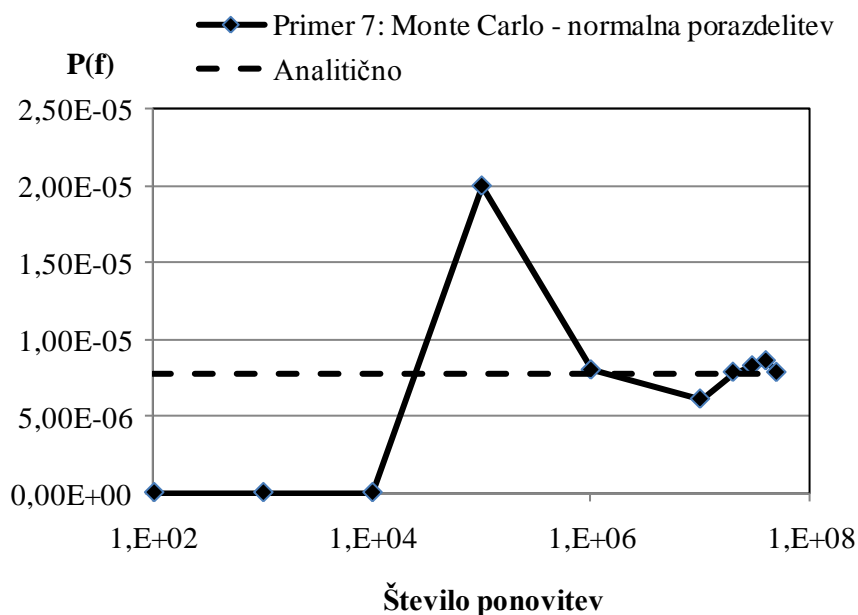
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža dveh polnih kontejnerjev ($m_2 = 614,60$ kN, $\sigma_2 = 153,65$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 41 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 41: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 41: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

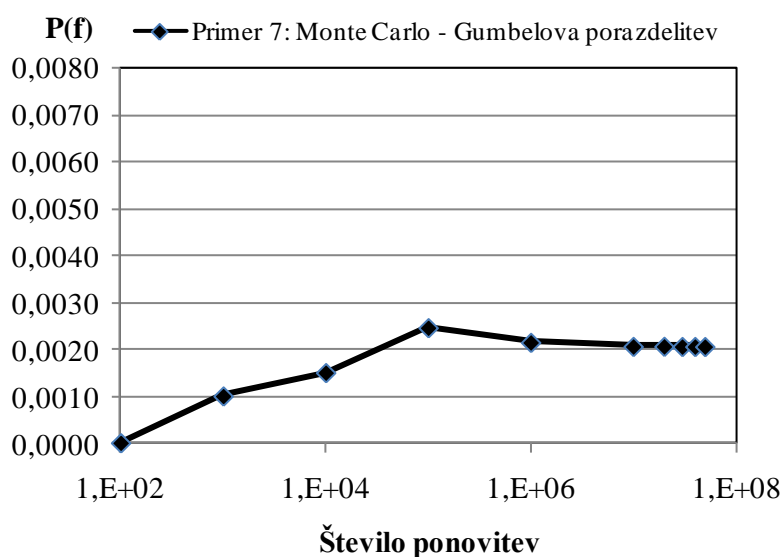
Iz slike 41 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 30.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve $7,84 \text{ E}-06$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 7,79 \text{ E}-06$; $m_x = 3587,40 \text{ kN}$, $\sigma_x = 830,35 \text{ kN}$) vidimo, da se vrednosti bistveno ne razlikujeta, kar priča o merodajnosti dobljenih rezultatov z metodo Monte Carlo.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 42 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

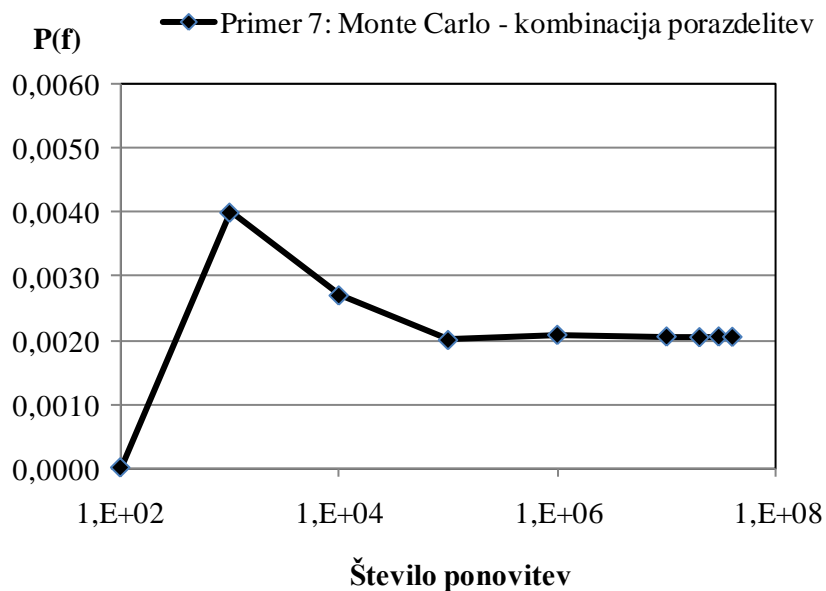


Slika 42: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 42: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike 42 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00206.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

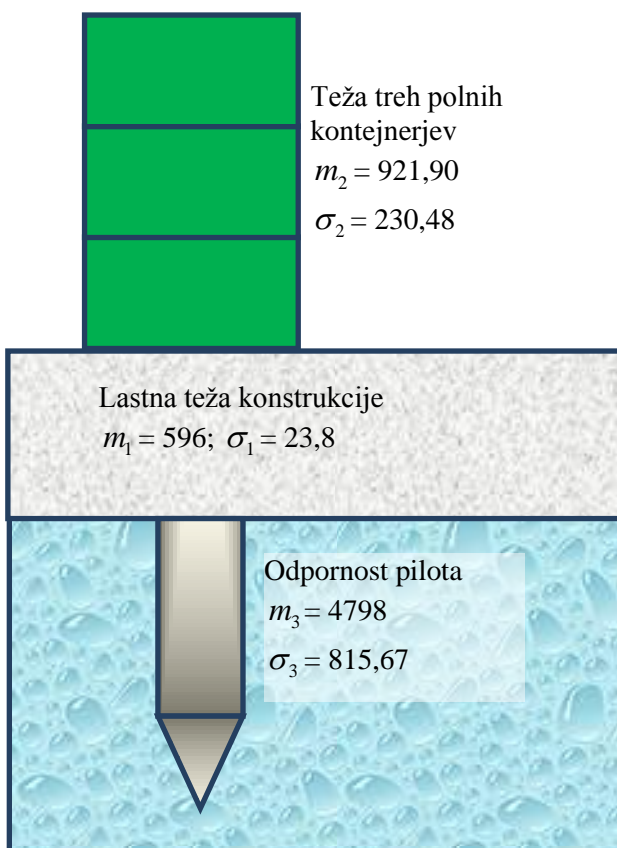


Slika 43: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 43: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 43 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 30.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00205.

PRIMER 8: TRIJE POLNI KONTEJNERJI



Slika 44: Trije polni kontejnerji

Figure 44: Three full containers

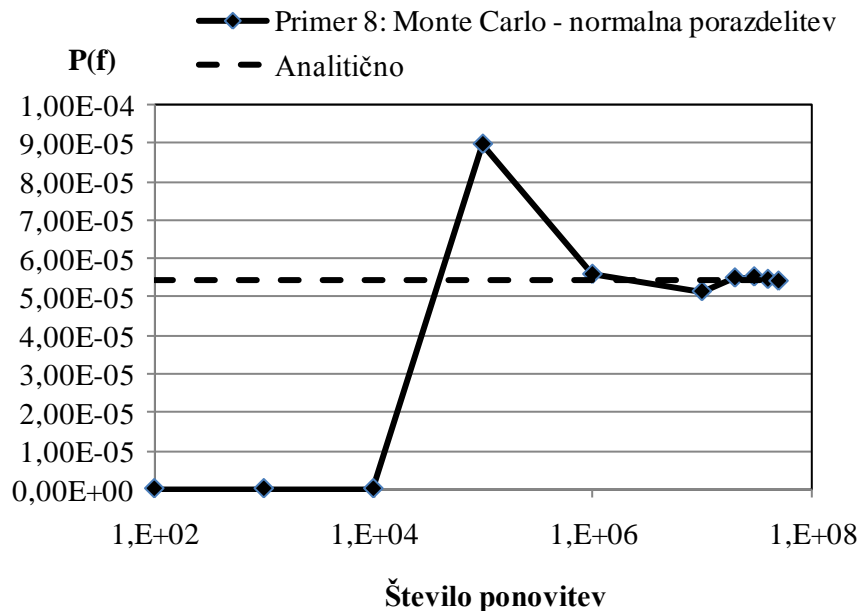
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža treh polnih kontejnerjev ($m_2 = 921,9$ kN, $\sigma_2 = 230,48$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 45 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 45: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 45: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

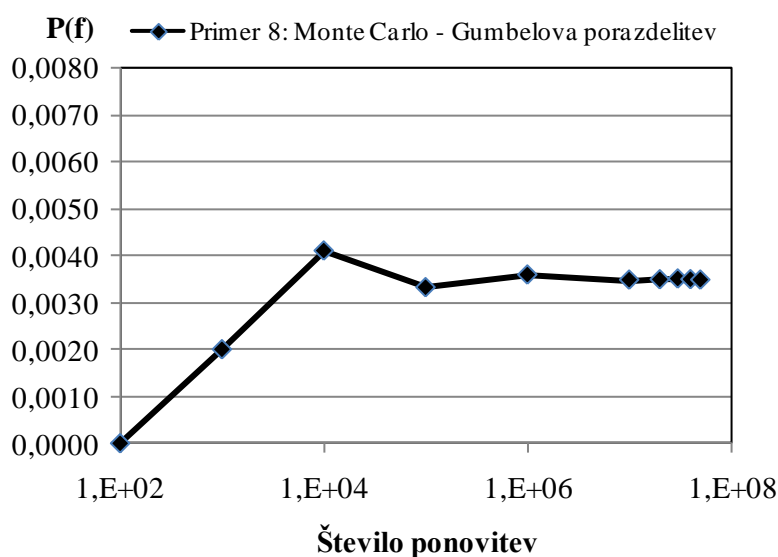
Iz slike 45 je vidno, da se vrednosti verjetnosti porušitve zgoščajo med 20.000.000 in 50.000.000 ponovitev. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah, kjer je verjetnost porušitve $5,42 E-05$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 5,47 E-06$; $m_x = 3280,10$ kN, $\sigma_x = 847,80$ kN) vidimo, da se vrednosti bistveno ne razlikujeta.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 46 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

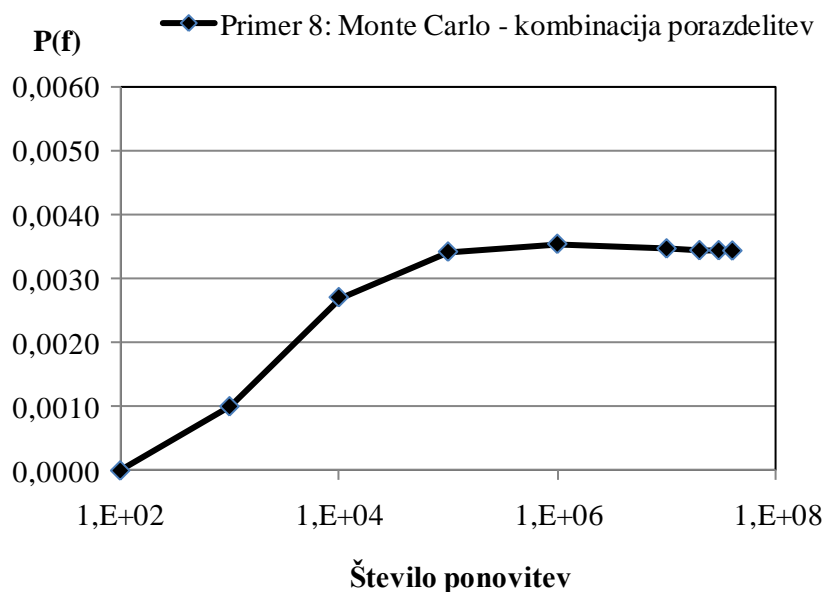


Slika 46: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 46: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike 46 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00348.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE

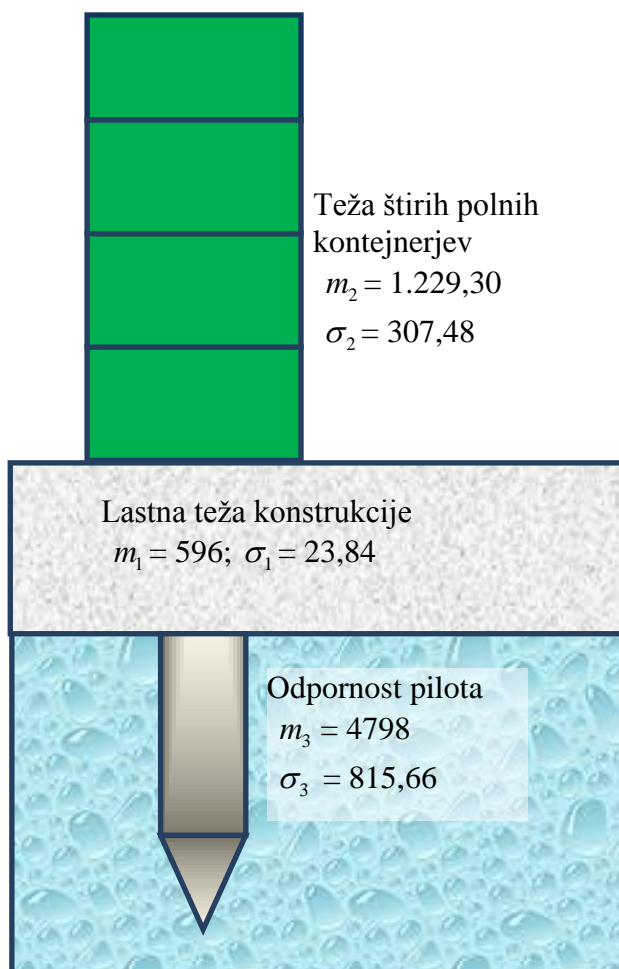


Slika 47: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 47: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 47 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 40.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00343.

PRIMER 9: ŠTIRI POLNI KONTEJNERJI



Slika 48: Štiri polni kontejnerji

Figure 48: Four full containers

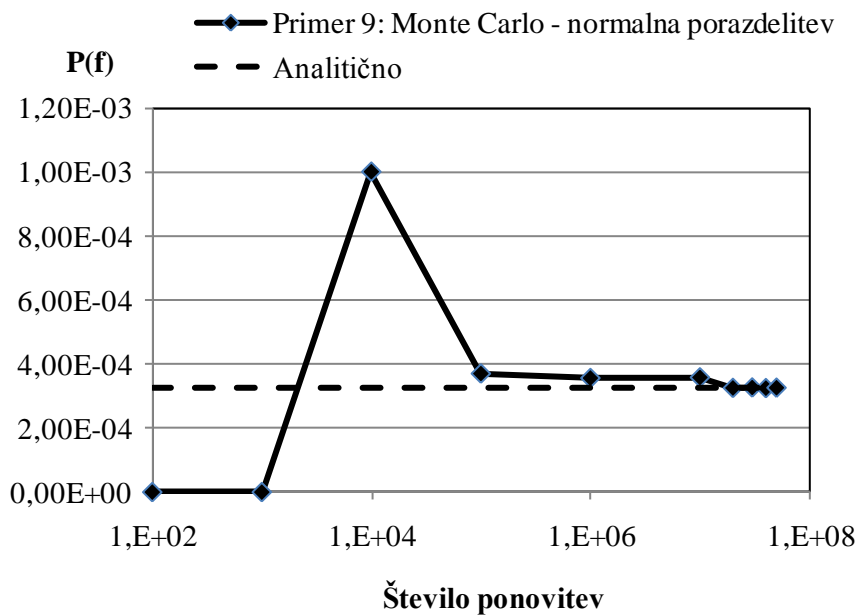
REŠITEV Z NORMALNO PORAZDELITVIJO

Vse vhodne spremenljivke so normalno porazdeljene:

- lastna teža konstrukcije ($m_1 = 596$ kN, $\sigma_1 = 23,8$ kN),
- teža polnega kontejnerja ($m_2 = 1.229,30$ kN, $\sigma_2 = 307,48$ kN),
- odpornost pilota ($m_3 = 4798$ kN, $\sigma_3 = 815,7$ kN).

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo normalne porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 49 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.



Slika 49: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri normalni porazdelitvi

Figure 49: Results of simulation by using Monte Carlo method with normal distribution

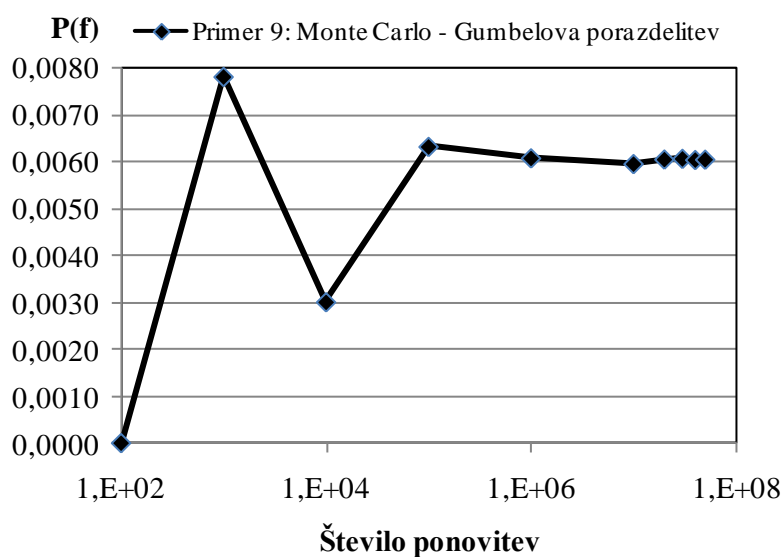
Iz slike 49 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve $3,26 \text{ E-}04$.

Če primerjamo to verjetnost z verjetnostjo, ki jo dobimo z analitičnim reševanjem normalne porazdelitve ($P[X < x] = 3,26 \text{ E-}04$; $m_x = 2972,70 \text{ kN}$, $\sigma_x = 872,02 \text{ kN}$) vidimo, da se vrednosti med seboj ne razlikujejo.

REŠITEV Z GUMBELOVO PORAZDELITVIJO

Reševanje problema z metodo Monte Carlo v programu Mathematica:

Z metodo Monte Carlo sem iskala rešitev problema z uporabo Gumbelove porazdelitve pri ponavljanju vzorca 100, 1.000, 10.000, 100.000, 1.000.000, 10.000.000, 20.000.000, 30.000.000, 40.000.000 in 50.000.000. Na sliki 50 so prikazani rezultati simulacij za različno število generiranih vzorcev.

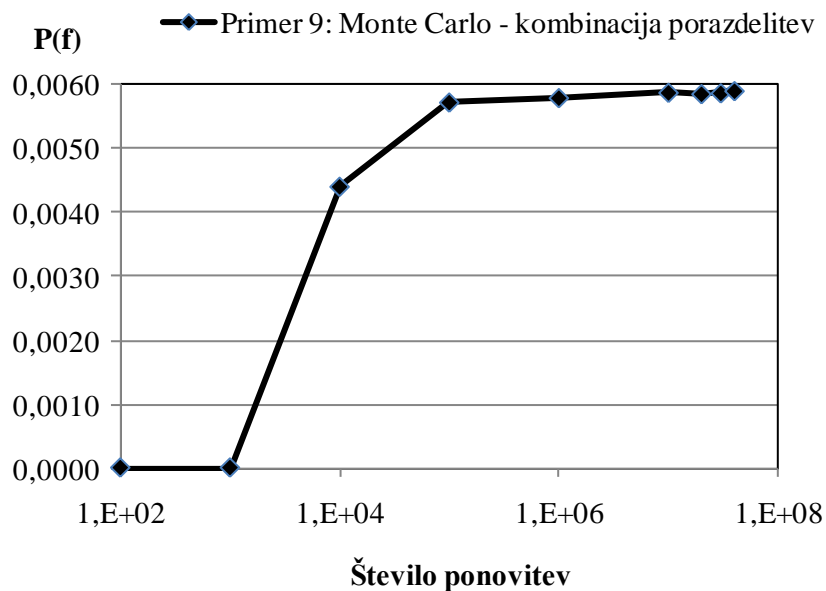


Slika 50: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri Gumbelovi porazdelitvi

Figure 50: Results of simulation by using Monte Carlo method with Gumbel distribution

Iz slike 50 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 50.000.000 ponovitvah. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00604.

REŠITEV S KOMBINACIJO NORMALNE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE



Slika 51: Rezultati simulacij z metodo Monte Carlo pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve

Figure 51: Results of simulation by using Monte Carlo method with the combination of normal and Gumbel distributions

Iz slike 51 je vidno, da je reprezentativnost rezultatov dovolj zanesljiva pri najmanj 20.000.000 ponovitvah. Pri svoji nalogi bom upoštevala rezultate pri 40.000.000 ponovitev. Pri tem je verjetnost porušitve 0,00589.

V preglednici 4 so zbrani vsi upoštevani rezultati verjetnosti porušitve in izračunan indeks zanesljivosti za različne tipe porazdelitev in različne vrste obtežb.

Preglednica 4: Vrednosti verjetnost porušitve in indeksa zanesljivosti za različne tipe obtežb in vrste porazdelitev

Table 4: Probabilities of failure and reliability index for different types of loads and types of distributions

Primer	Porazdelitev	Monte Carlo		Analitično	
		$P(f)$	β	$P(f)$	β
1	normalna	0,000475	3,30	0,000481	3,30
	Gumbel	0,00809	2,40		
	N+G	0,00807	2,41		
2	normalna	0,000713	3,19	0,000715	3,19
	Gumbel	0,00930	2,35		
	N+G	0,00934	2,35		
3	normalna	1,65 E-07	5,11	1,68 E-07	5,10
	Gumbel	0,000800	3,16		
	N+G	0,000805	3,15		
4	normalna	1,50 E-07	5,03	2,16 E-07	5,05
	Gumbel	0,000858	3,14		
	N+G	0,000840	3,14		
5	normalna	3,00 E-07	4,99	2,79 E-07	5,01
	Gumbel	0,000944	3,12		
	N+G	0,000908	3,12		
6	normalna	9,40 E-07	4,77	1,01 E-06	4,75
	Gumbel	0,00126	3,02		
	N+G	0,00123	3,03		
7	normalna	7,84 E-06	4,32	7,79 E-06	4,32
	Gumbel	0,00206	2,87		
	N+G	0,00205	2,87		
8	normalna	5,42 E-05	3,87	5,47 E-05	3,87
	Gumbel	0,00348	2,70		
	N+G	0,00343	2,70		
9	normalna	3,26 E-04	3,41	3,26 E-04	3,41
	Gumbel	0,00604	2,51		
	N+G	0,00589	2,52		

Iz podatkov v preglednici 3 je razvidno, da je pri drugem primeru vrednost indeksa porušitve nekoliko pod priporočljivo mejo, ki je 3,3. Vendar moramo vedeti, da sta prvi in drugi primer ekstremna, tako po verjetnosti nastanka in po posledicah za konstrukcijo.

Vidimo tudi, da je zelo pomembno, katero vrsto porazdelitve uporabimo, saj se verjetnost porušitve bistveno razlikuje med seboj glede na različne tipe porazdelitev. Tako se izkaže, da je najmanjša verjetnost porušitve, če vzamemo normalno porazdelitev. Razlika med rezultati z Gumbelovo porazdelitvijo in kombinacijo porazdelitev je zelo majhna oziroma jo v nekaterih primerih sploh ni.

5.7 PORAZDELITEV Z DREVESI DOGODKOV

Za vse tri tipe porazdelitev sem predpostavila še različne scenarije za posamezne rešitve porazdelitev. Tako lahko z uporabo dreves dogodkov dobimo zanimiv in koristen podatek.

Posamezno verjetnost porušitve sem pomnožila z verjetnostjo dogodka in tako na koncu dobila verjetnost porušitve konstrukcije ob verjetnosti nastanka posameznega dogodka.

Verjetnost nastanka posameznega dogodka je določena na osnovi predpostavk, kolikšna je zasedenost z različnimi vrstami obtežbe. Če bi v Luki Koper dalj časa spremljali in skrbno beležili (npr. dve leti) v kakšnem vrstnem redu so kontejnerji naloženi na zaledni površini, bi imeli bolj točne podatke in tudi verjetnost dogodka bi bila verjetno drugačna.

Tako bi bila za udarec praznega in polnega kontejnerja verjetnost dogodka 0, saj že v času zadnjih 6 let ni bilo podatka, da je kontejner padel s transtejnerja. Zato sem za ta primer vzela majhno verjetnost za nastanek tega dogodka.

RAZLIČNI SCENARIJI ZA POSAMEZNO REŠITEV:

NORMALNA PORAZDELITEV

Dogodek	Verjetnost dogodka	Verjetnost porušitve	Verjetnost
Udarec praznega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,81 \cdot 10^{-4}$	$4,81 \cdot 10^{-10}$
Udarec polnega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$7,15 \cdot 10^{-4}$	$7,15 \cdot 10^{-10}$
En prazen kontejner	0,049998	$1,68 \cdot 10^{-7}$	$8,40 \cdot 10^{-9}$
Dva prazna kontejnerja	0,05	$2,16 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-8}$
Trije prazni kontejnerji	0,15	$2,79 \cdot 10^{-7}$	$4,19 \cdot 10^{-8}$
En poln kontejner	0,10	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-7}$
Dva polna kontejnerja	0,20	$7,79 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$
Tri polni kontejnerji	0,25	$5,47 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$
Štiri polni kontejnerji	0,20	$3,26 \cdot 10^{-4}$	$6,52 \cdot 10^{-4}$
Vsota	1,000	Verjetnost	$6,67 \cdot 10^{-4}$

Slika 52: Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (normalna porazdelitev)

Figure 52: Combined probability of failure for different scenarios (normal distribution)

GUMBELOVA PORAZDELITEV MAKSIMUMA IN MIMIMUMA

Lastna teža konstrukcije + Odpornost pilota	Dogodek	Verjetnost dogodka	Verjetnost porušitve	Verjetnost
	Udarec praznega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,09 \cdot 10^{-3}$	$8,09 \cdot 10^{-9}$
Udarec polnega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,30 \cdot 10^{-3}$	$9,30 \cdot 10^{-9}$	
En prazen kontejner	0,049998	$8,00 \cdot 10^{-3}$	$3,99 \cdot 10^{-4}$	
Dva prazna kontejnerja	0,05	$8,58 \cdot 10^{-4}$	$4,29 \cdot 10^{-5}$	
Trije prazni kontejnerji	0,15	$9,44 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$	
En poln kontejner	0,10	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	
Dva polna kontejnerja	0,20	$2,06 \cdot 10^{-3}$	$4,12 \cdot 10^{-4}$	
Tri polni kontejnerji	0,25	$3,48 \cdot 10^{-3}$	$8,70 \cdot 10^{-4}$	
Štiri polni kontejnerji	0,150	$6,04 \cdot 10^{-3}$	$9,06 \cdot 10^{-4}$	
Vsota	1,000	Verjetnost	$2,89 \cdot 10^{-3}$	

Slika 53: Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (Gumbelova porazdelitev)

Figure 53: Combined probability of failure for different scenarios (Gumbel distribution)

KOMBINACIJA NORMALNE PORAZDELITVE IN GUMBELOVE PORAZDELITVE
 MAKSIMUMA IN MINIMUMA

Dogodek	Verjetnost dogodka	Verjetnost porušitve	Verjetnost
Udarec praznega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,07 \cdot 10^{-3}$	$8,07 \cdot 10^{-9}$
Udarec polnega kontejnerja	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,34 \cdot 10^{-3}$	$9,34 \cdot 10^{-9}$
En prazen kontejner	0,049998	$8,05 \cdot 10^{-4}$	$4,02 \cdot 10^{-5}$
Dva prazna kontejnerja	0,05	$8,40 \cdot 10^{-4}$	$4,20 \cdot 10^{-5}$
Trije prazni kontejnerji	0,15	$9,08 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-4}$
En poln kontejner	0,10	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$
Dva polna kontejnerja	0,20	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$4,10 \cdot 10^{-4}$
Tri polni kontejnerji	0,25	$3,43 \cdot 10^{-3}$	$8,58 \cdot 10^{-4}$
Štiri polni kontejnerji	0,20	$5,89 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-3}$
Vsota	1,000	Verjetnost	$2,78 \cdot 10^{-3}$

Slika 54: Skupna verjetnost porušitve ob upoštevanju različnih scenarijev (normalna in Gumbelova porazdelitev)

Figure 54: Combined probability of failure for different scenarios (normal and Gumbel distribution)

Preglednica 5: Skupna verjetnost porušitve in indeksa zanesljivosti za različne vrste porazdelitev

Table 5: Combined probability of failure and reliability index for different types of distributions

Porazdelitev	$P(f)$	β
Normalna	6,67 E-04	3,21
Gumbel	2,89 E-03	2,76
Normalna + Gumbel	2,78 E-03	2,77

6 ZAKLJUČEK

Magistrsko delo je obravnavalo izračun verjetnosti porušitve globoko temeljene konstrukcije Zapolnitev zaledne površine vezov 7.A in 7.B na pomolu I. v Luki Koper. Analiza tveganja je sistematični pristop prepoznavanja in ocenjevanja varnosti tveganja.

V nalogi sem verjetnost odpovedi osne nosilnosti pilota izračunala za različne obtežne in slučajne primere po treh vrstah porazdelitev:

- normalna porazdelitev,
- Gumbelova porazdelitev maksimuma in minimuma,
- kombinacija normalne in Gumbelove porazdelitve (Gumbelova porazdelitev maksimuma in minimuma).

Za primer normalne porazdelitve sem uporabila še analitično metodo izračuna verjetnosti porušitve konstrukcije.

Verjetnost porušitve konstrukcije je bila določena iz predpostavke, da je obremenitev pilota preseгла njegovo nosilnost. Priporočene najmanjše vrednosti indeksa zanesljivosti β , ki je mera verjetnosti porušitve, so določene v Slovenskem standardu Evrokod SIST EN 1990:2004. Indeks zanesljivosti za konstrukcijske elemente, ki so v razredu zanesljivosti RC1, za življenjsko dobo 50 let znaša 3,3.

Rezultati izračunov kažejo, da je pri uporabi normalne porazdelitve indeks zanesljivosti presežen, razen v 2. primeru, kjer je vrednost nekoliko pod priporočljivo vrednostjo, v 1. primeru pa je enak 3,3. Vendar moram opozoriti, da sta ta dva primera ekstremna primera, kjer gre za padec praznega in polnega kontejnerja s transtejnerja, in podatka, da bi se kdaj to že zgodilo, seveda nimamo.

Pri uporabi Gumbelove porazdelitve maksimuma in minimuma ter pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve pa so izračunane vrednosti nekoliko pod priporočljivo vrednostjo. Glede na rezultate ne morem trditi, da bi se konstrukcija porušila ali bila lahko nevarna za uporabo, saj bi v tem primeru odpovedal samo en konstrukcijski element in bi se obtežba, ki je pripadala temu pilotu, najverjetneje porazdelila na sosednje pilote. Tako bi obtežbo na pilot v primeru, da bi prišlo do porušitve enega pilota, prevzeli sosednji piloti in ne bi prišlo do odpovedi celotne konstrukcije. Vedeti moramo, da so izračuni narejeni na majhnem številu vzorcev, da sem za vrednosti odpornosti pilotov uporabila samo deset podatkov. Z večanjem števila ponovitev vzorcev pa bi se najbrž tudi verjetnost porušitve manjšala.

Po izračunu verjetnosti porušitve konstrukcije za vse tri tipe porazdelitev, sem rezultate uporabila v izračunu z drevesi dogodkov. Za vsak primer posebej sem predpostavila še različne verjetnosti dogodka in s tem dobila pripadajočo vrednost porušitve konstrukcije. Tako se je tudi tu izkazalo, da je verjetnost odpovedi konstrukcije relativno majhna. Pri uporabi normalne porazdelitve je indeks zanesljivosti pod priporočljivo mejo in sicer je njegova vrednost 3,21. Pri uporabi Gumbelove porazdelitve maksimuma in minimuma ter pri kombinaciji normalne in Gumbelove porazdelitve pa so tudi tu izračunane vrednosti nekoliko pod priporočljivo vrednostjo.

7 SUMMARY

The Masters Thesis deals with the calculation of probability of failure for the deep foundations of the quays 7A and 7B basin fill area at the pier 1 situated at the Port of Koper. The risk analysis is a systematic approach of identifying and assessing the safety risk.

In the thesis I have calculated the probability of failure of the structure with preset and random load values using three types of distribution:

- normal distribution,
- Gumbel maximum and minimum distributions,
- Combination of normal and Gumbel distributions (Gumbel maximum and minimum).

Analytical results were obtained for the case of normal distribution.

The probability of failure of the structure has been based on the condition that the load on the piles is higher than their load-carrying capacity. The lowest recommended values for the reliability index β , determining the probability of failure, are set by the Slovene Standard Eurocode SIST EN 1990:2004. The reliability index for the parts of the construction, belonging to reliability class RC1, for a 50 year life span is 3,3.

The calculation results have shown that, with normal distribution, the reliability index is excessive except in the example 2 where it is under the recommended values. However, I have to emphasize the fact that these are two extreme examples of a full and empty container falling off a transtainer crane. However, there is no available evidence of such an instance to date.

With Gumbel distribution of maximum and minimum and with the combination of Gumbel and normal distributions, the calculated figures are below the recommended value. According to the results, one cannot claim that the collapse of the construction is imminent, because the failure of just one element would lead to redistribution of its load among the nearest piles. Thus, in case of the collapse of one pile, its load would be transferred to the adjacent piles and the whole construction would not necessarily fail. One should bear in mind that the calculations have been made over a limited number of experimental data pile resistance I have used only ten different figures. With the increase of available data one could expect lowering of the probability of failure.

I have used the results of the probability of failure for the three types of distribution with the event tree analysis. For each case I have set different probabilities and thus obtained corresponding value for the probability of failure of the construction. This has shown that the probability of failure is relatively low. With the use of normal distribution, the reliability index is below the recommended limit and its value is 3,21. Using the Gumbel (maximum and minimum) distribution and the combination of the normal and Gumbel distribution the reliability index falls slightly below the recommended limit.

VIRI

Akintoye, S. A., MacLeod, J. M. 1997. Risk Analysis and Management in Construction. International Journal of Project Management 15, 1: 31–38.

Azizi, F. 2000. Applied Analyses in Geotechnics. New York, Taylor & Francis: 751 str.

Baccarini, D., Archer, R. 1999. The risk ranking of projects: a methodology. International Journal of Project Management 19: 139–145.

Benjamin, J. R., Cornell, C. A. 1970. Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers. New York, McGraw-Hill Book Company: 524–594.

Bohanec, M. 2006. Odločanje in modeli. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 303 str.

Budhu, M. 2000. Soil Mechanics & Foundation. New York, John Wiley & Sons: 379–386.

Bunn, D. W. 1982. Analysis for optimal decisions. New York, John Wiley & Sons: 284 str.

Chapman, C., Ward, S. 1997. Project Risk Management – Processes, Techniques and insights. Chichester England, John Wiley & Sons: 369 str.

del Cano, A. P. E., de la Cruz, M. D. 2002. Integrated Methodology for Project Risk Management. Journal of construction engineering and management 128, 6: 473–485.

Ellingwood, B., Galambos, T.V., MacGregor, J.G. 1980. NBS Special publication 577. Washington D.C., U.S. Government printing office: 34–47.

Flanagan, R., Norman, G. 2003. Risk Management and Construction. Ames, Blackwell Publishing Company: 153–176.

Huis, M., 2009. Projekt Zapolnitev zaledne površine veza 7.A2, PZI, št. projekta gp-pr-025/08. Ljubljana, Geoportal d.o.o.

Kangari, R., Riggs, L. S. 1989. Construction Risk Assessments by Linguistics. New York, IEEE Transactions on Engineering Management 36, 2:126–131.

Kuchta, D. 2001. Use of fuzzy numbers in project risk assessment. International Journal of Project Management 19: 305–310.

Logar, J., Robas, A., Kuder, S., Gaberc, A. M. 2001. Uporaba rezultatov presiometra pri geotehničnem projektiranju. Zbornik referatov strokovnega posveta z naslovom: Geotehnika pri gradnji prometnic. Gornja Radgona: 83–93.

Paikowsky, S. G., 2004. NCHRP Report 507, Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Deep Foundations. Washington D.C., Transportation Research Board: 3–14.

SIST EN 1990: 2004. Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1991-1-1: 2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi-Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1997-1: 2005. Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila.

SIST EN 1997-1: 2005/A101, 2006. Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek.

Strniša, G. 2007. Poročilo o preiskavah zabitih jeklenih pilotov 812.8/12.5 mm, št. poročila PDA-SOT 153-01-2006 , Vez 7.C. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2007. Poročilo o preiskavah zabitih jeklenih pilotov 812.8/12.5 mm, št. Poročila PDA-SOT 064-02-2007, Vez 7.C. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2008. Poročilo o obremenilnih preizkušnjah jeklenega cevnege kola E-22 v podaljšku kontejnerske obale 2, na pomolu I v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2008. Poročilo o preiskavah testnih jeklenih kolov 812,8/12,5 mm, št. poročila PDA-102-02-2008 Vez 7.A zaledje testni piloti. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabutih jeklenih pilotov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA 071–01–2009, Zapolnitev zaledne površine veza 7.A2 v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabutih jeklenih pilotov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA 102–03–2008, Zapolnitev zaledne površine veza 7.B v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2009. Poročilo o meritvah nosilnosti zabutih jeklenih pilotov 813/12,5 mm; Št.p.: PDA 102–04–2008, Zapolnitev zaledne površine veza 7.C v Luki Koper. Ljubljana, SLP d.o.o.

Strniša, G. 2009. Statični in dinamični testi na pilotih v Luki Koper. Zbornik referatov 10. Šukljetovi dnevi. Brdo pri Kranju, Slovensko geotehnično društvo: 89–110.

Šuklje, L. 1984. Mehanika tal. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 359 str.

Tomlinson, M. J., Woodward J. 1997. Pile Design and Construction Practice. New York, Taylor & Francis: 420 str.

Turk, G. 2011. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 260 str.

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs.pdf> (Pridobljeno 22. 3. 2011.)