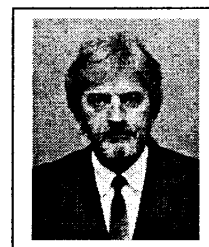


ANALIZA OPTEREĆENJA I DEFORMACIJA NA REGALSKOM SKLADIŠTU LAKE KONSTRUKCIJE¹

Prof. dr Miomir VUKIĆEVIĆ, mr Jovan NEŠOVIĆ, Doc. dr Milan KOLAREVIĆ

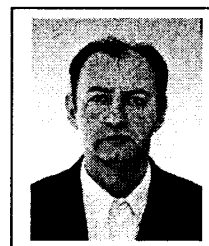
Prof. dr Miomir Vukićević, dipl. inž. maš. Rođen je 30. juna 1953. godine u Beranama, Republika Crna Gora. Osnovnu i Mašinsku tehničku školu završio je u Kraljevu. Studirao je na Odeljenju beogradskog mašinskog fakulteta u Kraljevu, a diplomirao na Mašinskom fakultetu u Beogradu 1978. g. Magistrirao je 1988. g. i doktorirao 1994. g. takođe na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Na Mašinskom fakultetu Kraljevo radi od 1980. g. počev od asistenta pripravnika, asistenta i docenta za predmete Tehnologija zavarivanja i Alati i pribori.



Mr Jovan Nešović rođen je 1970.g. Diplomirao je 1994. g. na Mašinskom fakultetu u Kraljevu na smeru za mašinske konstrukcije. Na istom fakultetu 2000. godine odbranio je magistarski rad pod nazivom "Istraživanje radne sposobnosti prstenastih opruga odbojnika vagona". Zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Kraljevu u zvanju asistenta.



Dr Milan Kolarević, docent na Mašinskom fakultetu u Kraljevu, rođen je 1958. g. u Raški. Diplomirao je i magistrirao na Mašinskom fakultetu u Beogradu, a doktorirao na mašinskom fakultetu u Kraljevu. Od 1984. g. do 1991. g. radio je u preduzeću "Lola-Progres" – Raška na poslovima projektanta, vodećeg projektanta-tehnologa i rukovodioca službe tehnologije i projektovanja. Od 1992. g. radi na Mašinskom fakultetu u Kraljevu kao asistent za predmete Organizacija proizvodnje i Metrologija i upravljanje kvalitetom, a od 2003. g. i kao predavač na istim predmetima. Na Mašinskom fakultetu u Kraljevu je izabran u zvanje docenta za predmete Organizacija proizvodnje i Metrologija i upravljanje kvalitetom.



Kategorija rada: PRETHODNO SAOPŠTENJE
Recenzent: Prof. dr Vlastimir ĐOKIĆ
UDK/UDC: 62-11:620.1
Rad primljen: 09. 06. 2003.

ADRESA:
Mašinski fakultet
Dositejeva 19
36000 Kraljevo

1. UVOD

Na domaćem i stranom tržištu prisutan je veliki broj proizvođača regalskih skladišta. Karakteristika ponude velikih proizvođača je da pokrivaju većinu

¹ Rad je proistekao iz projekta br. 0094 pod nazivom: "Projektovanje i razvoj konkurentne familije regalskih skladišta lake konstrukcije", koji finansira MNT u okviru programa Tehnološkog razvoja.

modela skladišta pri čemu naglašavaju specifične razlike u odnosu na konkurentna rešenja. Tržišna pozicija ovog kao i svih drugih proizvoda je identična. Veliki proizvođači su u stanju da finansiraju skupa, dugoročna i detaljna istraživanja kojima stvaraju proizvode odličnih karakteristika, dok su mali prinudeni da nude replike komercijalnih rešenja kojima pokrivaju praznine na tržištu.

Naša stvarnost bitno odstupa od opisane međunarodne. Veliki proizvođači su u fazi nestajanja ili privatizacije, ili su ostali u drugim republikama bivše SFRJ. Mali proizvođači, pak, nastoje da iskoriste relativno jeftin rad naučno-istraživačkih organizacija i državne subvencije kroz finansiranje razvojnih projekata i domognu se konstruktivnih i tehnoloških rešenja kojima bi mogli da izbore bolju poziciju na našem ili na stranom tržištu.

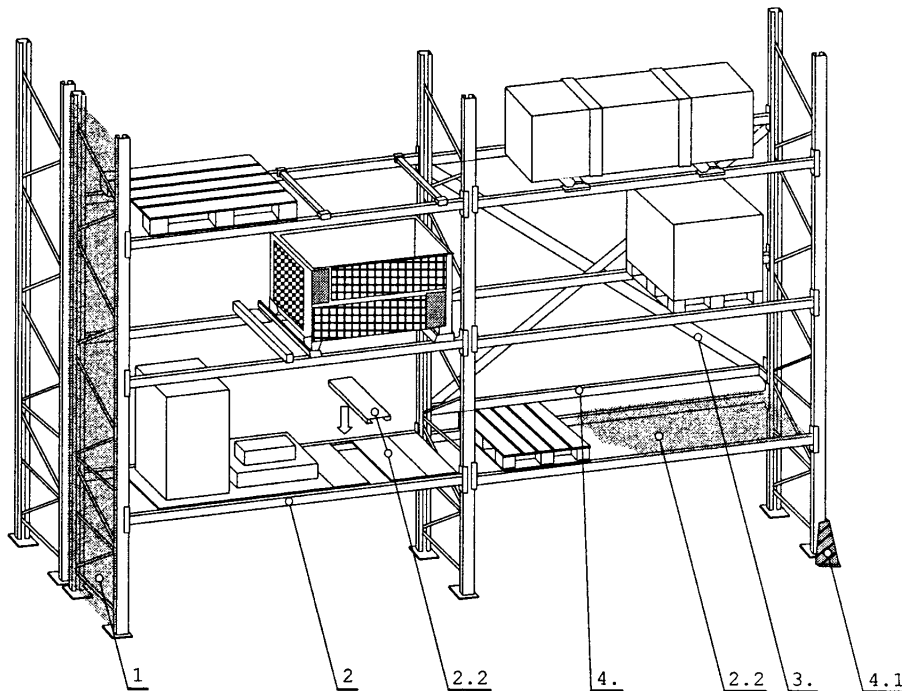
Na Mašinskom fakultetu u Kraljevu se realizuje projekat opisanog tipa pod nazivom: "Projektovanje i razvoj konkurentne familije regalskih skladišta lake konstrukcije". Participant na ovom projektu je Fabrika metalne opreme "Ekonom" iz Ušća kod Kraljeva. To je jedna od retkih fabrika na području opštine Kraljevo koja kvalitetno posluje i ima dobru saradnju sa stranim partnerima. Stoga, za ovu fabriku nije veliki problem da, sa relativno malom finansijskom podrškom, pokuša da razvije sopstveno i originalno rešenje regalskog skladišta sa kojim bi mogla da konkurentno nastupa na domaćem i stranom tržištu.

2. STRUKTURA REGALSKOG SKLADIŠTA

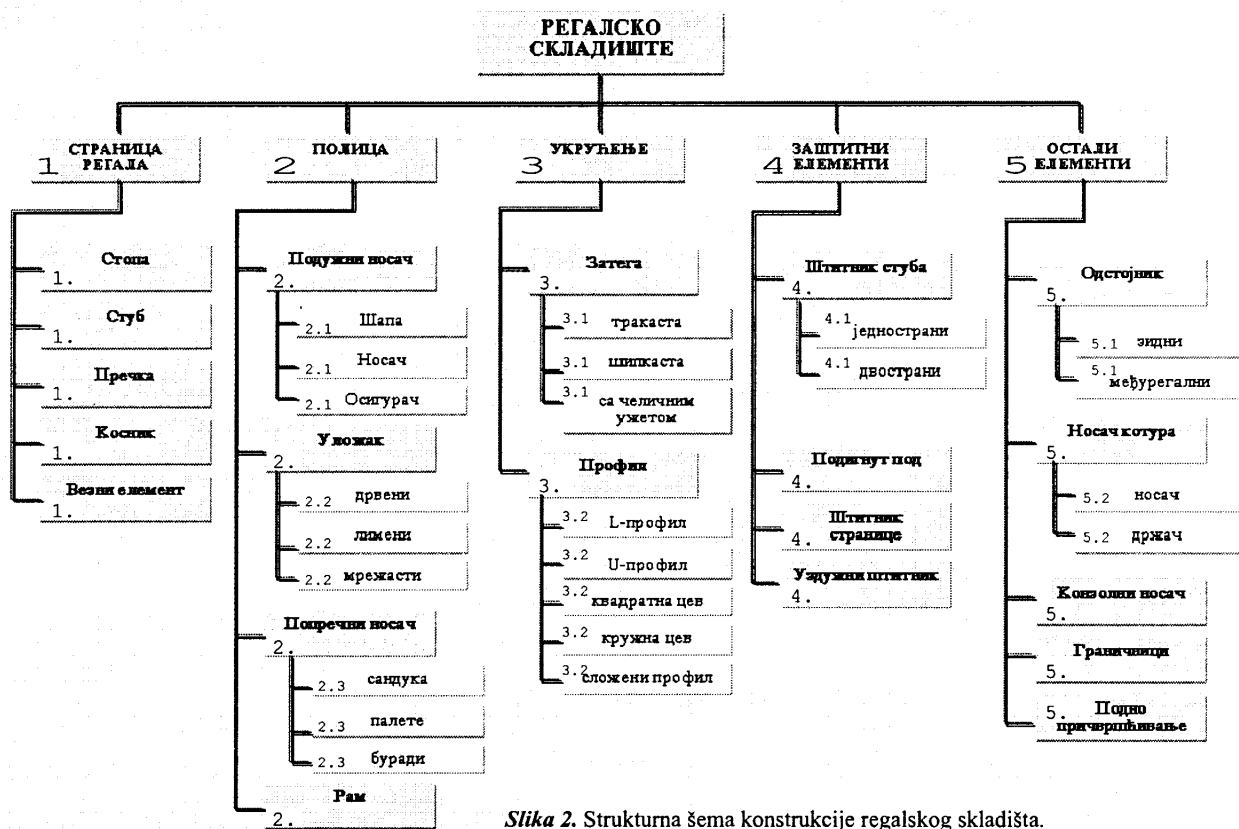
Osnovni strukturni elementi koji čine regalsko skladište, slika 1, su:

1. srtanica regala
2. polica
3. ukrućenje
4. zaštitni elementi
5. ostali elementi

Detaljnija strukturna šema regalskog skladišta, slika 2, ukazuje na raznovrsnost podsklopova i elemenata koji su u konstrukciji regalskog skladišta primenjeni. Komercijalna rešenja su mnogostruka i u svakom od njih je odnosni proizvođač ugradio po neku izmenu koja najčešće nije formalna već, naprotiv, uvažava zahteve potencijalnih kupaca i nova saznanja odnosno nove ideje. Taj domen nije predmet ovog rada ali je, svakako, bilo neizbežno respektovati osnovna pravila i konvencije prisutne u ovom domenu.



Slika 1. Osnovni elementi regalske konstrukcije. Pozicije su označene u skladu sa slikom 2.



Slika 2. Strukturna šema konstrukcije regalskog skladišta.

3. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE SKLADIŠTA

3.1. Geometrijske karakteristike skladišta

Regalska skladišta lake konstrukcije namenjena za skladištenje paletizovanog tereta se rade za maksimalne visine skladištenja do 9000mm.

Unificirane visine stubova regala su prikazane u tabeli 1, dok su standardne vrednosti koraka sprata prikazane u tabeli 2.

Tabela 1. Unificirane visine stubova-regala, N

H, mm															
1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	(7000)	(7500)	(8000)	(8500)	9000

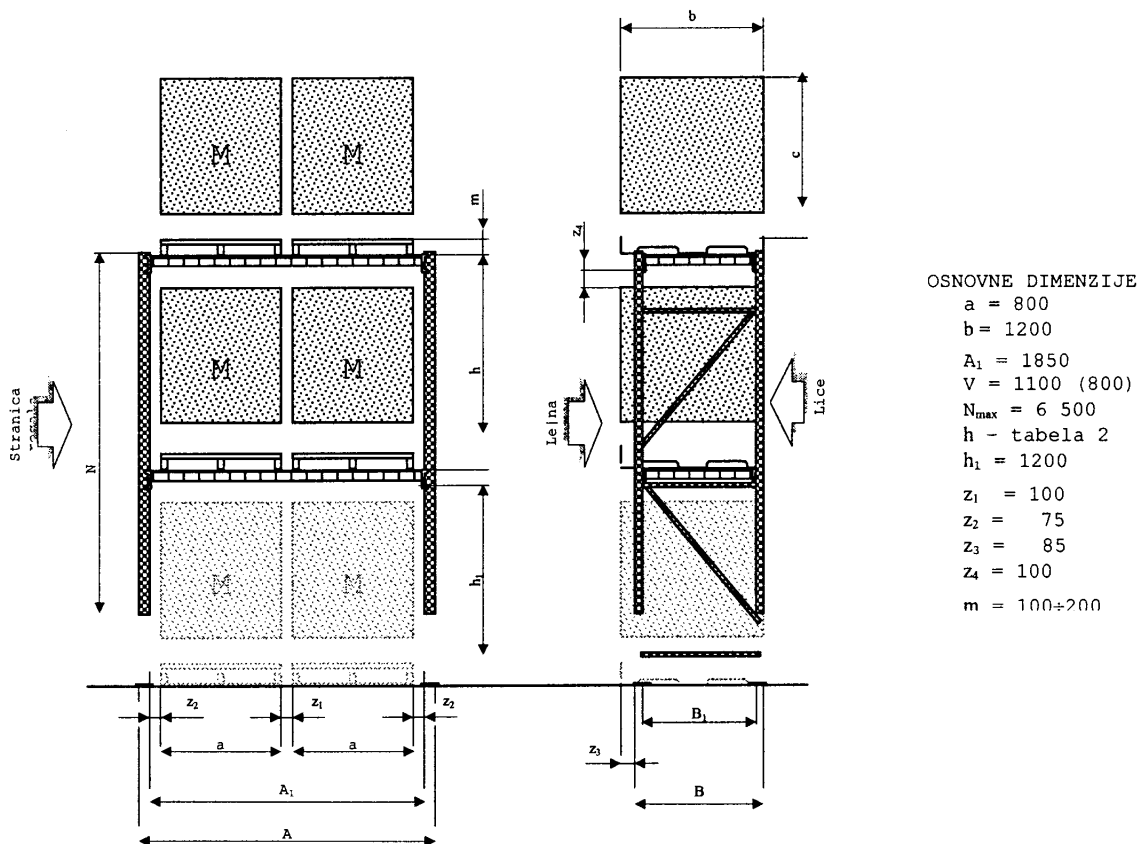
Tabela 2. Standardne vrednosti koraka sprata, h

h, mm														
225	300	375	450	525	600	675	750	820	900	975	1050	1125	1200	
1275	1350	1425	1500	1575	1650	1725	1800	1875	1950	2025	2100	2175	2250	

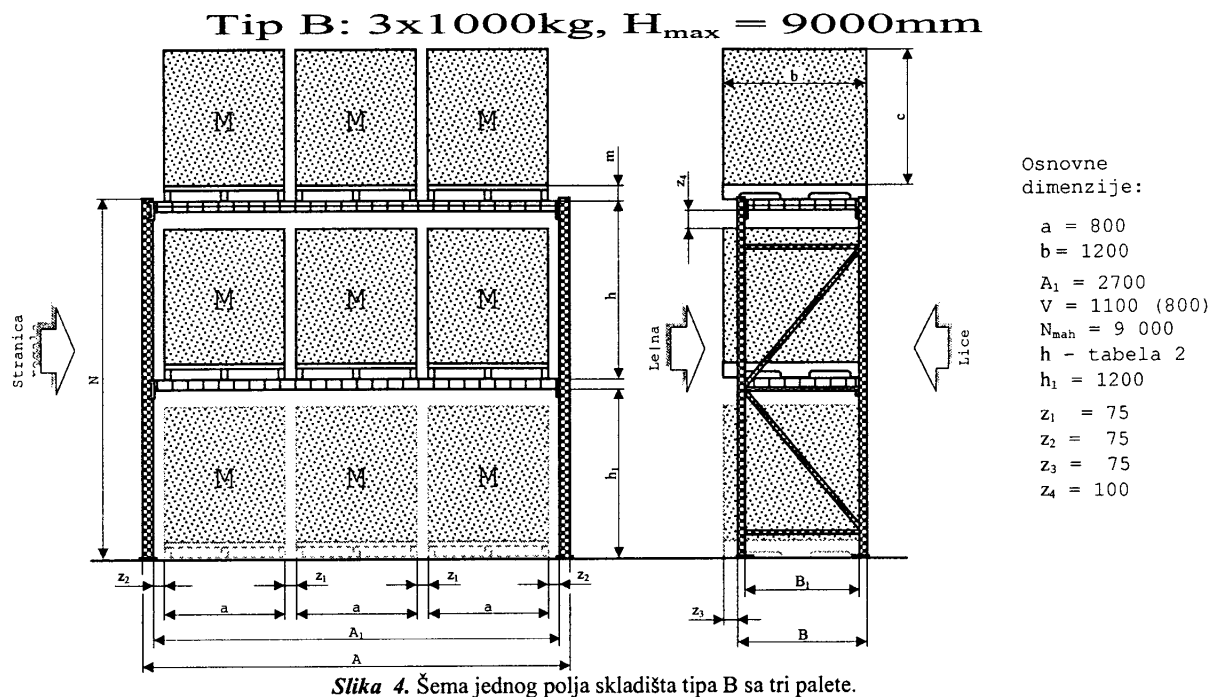
Modeliranje konstrukcije skladišta, koje se izlaže u nastavku, urađeno je za skladišta sa dva polja i skladišta sa tri polja koja primaju po dve palete (tip A), odnosno tri palete (tip B) težine 1000kg što je prikazano na slikama 3 i 4, na kojima su upotrebljene sledeće oznake:

PALETA	REGAL	ZAZORI
a – dužina tereta i palete	A – dužina	z_1 – između paleta
b – širina tereta i palete	V – širina	z_2 – između palete i stuba
c – visina tereta	N – visina	z_3 – preticanje palete
m – visina palete	h – visina između dve police regala	z_4 – između tereta i police
M- masa jedne palete (1 000kg)	h_1 – visina od poda do prve police	

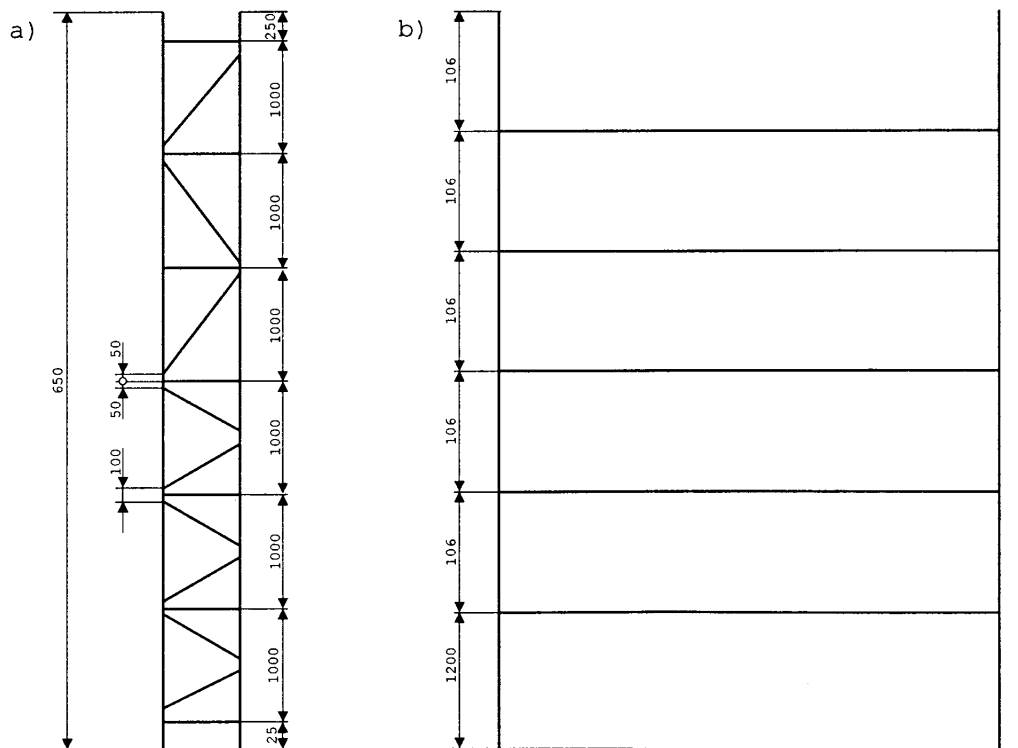
Tip A: 2x1000kg, $H_{\max} = 6500\text{mm}$



Slika 3. Šema jednog polja skladišta, tip A, sa dve palete.



Za izradu modela konstrukcije koji se koristi u simulaciji, veoma je značajan geometrijski raspored svih elemenata. Na slici 5a je prikazan raspored prečki i kosnika koji zajedno sa nosećim stubovima formiraju stranicu regala, a na slici 5b je prikazan raspored polica na skladištu visine 6500mm.



3.2. Analiza opterećenja

Proizvođači skladišta navedenih visina uglavnom ih nude sa najvećim korisnim teretom postavljenim u jednom boksu od 3x1000kg (3 palete svaka mase po 1000kg).

Zavisno od načina oslanjanja paleta na podužne nosače moguće su dve vrste (tipa) opterećenja:

- koncentrisano i
- kontinualno.

Najveća sila pri koncentrisanom opterećenju izračunava se iz izraza:

$$F = \frac{m_T \cdot g}{n} = 3120\text{N}$$

m_T – masa korisnog tereta koji se postavlja na podužne nosače u jednom boksu,

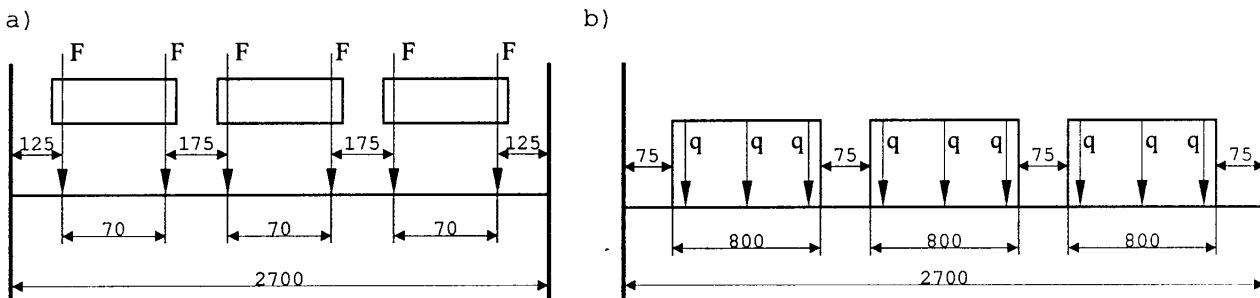
n – broj oslonih tačaka tereta (paleta) na podužnim nosačima.

Raspored koncentrisanog opterećenja na podužnim nosačima za jedno polje prikazan je na slici 6a.

Raspored kontinualnog opterećenja je prikazan na slici 6b i njegova najveća vrednost se računa iz izraza:

$$q = \frac{m_T \cdot g}{2 \cdot L} = 7.81\text{N/cm}$$

L – raspon podužnih nosača u jednom polju.



Slika 6. Raspored opterećenja po podužnim nosačima: a) koncentrisano, b) kontinualno opterećenje.

3.3. Modeliranje konstrukcije

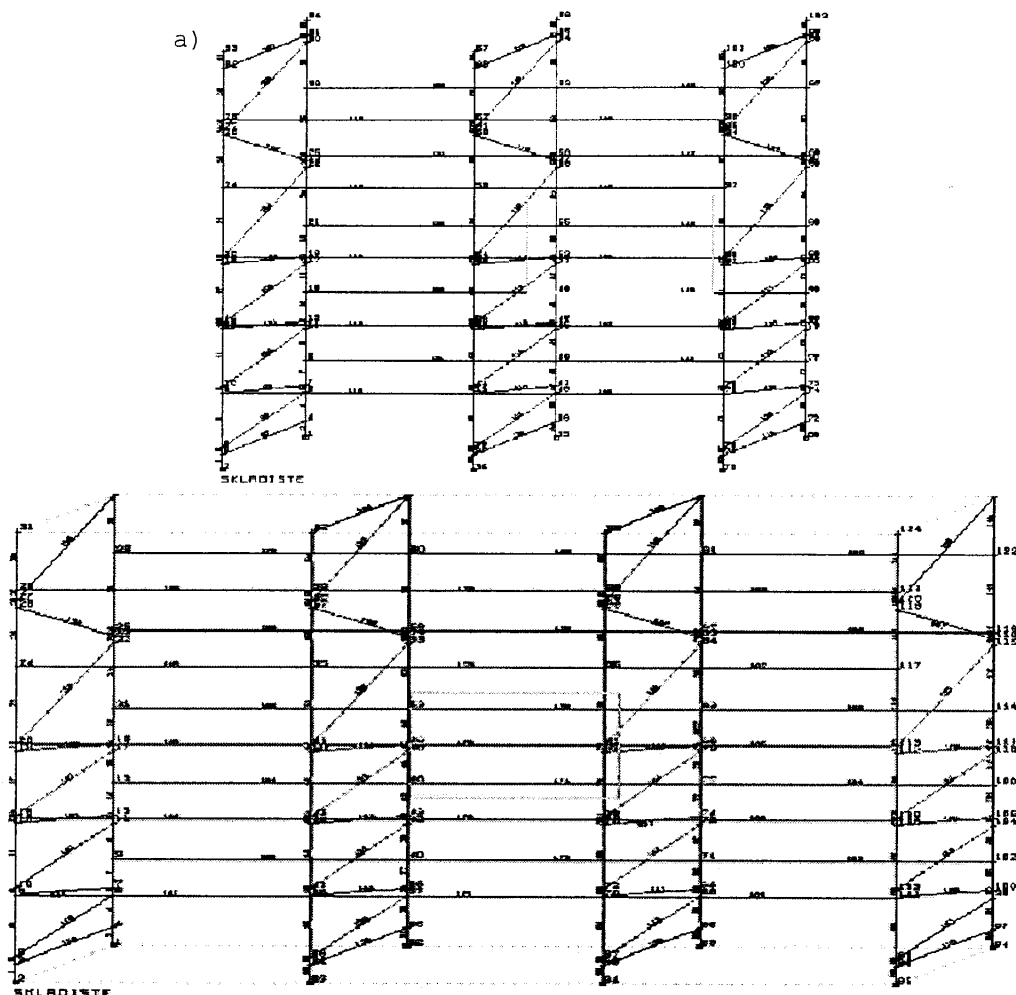
Modeliranje regalskog skladišta za proračun i simulaciju opterećenja i deformacija je urađeno za dva oblika konstrukcije i to:

- skladište, visine 6 500mm, sa dva polja i šest vertikalnih boksova po polju za smeštaj korisnog tereta¹, slika 7a,

- skladište, visine 6 500mm, sa tri polja i šest boksova po vertikali i sa istim rasporedom korisnog tereta, slika 7b.

Takvom strukturom modela moguće je sagledavanje međusobnog uticaja opterećenja jednog polja na opterećenje nosača u drugom polju.

¹ Teret se oslanja na podužne nosače u pet boksova dok se u najnižem, šestom boksu, oslanja na pod (ne opterećuje konstrukciju).



Slika 7. Modelirana struktura skladišta sa: a) dva polja i b) tri polja.

4. REZULTATI SIMULACIJE

Konstrukcija skladišta modelirana je pomoću konačnih elemenata tipa štapova. U samoj konstrukciji su prisutne tri vrste ovih elemenata:

- noseći (vertikalni) stubovi,
- prečke i kosnici i
- podužni nosači (police).

Pored toga analizirane su i dve konstalacije opterećenja:

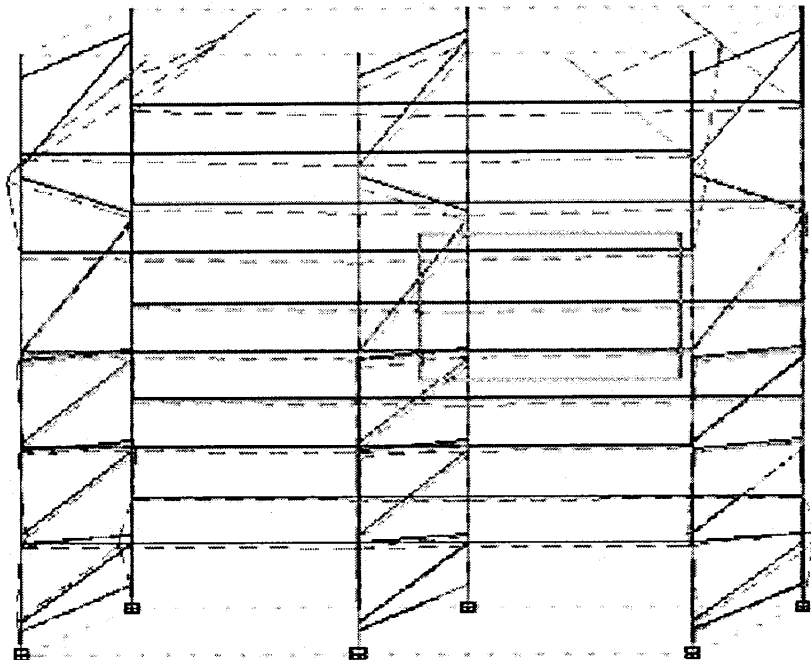
- koncentrisano opterećenje koje potiče od oslanjanja paleta na podužne nosače (prema ranijoj analizi)
- kontinualno opterećenje.

Pri proračunu je uzeto maksimalno opterećenje koje se predviđa za ovakve konstrukcije i to $3 \times 1000 \text{ kg}$.

Ovo opterećenje je uvećano za 25% zbog udara i mogućih neželjenih uticaja, odnosno posmatrano je opterećenje $3 \times 1250 \text{ kg}$.

Model sa tri polja je delimično uprošćen (izbačene su gornje prečke na bočnim stranama) zbog ograničenja programa koji proračunom konstrukcije ne može da obuhvati veliki broj čvorova i elemenata. Navedena aproksimacija ne utiče na tačnost rezultata, s obzirom da su ti elementi uglavnom neopterećeni.

Iz analize opterećenja se mogu izvesti zaključci o veličini deformacija u čvornim tačkama konačnih elemenata u sva tri pravca, kao i o opterećenju koje pojedini elementi konstrukcije prihvataju. Opterećenje se dobija u vidu sila (u pravcu osa lokalnog koordinatnog sistema) i momenata vezanih za iste ose. Rezultati simulacije za karakteristične slučajeve prikazani su narednim slikama i tabelama.



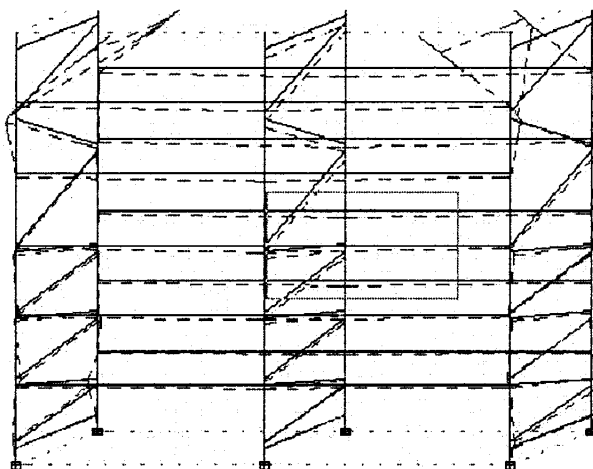
Slika 8. Deformaciona struktura skladišta sa dva polja i koncentrisanim opterećenjem.

Tabela 3. Maksimalne deformacije dobijene proračunom konstrukcije skladišta sa dva polja i koncentrisanim opterećenjem.

Čvor	x	y	z	α_x	α_y	α_z
96	-0.01335	-0.15097	-0.00568	-0.00001	-0.00003	0.02250
97	-0.01317	-0.15101	-0.01101	0.00005	-0.00007	0.02230
98	-1.57609	-0.15104	-0.00661	0.00006	0.00270	0.02173
99	-1.79346	-0.15104	-0.00601	0.00006	-0.00025	0.02174
100	-1.83255	-0.15099	-0.00602	0.00000	-0.00045	0.02243
101	-2.39329	-0.15100	-0.00604	0.00000	-0.00045	0.02243
102	-2.33695	-0.15104	-0.00452	0.00006	-0.00025	0.02174

Tabela 4. Maksimalna opterećenja.

Čvor	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
1	1.770	47.715	-0.067	1.536	.000	-70.274
2	1.724	47.787	0.061	0.349	.000	-68.389
35	0.000	103.527	-0.135	3.615	.000	.000
36	0.000	103.549	0.147	1.154	.000	.000
69	-1.770	47.715	-0.067	1.536	.000	70.274
70	-1.724	47.787	0.061	0.349	.000	68.389



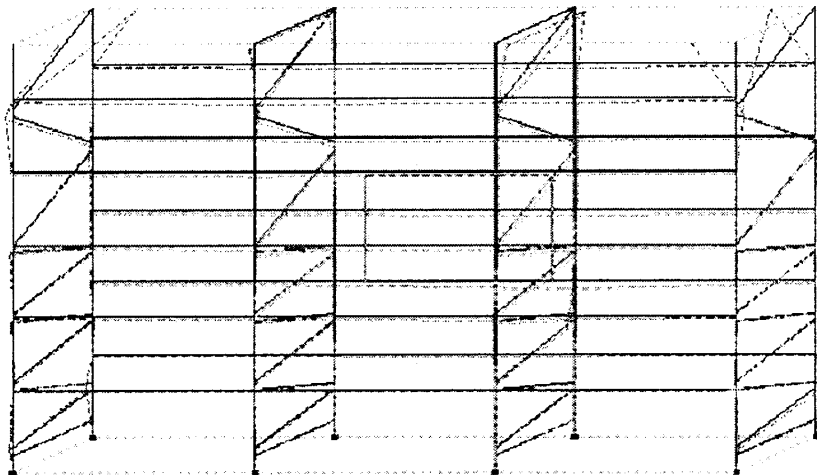
Slika 9. Deformaciona struktura skladišta sa dva polja i kontinualnim opterećenjem.

Tabela 5. Maksimalne deformacije dobijene proračunom konstrukcije skladišta sa dva polja i kontinualnim opterećenjem.

Čvor	x	y	z	α_x	α_y	α_z
96	-0.01364	-0.15080	-0.00565	-0.00001	-0.00003	0.02298
97	-0.01346	-0.15084	-0.01097	0.00005	-0.00007	0.02278
98	-1.61039	-0.15087	-0.00657	0.00006	0.00276	0.02221
99	-1.83249	-0.15087	-0.00598	0.00006	-0.00025	0.02221
100	-1.87243	-0.15082	-0.00599	0.00000	-0.00046	0.02292
101	-2.44537	-0.15082	-0.00601	0.00000	-0.00046	0.02292
102	-2.38780	-0.15087	-0.00449	0.00006	-0.00025	0.02221

Tabela 6. Maksimalna opterećenja.

Čvor	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	1.865	47.519	-0.067	1.521	.000	-74.050
2	1.816	47.595	.061	.336	.000	-72.063
35	.000	103.620	-0.135	3.634	.000	.000
36	.000	103.633	.147	1.178	.000	.000
69	-1.865	47.519	-0.067	1.521	.000	74.050
70	-1.816	47.595	.061	.336	.000	72.063



Slika 10. Deformaciona struktura skladišta sa tri polja i koncentrisanim

Tabela 7. Maksimalne deformacije dobijene proračunom konstrukcije skladišta sa tri polja i koncentrisanim opterećenjem.

Čvor	x	y	z	α_x	α_y	α_z
121	-0.03307	0.14251	0.02916	-0.00009	-0.00093	0.02204
122	0.06314	0.14613	0.03849	0.00002	-0.00093	0.02188
123	1.80756	0.14616	0.03254	0.00009	0.00371	0.02120
124	1.81841	0.14252	0.03655	-0.00009	-0.00093	0.02204

Tabela 8. Maksimalna opterećenja.

Čvor	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	1.681	45.244	-0.090	0.733	0.000	-66.973
2	1.660	45.924	0.028	-0.689	0.000	-66.116
32	-0.170	97.659	-0.016	6.422	0.000	6.498
33	-0.132	95.143	0.265	5.331	0.000	4.990
63	0.205	94.658	-0.238	0.070	0.000	-8.086
64	0.141	97.998	-0.077	-4.484	0.000	-5.643
94	-1.730	46.300	-0.003	3.187	0.000	68.681
95	-1.655	44.959	0.131	2.728	0.000	65.634

5. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Analizom izlaznih rezultata proračuna konstrukcije skladišta može se izvesti niz zaključaka od kojih su najvažniji:

- najveće opterećenje trpe donji delovi vertikalnih stubova (nosećih elemenata). Kod nosača u srednjim poljima to opterećenje se prvenstveno svodi na pritisak ($F_{\max} = 103.633\text{kN}$), dok se smicanje poprečnim silama i savijanje može zanemariti. Kod bočnih strana nosači u donjim segmentima konstrukcije su opterećeni na pritisak ($F = 47.74\text{kN}$) i na savijanje ($M = 72.46\text{kNcm}$). Oni se moraju proračunavati na oba uticaja aktivnog opterećenja,
- povećavanjem broja polja konstrukcije skladišta (više od dva), dolazi do rasterećenja nosača u srednjim poljima i tada je najveća sila $F_{\max}=97.56\text{kN}$. Opterećenje koje deluje na nosače u bočnim poljima ostaje skoro nepromenjeno,
- u srednjim i bočnim poljima, na bazi proračuna maksimalnih napona za izabrani presek nosećeg stuba, radni naponi su manji od dozvoljenih (skoro da se poklapaju) i može se smatrati da je konstrukcija sa stanovišta čvrstoće dobro dimenzionisana,

- najveće deformacije se pojavljuju u gornjim segmentima konstrukcije skladišta. One su dosta male u odnosu na dimenzije skladišta, a to znači da je raspored elemenata konstrukcije i geometrijskih karakteristika njihovih poprečnih preseka dobro izabran, tj. krutost konstrukcije zadovoljava.

Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za izbor oblika i dimenzionisanje profila nosećih stubova, prečki, kosnika i podužnih nosača regalskog skladišta i eksperimentalnu proveru izabranog rešenja.

6. LITERATURA

1. Kojić, M., Slavković, R., Živković, M., Grujović, N.: "Metod konačnih elemenata 1-linearna analiza" Kragujevac 1998.
2. STRESS- priručnik, Građevinski fakultet Niš, 1988.
3. Petković, Z., Ostrić, D.: "Metalne konstrukcije u mašingradnji", Mašinski fakultet Beograd, 1995.
4. Vukićević, S.: "Skladišta", Preving, Beograd, 1995.
5. Sajtovi proizvođača regalskih skladišta.

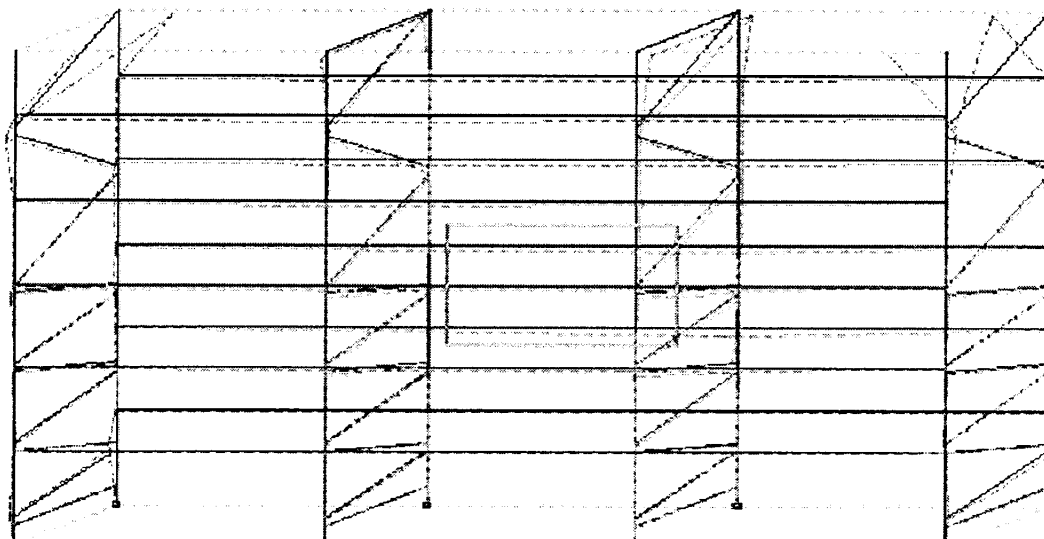
REZIME: Za izabrani profil nosećeg stuba, izabrane poprečne i podužne nosače razmatranog regalskog skladišta, na osnovu analize rasporeda korisnog tereta, izvršena je simulacija opterećenja na elementima strukture i proračunate njihove deformacije.

Ovim radom se prikazuju ostvareni rezultati i oni predstavljaju osnovu za dimenzionisanje i kasniju eksperimentalnu proveru konačno usvojenih rešenja konstrukcije regalskog skladišta. U zaključku se komentarišu rešenja sa stanovišta narednih aktivnosti.

ANALYSIS OF BUDENINGS AND DEFORMITIES ON SHELF STOREHOUSE OF LIGHT CONSTRUCTION

Summary: Load and deformation simulation has been done in this paper using the weight arrangement analysis for chosen upright's and beam's profiles.

This paper shows attained results which represent base for dimensioning and experimental checking of chosen solution. Conclusion shows comments from the point of the next activity.



Slika 11. Deformaciona struktura skladišta sa tri polja i kontinualnim

Tabela 9. Maksimalne deformacije dobijene proračunom konstrukcije skladišta sa tri polja i kontinualnim opterećenjem.

Čvor	x	y	z	α_x	α_y	α_z
121	-0.03464	0.14389	0.02539	-0.00008	-0.00104	0.02450
122	0.05766	0.14687	0.03404	0.00003	-0.00106	0.02428
123	1.99408	0.14690	0.02829	0.00009	0.00396	0.02354
124	2.01913	0.14390	0.03206	-0.00008	-0.00104	0.02450

Tabela 10. Maksimalna opterećenja.

Čvor	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	1.866	45.441	-0.093	0.675	0.000	-74.319
2	1.839	46.110	0.025	-0.780	0.000	-73.202
32	-0.155	97.097	-0.018	6.333	0.000	5.886
33	-0.119	94.827	0.262	5.234	0.000	4.444
63	0.190	94.483	-0.232	0.267	0.000	-7.472
64	0.126	97.352	-0.056	-4.127	0.000	-5.044
94	-1.914	46.362	-0.010	2.983	0.000	75.993
95	-1.834	45.253	0.123	2.439	0.000	72.755