

РАЧУНАРСКО МОДЕЛИРАЊЕ ДРУМСКОГ МОСТА ПРИ СИМУЛАЦИЈИ ПОКРЕТНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА

Илија М. Миличић¹
Немања Браловић²

УДК: 624.042.3 : 624.21.095
DOI: 10.14415/zbornikGFS30.02

Резиме: У овом истраживању приказано је рачунарско моделирање једнораспонске конструкције друмског решеткастог моста са коловозом на горњем појасу. Прорачунски модели третирани су као равански и просторни носачи израђени од 1Д коначних елемената са апликацијама за САА: Tower и Bridge Designer 2016 (2nd Edition). Сprovedеним рачунарским симулацијама добијени су резултати за међусобно поређење утицаја покретног оптерећења према препорукама два стандарда СРПС и ААSНАТО. Због тога је варијанта моделирања конструкције моста коју пружа програм Bridge Designer 2016 (2nd Edition) истоветно моделирана у окружењу програма Tower. Као важну информацију при избору рачунарског програма истичемо да са апликацијом Bridge Designer 2016 (2nd Edition) нисмо били у могућности да третирамо утицаје модела покретног оптерећења по домаћем стандарду – V600.

Кључне речи: друмски мост, покретно оптерећење, моделирање и симулација, критеријум употребљивости.

1. УВОД

Основни циљ истраживања био је да се рачунарским моделирањем и симулацијом покретног оптерећења на примеру друмског решеткастог челичног моста, применом „Правилника о техничким нормативима за одређивање величине оптерећења мостова“, Републике Србије и према стандардима „ААSНТО“ САД – а, уз примену софтверских пакета „Tower“ и „Bridge Designer 2016“ установи:

- утрошак материјала за критеријум употребљивости L/500 и L/800, са дејством покретног оптерећења V 600 и H 25, применом 3Д модела,
- однос покретног и сталног оптерећења, применом 3Д модела,
- утрошак материјала за критеријум употребљивости L/500 и L/800, са дејством покретног оптерећења V 600 и H 25, применом 2Д модела,
- однос покретног и сталног оптерећења, применом 2Д модела,

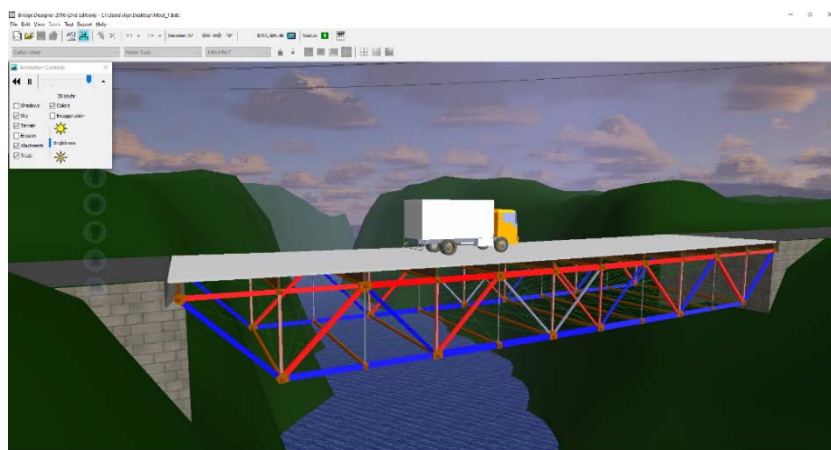
Према томе, крајњи циљ је показати успешност рачунарских симулација покретног оптерећења H25 и V600 са 3Д и 2Д моделом истовремено, као два независна приступа моделирању конструктивног система друмског решеткастог моста.

¹ Проф. др Илија М. Миличић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, 24000 Суботица, тел: 024/554-300, е – mail milicic@gf.uns.ac.rs

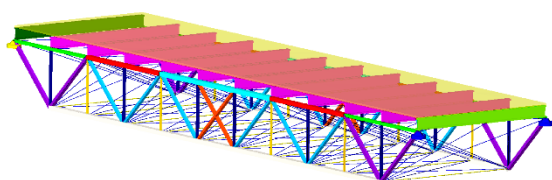
² Немања Браловић, мастер инж. грађ., е – mail: nemanjabralovic@hotmail.com

2. 3Д МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈЕ ДРУМСКОГ МОСТА

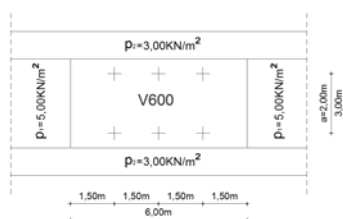
Модел моста у овом раду је идеализована структура која на поједностављен начин третира реалност. Због тога се симулира статичко дејство и дају прорачунски утицаји, избегавајући комплексност модела, као и све опасности које могу настати при „ин ситу“ тестирању изведеног конструктивног система друмског моста. Распонску конструкцију (сл. 1 и сл. 2) чине два решеткаста носача распона $L=44\text{m}$, међусобно размакнута за $V=10\text{m}$, повезани системом попречних носача са горњим појасевима и спрегом са доњим појасевима, формирајући висину моста $H=4.0\text{m}$. Овако структурално састављен попречни пресек моста додатно унутрашњим елементима „штаповима – затегама,, допуњен је и чини кинематички стабилну фигуру. Сви елементи модела осим коловозне плоче су моделирани од челика различитих попречних профила.



Слика 1 – 3Д модел моста „Bridge Designer 2016“



Слика 2 – 3Д модел моста „Tower“



Слика 3 – Шема V600

Рачунарским симулацијама задају се моделима ограничења у погледу вертикалних померања средине распона моста према критеријуму употребљивости $L/500$ и $L/800$. На тај начин поредећи силе у штаповима, однос p/g , и количине утрошеног материјала, констатују се разлике утицаја које изазивају прописана возила по оба стандарда, и даје се разлика 2Д и 3Д прорачунска модела моста. Статички систем носача је проста греда – решетка са правим појасевима и троугаоном испуном, са размаком чворова од $\lambda = 4,0\text{ m}$, укупног распона $L= 11\text{ поља} \times 4,0\text{m} = 44,0\text{ m}$.

Првом симулацијом модела (сл. 2) проверају се претпостављени попречни пресеци главног решеткастог носача модела (сл. 1) при утицају покретног оптерећења V600 (сл.3), еквивалентним статичким оптерећењем увећаним за динамички коефицијент.

- **Срачунавање динамичког коефицијента K_d**

$$K_d = 1,4 - 0,008 L, \quad K_d = 1,4 - 0,008 \cdot 44,0 = 1,05$$

- **Силе помножене динамичким коефицијентом**

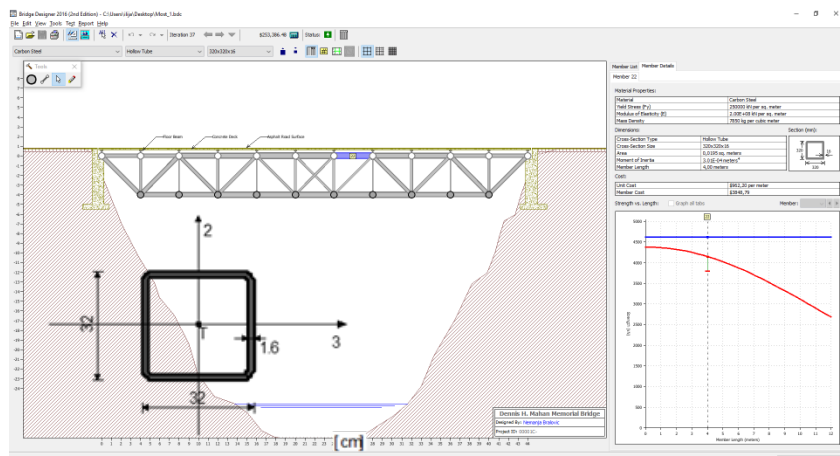
$$P_d = P \cdot K_d = 100 \cdot 1,05 = 105 \text{ kN}$$

$$p_{1d} = p_1 \cdot K_d = 5,0 \cdot 1,05 = 5,25 \text{ kN/m}^2 \quad p_{2d} = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

С друге стране, софтвером „Bridge Designer 2016” добијени су попречни пресеци елемената главног решеткастог носача при утицају покретног оптерећења H25.

2.1. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ШТАПОВА ЗА УТИЦАЈЕ СТАЛНОГ И ПОКРЕТНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА (H25 и V600)

- **Горњи појас (O)** – димензионисањем горњег појаса (сл. 4) главног решеткастог носача, имамо за утицај покретног оптерећења H25 добијен софтвером „Bridge Designer 2016“ максималну искоришћеност горњег појаса око 93%, а при третирању утицаја возила V600 је 35%.



Слика 4 – Искоришћеност пресека горњег појаса „Bridge Designer 2016“

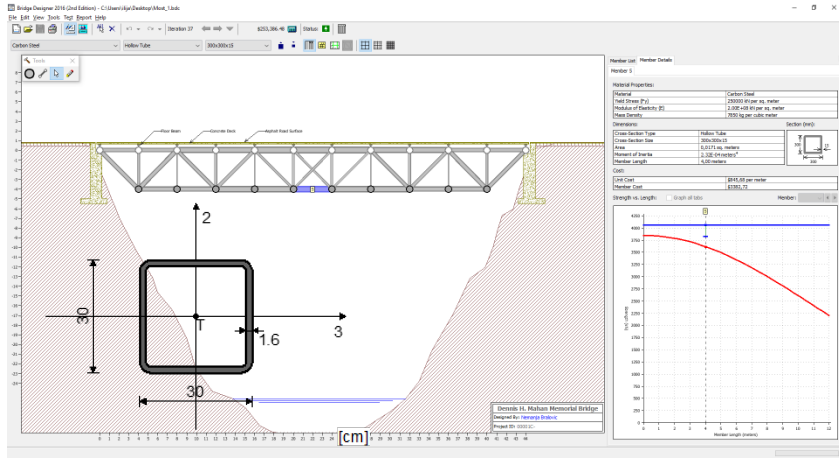
$$\sigma_N = (1177,82) / (204,8) = 5,75 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{idop} = 16,48 \text{ kN/cm}^2 \quad (35 \%)$$

У даљој анализи усвајају се већи попречни пресеци штапова главног решеткастог носача, како би се добили рационалнији утрошци материјала и постигао што је могуће већи степен искоришћености попречних пресека свих штапова.

- **Доњи појас (U)** – димензионисањем доњег појаса (сл. 5) главног решеткастог носача, имамо за утицај покретног оптерећења H25 добијен софтвером „Bridge

Designer 2016“ максимална искоришћеност доњег појаса износи 95 %, а при третирању утицаја возила V600 попречни пресек незадовољава критеријум.

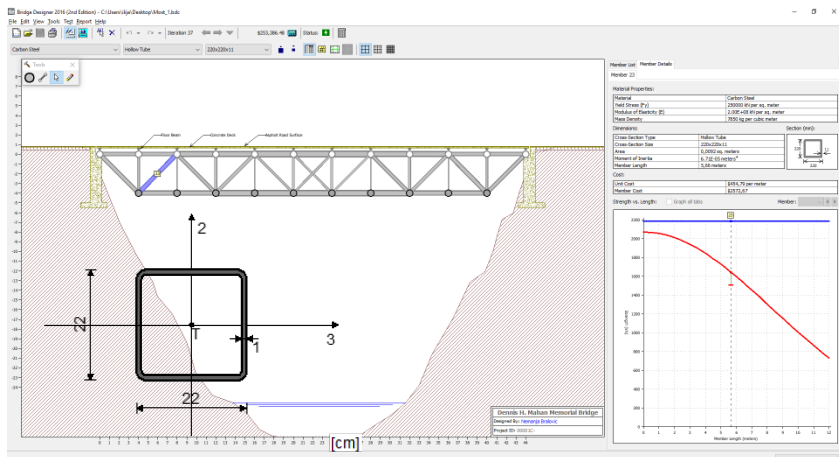
$$\sigma_{stV} = 4667,97/192,0 = 24,31 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{dop} = 18 \text{ kN/cm}^2$$



Слика 5 – Искоришћеност пресека доњег појаса „Bridge Designer 2016“

- **Дијагонала (D)** – димензионисањем дијагонале (сл. 6) главног решеткистог носача, имамо за утицај покретног оптерећења H25 добијен софтвером „Bridge Designer 2016“ максимална искоришћеност дијагонале 90 %, а при третирању утицаја возила V600 попречни пресек незадовољава критеријум.

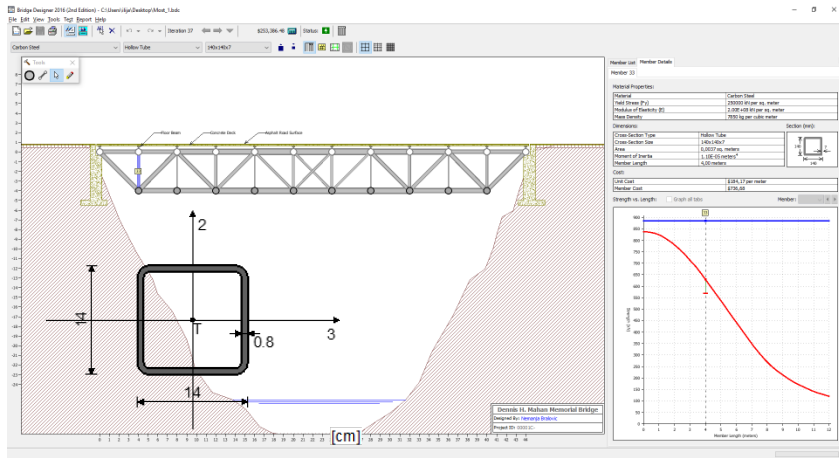
$$\sigma_N = (1773,26)/(88) = 20,15 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{idop} = 13,38 \text{ kN/cm}^2 \quad (93\%).$$



Слика 6 – Искоришћеност пресека дијагонале „Bridge Designer 2016“

- **Вертикала (V)** – искоришћеност пресека за возило H25 добијен софтвером „Bridge Designer 2016“ (91 %))

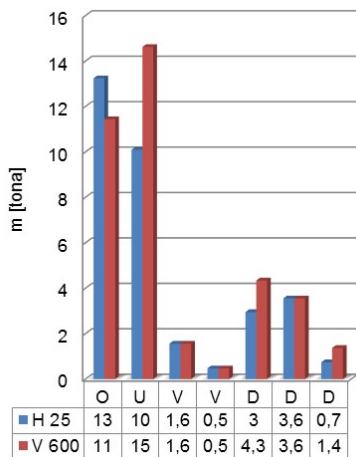
$$\sigma_N = (399,61)/(44,8) = 8,92 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{idop} = 15,36 \text{ kN/cm}^2 \quad (58 \%)$$



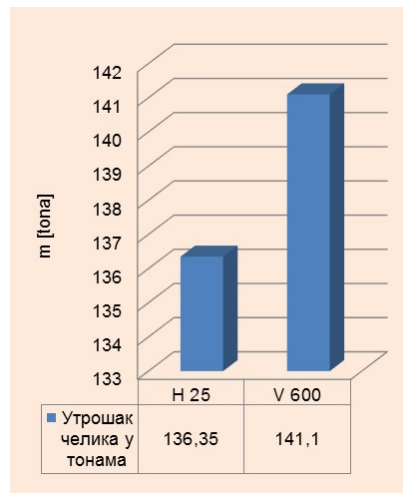
Слика 7 – Искоришћеност пресека вертикале „Bridge Designer 2016“

2.2. ПОРЕЂЕЊЕ УТРОШЕНЕ КОЛИЧИНЕ МАТЕРИЈАЛА

На основу прорачуна сила у штаповима са 3Д моделом од дејства два независно разматрана покретна оптерећења дају се према утрошеним количинама материјала за челични део конструкције моста њихова међусобна поређења, сл. 8а и сл. 8б.



а)

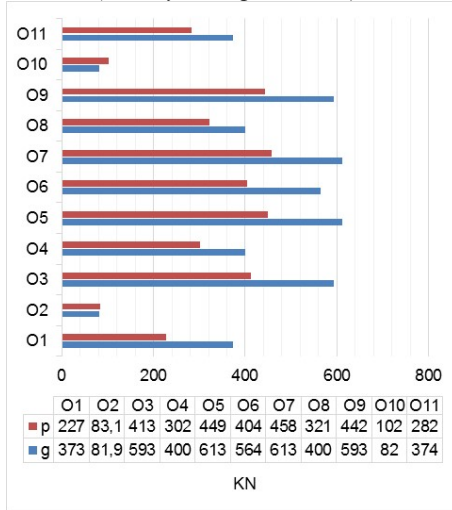


б)

Слика 8 – Утрошак количине челика – 3Д модел моста

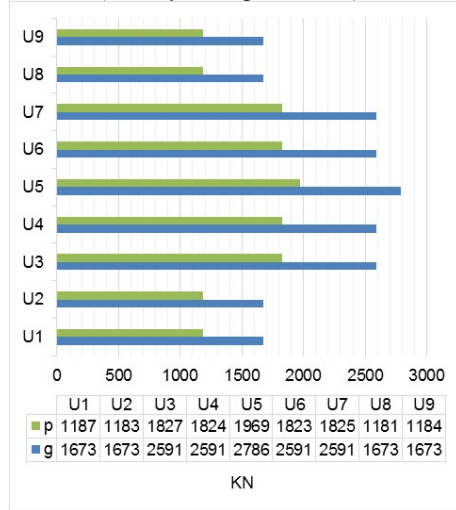
2.3. ПОРЕЂЕЊЕ СТАЛНОГ И ПОКРЕТНОГ ОПТЕРЕЂЕЊА – шема V600

Горњи појас
(апсолутне вредности)



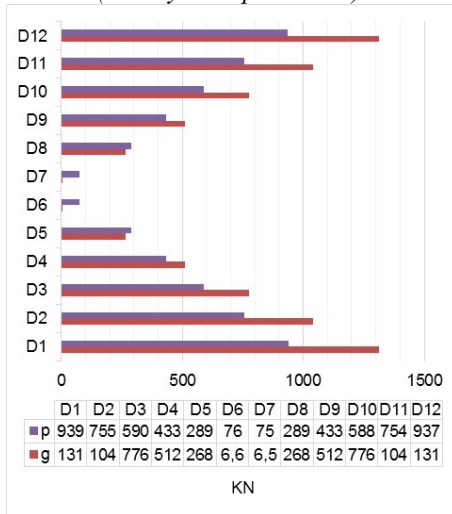
$p/g=0,80$

Доњи појас
(апсолутне вредности)



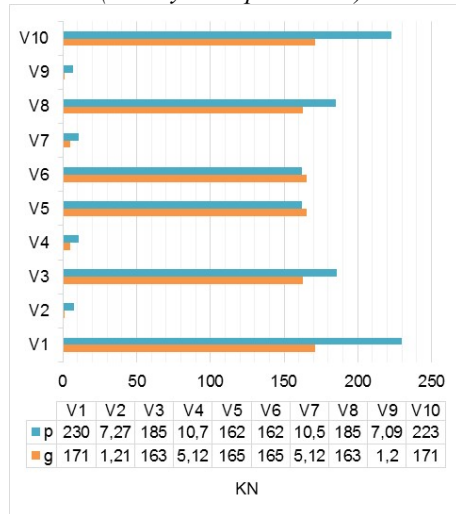
$p/g=0,71$

Дијагонале
(апсолутне вредности)



$p/g=2,61$

Вертикале
(апсолутне вредности)

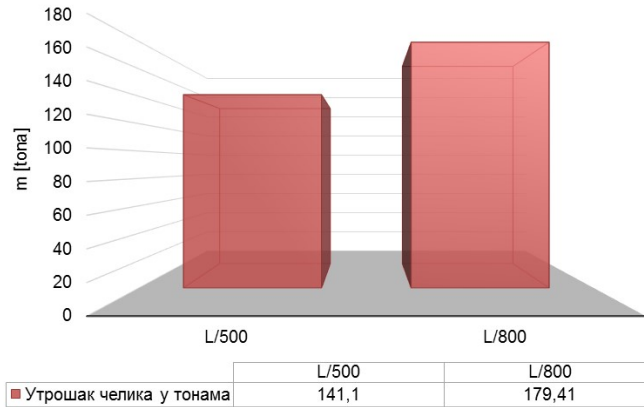


$p/g=2,29$

Укупан однос p/g налазимо аритметичком средином појединачних вредности:

$$\frac{p}{g} = \frac{1}{4} (0,80 + 0,71 + 2,61 + 2,29) = \mathbf{1,60}$$

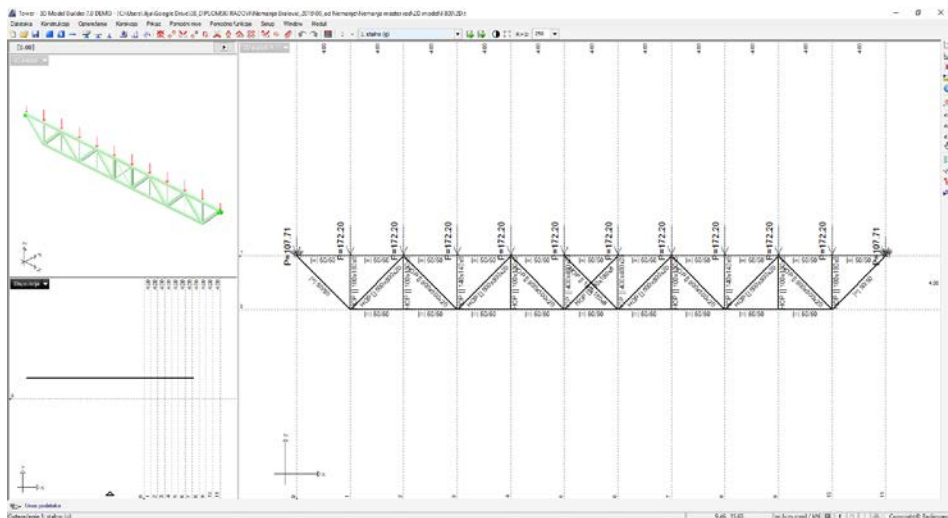
2.4. УТРОШЕНА КОЛИЧИНА МАТЕРИЈАЛА ПО ОБА КРИТЕРИЈУМА



Напомена: Да би се прешло са критеријума L/500 на L/800, потребно је повећати количину материјала за 27 %.

3. 2Д МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈЕ ДРУМСКОГ МОСТА

По спроведеној анализи третираног 3Д модела моста, приступа се симулацијама са 2Д моделом (сл. 9) како би се утврдиле њихове међусобне разлике. Претпостављени попречни пресеци елемената главног решеткастог носача у 2Д моделу су попречни пресеци штапова 3Д модела, који одговарају критеријуму употребљивости L/800.

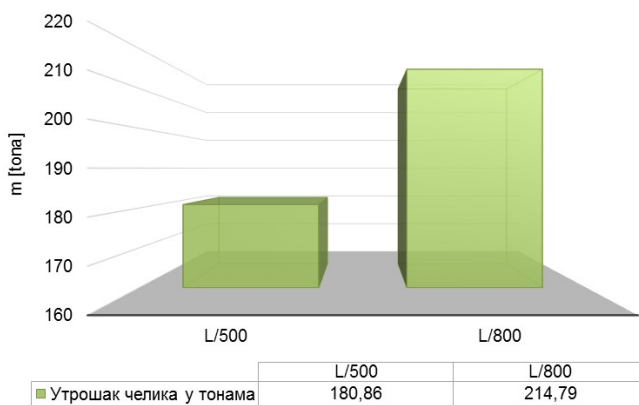


Слика 9 – 2Д модел моста „Tower“

4. АНАЛИЗА КРИТЕРИЈУМА УПОТРЕБЉИВОСТИ

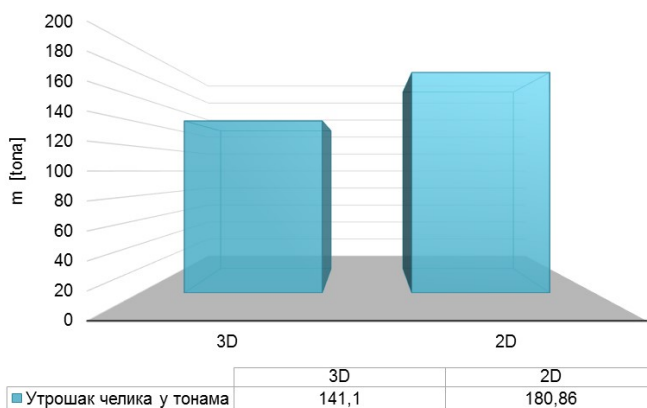
Критеријум употребљивости се контролише на основу предвиђања – ограничења вертикалног померања средине распона конструкције моста. Тако да, попречни пресеци штапова решеткастог носача усвојеног 3Д модела за критеријум употребљивости L/800, истовремено не одговарају верификацији критеријума употребљивости L/500 са 2Д моделом.

4.1. УТРОШЕНА КОЛИЧИНА МАТЕРИЈАЛА ПО ОБА КРИТЕРИЈУМА



Напомена: Да би се прешло са критеријума L/500 на критеријум L/800, потребно је повећати утрошак материјала за 19 %.

4.2. УТРОШЕНА КОЛИЧИНА МАТЕРИЈАЛА ПРИ 2Д И 3Д МОДЕЛИРАЊУ

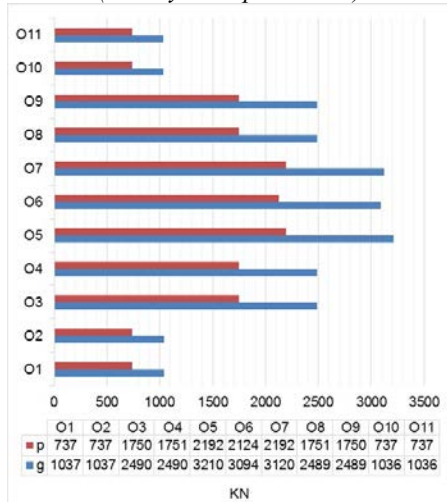


Напомена: За исти критеријум употребљивости 2Д модел има за 28 % већи утрошак материјала у односу на 3Д модел.

4.3. ПОРЕЂЕЊЕ ОДНОСА СТАЛНОГ И ПОКРЕТНОГ ОПТЕРЕЂЕЊА

Горњи појас

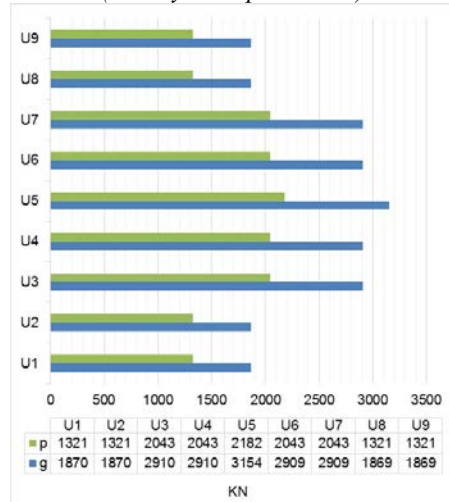
(апсолутне вредности)



p/g=0,70

Доњи појас

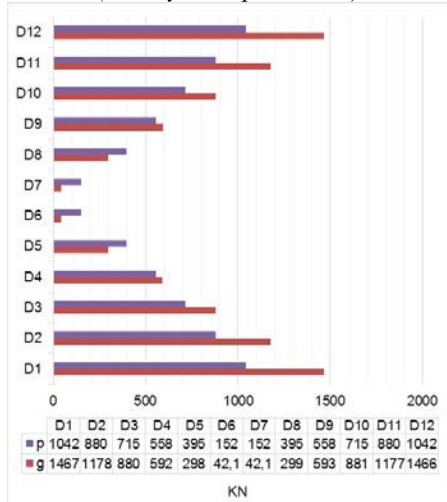
(апсолутне вредности)



p/g=0,70

Дијагонале

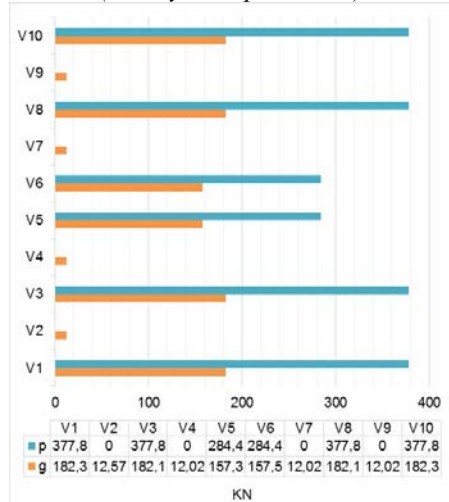
(апсолутне вредности)



p/g=1,36

Вертикале

(апсолутне вредности)



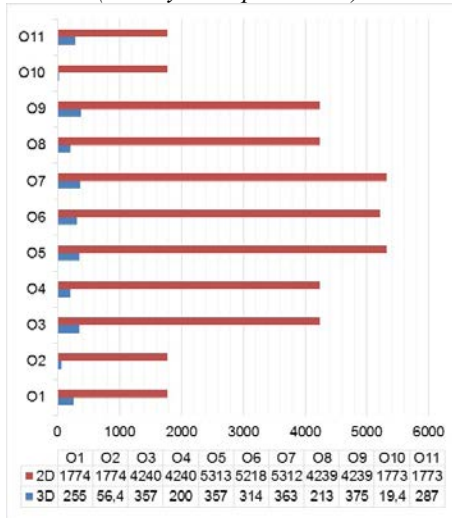
p/g=1,19

Укупан однос p/g налазимо аритметичком средином појединачних вредности:

$$\frac{p}{g} = \frac{1}{4} (0,70 + 0,70 + 1,36 + 1,19) = 0,99 \approx 1$$

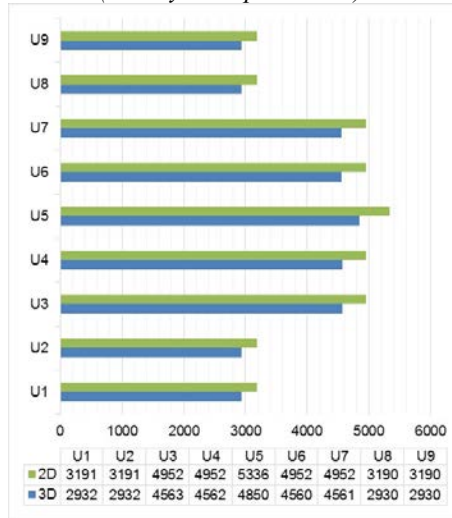
4.4. ПОРЕЂЕЊЕ СИЛА У ШТАПОВИМА 3Д И 2Д МОДЕЛА МОСТА

Горњи појас
(апсолутне вредности)



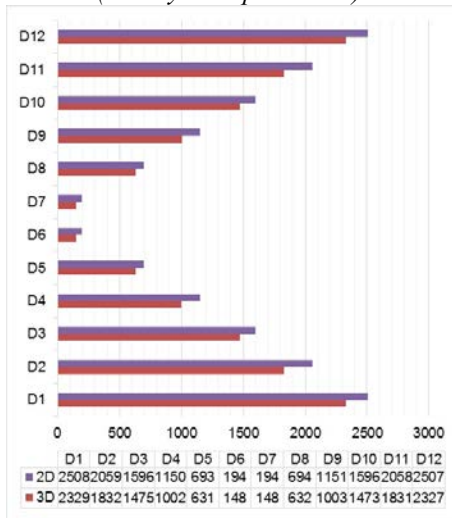
3Д/2Д=0,074

Доњи појас
(апсолутне вредности)



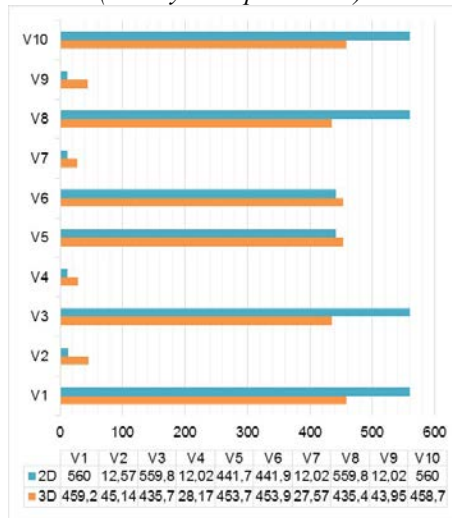
3Д/2Д=0,919

Дијагонале
(апсолутне вредности)



3Д/2Д=0,881

Вертикале
(апсолутне вредности)



3Д/2Д=1,713

На крају, укупан однос, односно успешност моделирања са 2Д или 3Д моделом је:

$$\frac{3Д}{2Д} = \frac{1}{4} (0,074 + 0,919 + 0,881 + 1,713) = \mathbf{0,90}$$

5. ЗАКЉУЧАК

На основу свега третираног у овом раду показана је како комплексност поступка моделирања и спровођења симулација, тако и значај при прорачуну конструкција у грађевинском конструкторству. Рачунарским моделирањем и спроведеним симулацијама, респектујући два национална стандарда при дејству покретног оптерећења, возила Н 25 и V600 са 3Д моделом моста закључујемо да:

- возило Н 25 изазива мање утицаје у односу на возило V600,
- утрошак челика при дејству возила V600 је већи за 3% у односу на дејство возила Н 25,
- за горњи појаса главног решеткастог носача при дејству возила Н 25 утрошак челика је већи за 16% у односу на решетку при дејству возила V600,
- за доњи појаса главног решеткастог носача при дејству возило V600 утрошак челика је већи за 45% у односу на решетку која одговара при дејству возила Н 25,
- утрошак челика за вертикале исти је при дејству оба возила,
- утрошак челика за дијагонале главног решеткастог носача који одговара дејству возила V600 је већи за 28% у односу на решеткасти носач при дејству возила Н 25,
- решетки која одговара критерију употребљивости L/500 треба повећати потрошња челика за 27%, да би се прешло на критеријум употребљивости L/800,
- однос покретног и сталног оптерећења износи $p/g=1,60$.

Рачунарским симулација са 3Д и 2Д моделом моста установљене су разлике између ова два модела, тако да:

- силе у штаповима **горњег појаса** главног решеткастог носача се драстично разликују (због непознатог степена садејства са коловозном плочом),
- силе у штаповима доњег појаса главног решеткастог носача добијене 2Д моделом веће су за 9% у односу на силе добијене 3Д моделом,
- силе у штаповима дијагонала главног решеткастог носача добијене 2Д моделом веће су за 8 % у односу на силе добијене 3Д моделом,
- решеткасти носач коришћен у 3Д моделу за критеријум употребљивости L/800, одговара критеријуму стабилности у 2Д моделу, али не одговара критеријуму употребљивости L/500,
- за критеријум употребљивости L/500 потребно је решетку из 3Д модела која одговара критеријуму употребљивости L/800 појачати, односно повећати утрошак челика за 28 %,
- за критеријум употребљивости L/800 потребно је главни решеткасти носач који одговара критеријум употребљивости L/500, појачати, односно повећати утрошак челика за 19 %.
- покретно и стално оптерећења стоје у односу $p/g=0,99\sim 1.0$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova „Službeni list SFRJ“, broj 1/91
- [2] Bralović, N.: Master rad, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, Subotica, **2016**.
- [3] Miličić, M.I., Vlajić, M.LJ.: Models of civil engineering–classification and definition, Proceedings 9th International conference DQM, June 14–15, Belgrade, Serbia, **2006**., |p.p. 98–104|.
- [4] Miličić IM, Vlajić LM, Folić RJ. Numeričko modeliranje i simulacija - eksperimentalno-teorijske analize spregnute tavanice pri statičkom dejstvu. Građevinski materijali i konstrukcije. **2008**; 51(3):51-60.
- [5] Miličić, M.I., Vlajić, M.LJ., Bešević, M.: Numerical modeling and simulation of geometrical indential store model with stability attitude criterion, INDIS-2009, 11th National and 5th International scientific meeting, Planning, Design, Construction and renewal in the civil engineering, Novi Sad, Serbia, ISBN 978-86-7892-221-3, **2009**., |p.p. 379 -388|
- [6] D. Buđevac, B. Stipanić: Čelični mostovi, Građevinska knjiga, Beograd, **1989**.
- [7] B. Zarić, D. Buđevac, B. Stipanić: Čelične konstrukcije u građevinarstvu, Građevinska knjiga, Beograd, **2002**.
- [8] N. M. Mojsilović: Betonski mostovi – priručnik za vežbanja, Naučna knjiga, Građevinski fakultet Beograd, Beograd, **1988**.
- [9] AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, Customary U.S. Units **2012**.
- [10] Radimpex, Tower 7, Program za statičku i dinamičku analizu konstrukcija upustvo za rad sa programom, **2016**.
- [11] <https://bridgecontest.org/> - **2016**.

COMPUTER MODELING OF ROAD BRIDGE FOR SIMULATION MOVING LOAD

Summary: *In this paper is shown computational modelling one span road structures truss bridge with the roadway on the upper belt of. Calculation models were treated as planar and spatial girders made up of 1D finite elements with applications for CAA: Tower and Bridge Designer 2016 (2nd Edition). The conducted computer simulations results are obtained for each comparison of the impact of moving load according to the recommendations of the two standards SRPS and AASHATO. Therefore, it is a variant of the bridge structure modeling application that provides Bridge Designer 2016 (2nd Edition) identical modeled in an environment of Tower. As important information for the selection of a computer applications point out that the application Bridge Designer 2016 (2nd Edition) we arent unable to treat the impacts moving load model under national standard - V600.*

Keywords: *road bridge, moving loads, modeling and simulation, usability criteria.*