

PRORAČUN KONSTRUKCIJE ČELIČNE HALE SA KRANSKOM STAZOM I UPOREDNA ANALIZA KRANSKE STAZE PREMA SRPS STANDARDU I EVROKODU

DESIGN OF STEEL STRUCTURE WITH RUNWAY BEAM AND COMPARATIVE ANALYSIS OF RUNWAY BEAM ACCORDING TO SRPS AND EUROCODE

Milica Đokić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je dat proračun čelične hale sa kranom prema standardu Evrokod. Izvršen je i prikazan cjelokupan statički proračun svih konstruktivnih elemenata kao i dimenzionisanje istih pračeno neophodnom grafičkom dokumentacijom (detalji čelika, detalji veza, detalji armiranja). Eksperimentalni dio rada se odnosi na uporednu analizu kranke staze prema standardu SRPS i prema Evrokodu. .

Ključne riječi: Čelična hala, kran, staza, Evrokod, opterećenje, detalji veza

Abstract - The paper describes a calculation of a steel hall with a crane supporting beam according to the Eurocode standard. The complete static calculation of all structural elements as well as their design with the necessary graphic documentation (details of steel, details of connections, details of reinforcement) were performed and presented. The experimental part of the paper deals with the comparative analysis of the runway beam according to the SRPS standard and according to Eurocode.

Key words: Steel hall, crane, runway, Eurocode, loading, connection details

1. UVOD

Projektom zadatkom predviđena je izrada projektnog rješenja u skladu sa Evrokodom industrijske čelične hale sa unutrašnjim transportom koji je obezbeđen kranom dizalicom nosivosti 10 t. Hala je jednobrodna, dimenzija u osnovi 24,0x56,0 m. Lokacija hale - Novi Sad.

2. PRORAČUN KRANSKE STAZE PREMA EVROKODU I SRPS-U SA UPOREDNOM ANALIZOM REZULTATA

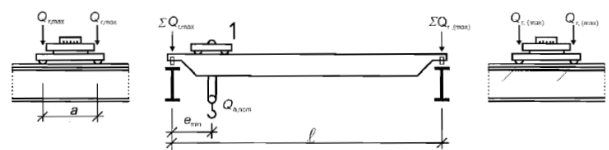
2.1. Osnovni podaci o kranskoj stazi

Analizirani nosač kranke staze je sistema kontinualne grede na 7 polja, pri čemu je jedno polje dužine 8,0 m. Mosna kranica dizalica je prosta greda raspona 22,5 m. Usvojeni poprečni presjek kranke staze je HEA400. Prema Evrokodu razlikujemo horizontalna i vertikalna opterećenja koja je neophodno uzeti u obzir pri proračunu kranke staze.

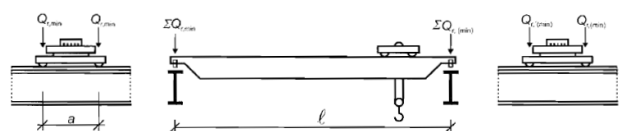
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Đorđe Ladinović.

Kao vertikalna opterećenja neophodno je razmatrati dva slučaja opterećenja i odrediti minimalnu odnosno maksimalnu vertikalnu silu $Q_{r,max}$ i $Q_{r,min}$, odnosno odgovarajuće sile $Q_{r,(max)}$ i $Q_{r,(min)}$ (sl. 1 i sl.2).

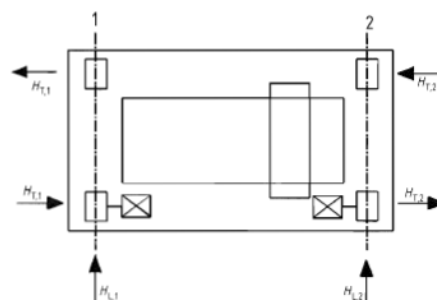


Slika 1. Raspored opterećenja za dobijanje maksimalnog pritiska točka dizalice (mačka opterećena)

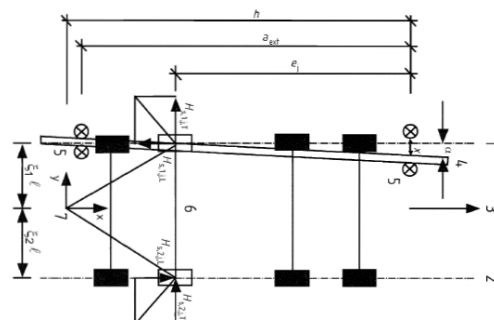


Slika 2. Raspored opterećenja za dobijanje minimalnog pritiska točka dizalice (mačka neopterećena)

Horizontalna opterećenja razlikujemo kao opterećenja nastala ubrzanjem ili kočenjem kрана (sl. 3) i horizontalna opterećenja nastala zakošenjem kрана (sl. 4). Intenzitet ovih opterećenja se određuje na osnovu izraza koje propisuje Evrokod.



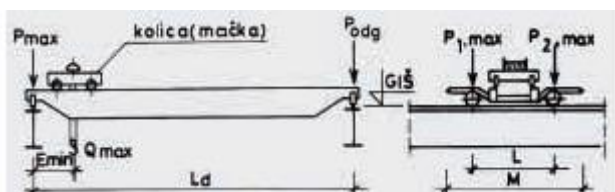
Slika 3. Dejstvo sila izazvanih ubrzanjem ili kočenjem



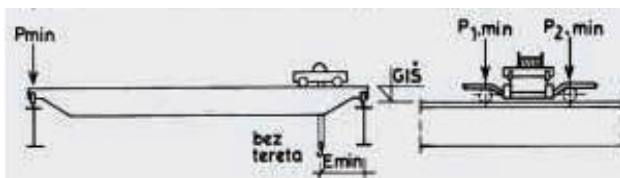
Slika 4. Dejstvo sila izazvanih zakošenjem kрана

Sva opterećenja je neophodno uvećati dinamičkim faktorom opterećenja φ_i koji zavisi od kombinacije opterećenja pri čemu prema Evrokodu razlikujemo sedam različitih kombinacija opterećenja.

Prema domaćim SRPS propisima takođe razlikujemo vertikalna i horizontalna opterećenja (sl. 5 i sl. 6). Za vertikalna opterećenja uzimaju se ona data od proizvođača mosne dizalice ukoliko pak nisu navedena određuju se maksimalna odnosno minimalna vertikalna sila $P_{i,max}$ i $P_{i,min}$.

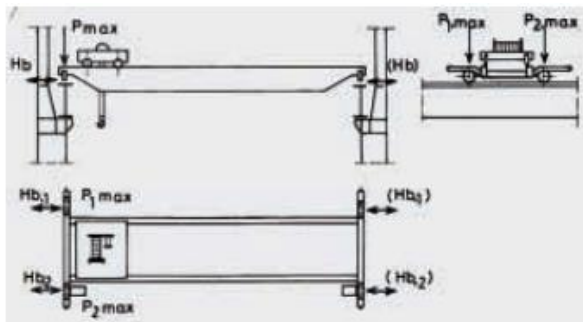


Slika 5. Maksimalni pritisak točkova dizalice



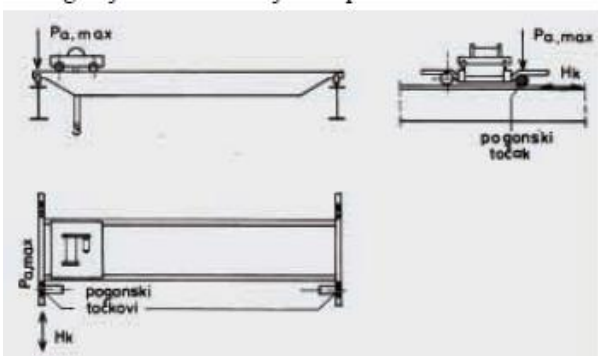
Slika 6. Minimalni pritisak točkova dizalice

Kao horizontalna opterećenja razlikujemo poprečna (opterećenje usljed polaska i kočenja, kosog podizanja tereta i nepravilnosti staze) i podužna opterećenja (od pokretanja i kočenja i od kosog podizanja tereta). Intenzitet poprečnog opterećenja se uzima kao 1/10 vertikalnog opterećenja.



Slika 7. Dejstvo sile bočnih udara na kranu

Intenzitet podužnog opterećenja se u proračun uzima kao 1/7 vertikalnog opterećenja.



Slika 8. Dejstvo sile kočenja na kranu

Prema domaćim standardima samo vertikalna opterećenja je neophodno uvećati dinamičkim koeficijentom dok uvećanje dinamičkim koeficijentom kod horizontalnih opterećenja izostaje.

Uporednom analizom rezultata dobijenih proračunom kranke staze prema Evrokodu i prema SRPS zaključeno je da je Evrokod nešto zahtjevniji kada je u pitanju analiza opterećenja te da je sam postupak proračuna detaljniji i obimniji. Prema Evrokod propisima zbog uvećanja opterećenja parcijalnim i dinamičkim koeficijentima dobiju se veće sile kojima je neophodno opteretiti nosač kranke staze u odnosu na SRPS gdje parcijalni koeficijenti sigurnosti izostaju.

Uporednom analizom se pokazalo da je u pogledu graničnog stanja nosivosti iskorišćenost poprečnog presjeka kranke nosača nešto veća prema Evrokodu u odnosu na iskorišćenost poprečnog presjeka prema SRPS. Dok kada je u pitanju granično stanje upotrebljivosti odnosno pri proračunu ugiba Evrokod daje manje ugibe u odnosu na SRPS jer su parcijalni koeficijenti sigurnosti za granično stanje upotrebljivosti prema Evrokodu 1,0.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA ČELIČNE HALE

Proračun opterećenja izvršen je u saglasnosti sa Evrokodom EN 1991. Analizirana su sva opterećenja koja će se javiti na konstrukciji za vrijeme eksploatacionog vijeka iste.

3.1. Stalno opterećenje

Kao stalno opterećenje razlikujemo opterećenje konstruktivnih odnosno nekonstruktivnih elemenata. Opterećenje konstruktivnih elemenata aplicirano je u samom programskom paketu Tower 7.0. U nekonstruktivne elemente uvrštavaju se krovne i zidne obloge i sve vrste instalacija (elektro, mašinske i sl.)

3.2. Promjenljivo opterećenje

Kao promjenljivo opterećenje na predmetnom modelu analizirano je opterećenje vjetrom i opterećenje snijegom. Opterećenje snijegom dato je Evrokodom EN 1991-1-3. Dobija se na osnovu obrazca $s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$, gdje je s_k karakteristična vrijednost opterećenja od snijega na tlo na relevantnoj lokaciji. Ovaj podatak je očitava sa mape opterećenja Snijega na tlo koju daje RHMZ Srbije. Za lokaciju Novi Sad $s_k = 1,3 \text{ kN/m}^2$.

Opterećenje vjetrom je predmet razmatranja Evrokoda EN 1991-1-4. Osnovni parametar pri određivanju ovog opterećenja jeste fundamentalna osnovna brzina vjetra $V_{b,o}$ koja se očitava sa mapa definisanih od strane RHMZ Srbije a zavisi od lokacije objekta. Za lokaciju Novi Sad $V_{b,o} = 21,0 \text{ m/s}$.

3.3. Seizmičko opterećenje

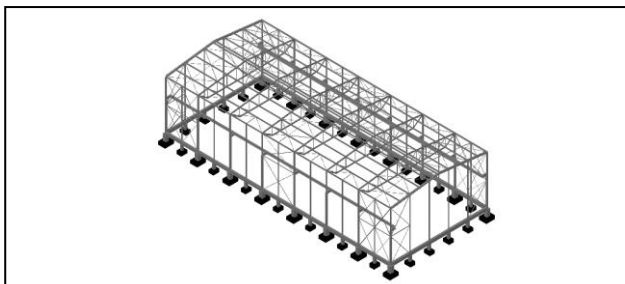
Seizmičko opterećenje je funkcija seizmičke lokacije objekta te od dinamičkih karakteristika sistema objekat-tlo. Stoga je proračun baziran na proračunu modalne analize na osnovu koje se dobijaju dinamičke karakteristike same konstrukcije odnosno periodi oscilovanja na osnovu kojih se vrši dalji proračun samog opterećenja. Seizmičko opterećenje je detaljno opisano Evrokodom EN 1998.

Kao parametar lokacije daje se referentno ubrzanja tla a_{gR} . Za lokaciju Novi Sad $a_{gR}=0,10g$. Kako bi se odredilo seizmičko opterećenje neophodno je poznavanje karakteristika tla, klase duktilnosti i klase značaja objekta.

Evrokod propisuje dvije metode proračuna seizmičkog opterećenja: metoda ekvivalentnih bočnih sila i multimodalna spektralna analiza, pri čemu je za proračun seizmičkih sila predmetnog objekta izabrana multimodalna spektralna analiza.

4. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE

Model konstrukcije formiran je pomoću softverskog paketa Tower 7.0 koji je baziran na proračunu metodom konačnih elemenata.



Slika 9. 3D model konstrukcije

Modeliranje je vršeno linijskim i površinskim elementima pri čemu se svim elementima pridružuju geometrijske i mehaničke karakteristike. Za sve konstruktivne elemente izuzev temelja korišćen je čelik S275, dok su temeljne stope i temeljna greda modelirani u betonu C30/37. Oslonci su modelirani tzv. Winklerovim modelom tla u okviru koga je tlo predstavljeno nizom elastičnih opruga.

Svi konstruktivni elementi (glavni i fasadni stubovi, glavni rešetkasti nosač, rigla, rožnjača, kranski nosač, kratki element, elementi za ukrućenje-spregovi, temeljni stubić i temeljna greda) modelirani su linijskim elementima, osim temeljne stope koja je modelirana kao površinski element. Opterećenja su modelirana u zavisnosti od karaktera djelovanja istih kao linijska odnosno površinska.

5. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONISANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Statički proračun i dimenzionisanje izvršeni su u Tower 7.0.

5.1. Proračunske kontrole

Prije samog dimenzionisanja neophodno je izvršiti proračunske kontrole.

Kontrola napona u tlu gdje je neophodno da bude zadovoljen uslov da projektni otpori budu veći od proračunskih vrijednosti uticaja $E_d \leq R_d$.

Kontrola normalnih napona u stubovima je zahtev dat u Evrokodu 8 a baziran je na obezbeđenju duktilnosti kritičnih presjeka konstrukcije. Za zadovoljenje ovog dela neophodno je ograničiti aksijalnu silu na 30% proračunske nosivosti stuba.

Kontrola potrebe obuhvatanja efekata drugog reda bazirana je na upoređivanju momenta drugog reda koji nastaje od aksijalne sile u stubu i momenta prvog reda nastalog od horizontalne seizmičke sile.

Ukoliko je odnos navedena dva momenta manji od 10% nije neophodno u obzir uzimati uticaje drugog reda, ukoliko uslov nije zadovoljen potrebno je uvesti uticaje drugog reda na način propisan Evrokodom 8.

Kontrola dopuštenih međuspratnih pomjeranja pri čemu je neophodno izvršiti kontrolu međuspratnih pomjeranja koja nastaju pri seizmičkom dejstvu konstrukcije.

5.2. Kombinacije opterećenja

Prilikom projektovanja kostrukcija prema Evrokodu razmatraju se najnepovoljnije kombinacije opterećenja koje mogu istovremeno da djeluju na konstrukciju. Razlikujemo kombinacije za stalne i prolazne situacije, incidentne situacije i seizmičke proračunske situacije.

Ove kombinacije formirane su za provjeru graničnih stanja nosivosti, dok su za provjeru graničnih stanja upotrebljivosti korišćene karakteristične kombinacije opterećenja.

5.3. Statički proračun i dimenzionisanje elemenata

U sklopu ovog poglavlja izvršen je proračun elemenata pri čemu je izvršena: kontrola napona, otpornost na pritisak, otpornost na savijanje, otpornost na smicanje, nosivost na kombinaciju savijanja i aksijalne sile, nosivost na kombinaciju smicanja i savijanja, nosivost na kombinaciju savijanja, smicanja i aksijalne sile, nosivost na fleksiono izvijanje i dokaz bočno-torzionog izvijanja. Izvršena je i provjera vertikalnih odnosno horizontalnih ugiba u zavisnosti od položaja elementa u konstrukciji.

6. ZAKLJUČAK

Projektovanjem objekta najprije je neophodno obezbijediti ispunjenje ciljeva koji su zadati namjenom objekta, zatim je neophodno obezbijediti sigurnost, upotrebljivost, trajnost i funkcionalnost istog.

Evrokod je baziran na racionalizaciji i povećanju iskorišćenosti poprečnih presjeka odnosno rad presjeka i u plastičnoj zoni, dok standard SRPS ima nešto konzervativniji pristup.

Ipak zbog parcijalnih koeficijenata sigurnosti kojima je neophodno povećati opterećenje konstrukcije Evrokod ne daje uvijek racionalnije rješenje, a to je bio slučaj sa kranskom stazom razmatranom u istraživačkom dijelu rada.

7. LITERATURA

- [1] EN1991-1-1-Dejstva na konstrukcije(sopstvena težina, korisna opterećenja)
- [2] EN1991-1-3-Dejstva na konstrukcije(Dejstva snijega)
- [3] EN1991-1-4-Dejstva na konstrukcije(Dejstva vjetra)
- [4] EN1991-3 Actions on structures - Part 3: Actions induced by cranes and machinery
- [5] EN1992-1-1 Proračun betonskih konstrukcija
- [6] EN1993-1-1 Proračun čeličnih konstrukcija
- [7] EN1993-6 Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures
- [8] EN1997-1 Geotehnički proračun
- [9] EN1998-1 Proračun seizmički otpornih konstrukcija

[10] Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu, Zlatko Marković

[11] Metalne konstrukcije, Osnove proračuna i konstruisanja, Dr Dragan Buđevac, Mr Zlatko Marković, Mr Dragan Bogavac, Mr Dragoslav Tošić

[12] Metalne konstrukcije u zgradarstvu. Dr Dragan Buđevac

Kratka biografija



Milica Đokić rođena je 1994. godine u Vlasenici. Diplomski rad na temu „Projekat AB višespratne zgrade sa drvenom krovnom konstrukcijom prema Evrokod propisima“ na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu odbranila je 2017. godine.