

---

# Analýza pozdĺžneho zaťaženia kontajnera so stenami vyrobenými zo sendvičových panelov

---

## Glib Vatulia, Prof., Dr.Sc. Tech.

Zástupca riaditeľa pre vedeckú činnosť  
Národná univerzita mestskej ekonomiky O. M. Beketovova  
17 Marshala Bazhanova, 61002, Charkov, Ukrajina.  
E-mail: glib.vatulia@kname.edu.ua

## Juraj Gerlici, prof. Dr. Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215, 010 26 Žilina.  
E-mail: juraj.gerlici@fstav.uniza.sk

## Alyona Lovska, doc. Ing., Dr.Sc. Tech.

Katedra konštruovania vagónov a kvality produktov,  
Ukrajinská štátna univerzita železničnej dopravy,  
Feuerbakh sq., 7, 61050, Charkov, Ukrajina.  
Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215, 010 26 Žilina.  
E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com, Tel.: + 380 66 338 1946

## Yevhen Krasnokutskyi, Ing.

Odbor "Vedecko-výskumný a konštrukčný technologický ústav železničnej dopravy"  
Spoločnosť "Ukrajinské železnice", a.s.  
Jerzy Giedroyc str., 5, 03150, Kyjev, Ukrajina.  
E-mail: ek1520mm@gmail.com

## Analysis of the longitudinal load of a container with walls created from sandwich panels

**Abstract:** The article presents the results of determining the longitudinal dynamic load of a container of standard size 1CC with sandwich panel walls. A mathematical model was developed that takes into account the longitudinal load of a container placed on a platform wagon during a displacement collision. The use of sandwich containers as components was found to contribute 10 % to the active container design in the longitudinal plane compared to the typical design. A calculation of the strength of the container was carried out. At the same time, the maximum voltages are 18.6 % lower than permissible. Conducted research in preparation for the creation of recommendations for the design of modern modular vehicle structures and increasing the production of the transport industry.

**Keywords:** ISO container, sandwich panel, container load, container strength, container transport.

---

## ÚVOD

Zabezpečenie konkurencieschopnosti v oblasti železničného priemyslu si vyžaduje uvedenie do prevádzky vozidiel so zlepšenými prevádzkovými vlastnosťami. Kontajnerová preprava je dlhodobo jednou z najdôležitejších zložiek dopravnej infraštruktúry.

Pre zabezpečenie ďalšej efektívnosti prevádzky kontajnerovej dopravy je dôležité zavádzať nové konštrukčné riešenia pri navrhovaní kontajnerov.

Je dôležité povedať, že v prevádzkových podmienkach môže dôjsť k poškodeniu kontajnerov v dôsledku zaťaženia, ktoré na ne pôsobia počas prepravy rôznymi druhmi dopravy. Jednými z najrozhodujúcejších sú dynamické zaťaženia s

premenlivým účinkom. Takéto zaťaženie pôsobí nielen na kontajner, ale aj na náklad, ktorý je v ňom umiestnený. V dôsledku toho, že nákladu v kontajneri má svoj vlastný stupeň voľnosti, môže dôjsť k dodatočnému zaťaženiu jeho konštrukcie. Dôsledkom toho je poškodenie konštrukcie kontajnera. Táto skutočnosť si vyžaduje dodatočné náklady na udržiavanie kontajnerov v prevádzke a prevádzkyschopnom stave. Okrem toho môže ovplyvniť bezpečnosť a ekologickosť dopravy.

V tomto ohľade je dôležité uskutočniť výskum na zlepšenie konštrukcií kontajnerov s cieľom znížiť ich dynamické zaťaženie počas prevádzkových režimov.

Problematike zlepšovania nosných konštrukcií kontajnerov na zvýšenie efektívnosti ich prevádzky sa venuje značné množstvo publikácií. Zvláštnosti určovania hlavných ukazovateľov pevnosti komponentov nosnej konštrukcie kontajnera sa zvažujú v publikácii [1]. Vykonaný výskum umožnil sformulovať odporúčania pre bezpečnú prevádzku kontajnera. Autori však zároveň neskúmali zaťaženie kontajnera pri preprave po železnici, pretože jeho konštrukcia je schopná odolávať vyšším zaťaženiam.

Publikácia [2] poskytuje rozbor a vlastnosti navrhovania nosných konštrukcií ISO kontajnerov. Zvážili sa možné schémy ich zaťaženia v prevádzke. Hodnotila sa odolnosť konštrukcie proti pôsobeniu vonkajších zaťažení. Autori ale zároveň nenavrhlí riešenia zamerané na zlepšenie pevnosti konštrukcie.

Analýza dynamického zaťaženia kontajnera umiestneného na plošinovom vozni je vykonaná v práci [3]. Počíta sa s posunom plošinového vozňa naloženého 20-stopovými kontajnermi. Autori navrhli technické riešenia na zníženie dynamického zaťaženia kontajnerov aj plošinových vozňov zavedením pružných väzieb do ich nosných konštrukcií. Zároveň autori nezohľadnili vplyv navrhovaných riešení na pevnosť stien kontajnera.

Práca [4] zdôrazňuje vlastnosti vytvorenia vylepšeného kontajnera na prepravu potravinárskych produktov (napr. ovocia a zeleniny). Uvádžajú sa hlavné požiadavky na navrhovanú nosnú konštrukciu kontajnera. V práci sú uvedené aj výsledky výpočtu pevnosti kontajnera pre hlavné prevádzkové zaťaženia. Je potrebné poznamenať, že pri navrhovaní tohto konštrukčného riešenia kontajnera autori nenavrhlí riešenia na zlepšenie jeho pevnosti počas prevádzkových režimov, najmä počas prepravy po železnici.

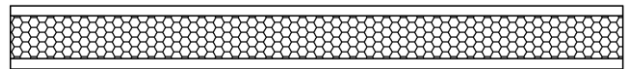
Pre zníženie zaťaženia skriň železničných vozidiel je možné v ich komponentoch použiť sendvičové panely. Napríklad v [5] je zdôvodnené použitie takýchto panelov na nákladnom vagóne. Autori naznačujú, že takéto vylepšenia sa dajú robiť nielen pri výrobe vozidiel, ale aj pri ich modernizácii. Podobné riešenie je navrhnuté v [6]. Autorský

kollektív zároveň zamerlal pozornosť na zlepšenie ukazovateľov spoľahlivosti nosných konštrukcií vozidiel zavedením kompozitných panelov. Bolo dokázané, že použitie takýchto panelov zlepšuje odolnosť skriň koľajových vozidiel voči zaťaženiu. Treba povedať, že tieto práce neskúmali dynamické zaťaženie stien vozňov vyrobených zo sendvičových panelov počas prevádzkových režimov. Nebrala sa do úvahy ani realizovateľnosť zavedenia sendvičových panelov na modulárne vozidlá, najmä kontajnery.

Z analýzy literárnych zdrojov vyplýva, že otázka vylepšovania kontajnerov na zvýšenie efektívnosti ich prevádzky je pomerne aktuálna. Zároveň nebola venovaná náležitá pozornosť zvyšovaniu ich pevnosti zavedením sendvičových panelov do nosných konštrukcií.

## 1 METODOLÓGIA

Pre zabezpečenie pevnosti nosnej konštrukcie kontajnera sa navrhuje vyrobiť jeho čelné a bočné steny vo forme sendvičových panelov (obr. 1).

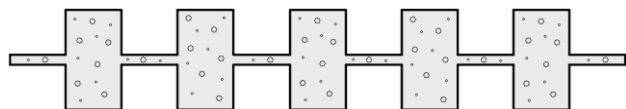


Obr. 1. Rez sendvičového panelu

Na určenie hrúbky plechov, ktoré tvoria sendvičový panel, sa vykonali príslušné výpočty pomocou *Bubnov-Galyorkinovej* metódy. Súčasne boli plechy pre každý úsek uvažované ako tenkostenné dosky so šírkou 2 m, výškou 2,6 m a hrúbkou 1,6 mm.

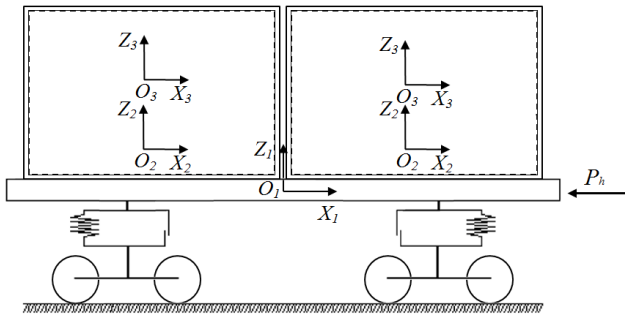
Na základe výpočtov sa zvolilo opláštenie z plechových panelov s hrúbkou 1,5 mm a hrúbka výplne, ktorá je medzi panelmi, je 33 mm.

Na zvýšenie pevnosti sendvičového panelu je vhodné vyrobiť plechy použiť plechy vyrobené s pravouhlým zvlnením (obr. 2). Toto rozhodnutie je odôvodnené skutočnosťou, že plech s pravouhlou konfiguráciou zvlnenia má väčší prierezový modul v porovnaní s inými variantmi jeho vyhotovenia. Parametre zvlnenia je možné zvoliť na základe momentu zotrvačnosti, resp. prierezového modulu odporu časti plechu.



Obr. 2. Rez sendvičového panelu vyrobeného z vlnitých plechov

Na určenie elasticko-viskózných charakteristík sendvičovej panelovej výplne sa vykonalo matematické modelovanie dynamického zaťaženia kontajnera umiestneného na plošinovom vozni a simuloval sa dynamický stav, ktorý zodpovedá nárazu vozňov pri posunovaní (obr. 3).



Obr. 3. Výpočtová schéma plošinového vozňa naloženého kontajnermi

Na tento účel bol vytvorený matematický model (1):

$$\begin{cases} M_v \cdot \ddot{q}_1 = P_h - \sum_{i=1}^n F_{tr} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2), \\ M_n \cdot \ddot{q}_2 = F_{tr} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C \cdot (q_2 - q_3) + \\ + \beta \cdot (\dot{q}_2 - \dot{q}_3), \\ M_{nac} \cdot \ddot{q}_3 = C \cdot (q_2 - q_3) + \beta \cdot (\dot{q}_2 - \dot{q}_3), \end{cases} \quad (1)$$

kde  $M_v$  [t] - celková hmotnosť plošinového vozňa,

$P_h$  [kN] - hodnota pozdĺžnej sily pôsobiacej na automatické spriahadlo (3500 kN [7]),

$n$  - počet kontajnerov umiestnených na plošinovom vozni,

$F_{tr}$  [kN] - sila trenia medzi dorazmi kovania a kovaniami,

$M_n$  [t] - hmotnosť kontajnera,

$M_{nac}$  [t] - hmotnosť nákladu,

$C$  [kN·m<sup>-1</sup>] - tuhosť plniva,

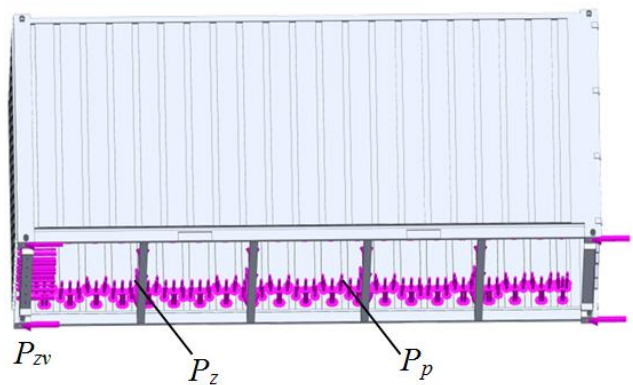
$\beta$  [kN·s·m<sup>-1</sup>] - koeficient viskózneho tlmenia plniva,

$q_1, q_2, q_3$  - súradnice určujúce pohyb plošinového vozňa kontajnera resp. nákladu vzhľadom na pozdĺžnu os.

Vypočítané zrýchlenie bolo brané do úvahy pri určovaní pevnosti kontajnera. Zároveň sa používa metóda konečných prvkov, ktorá je implementovaná v *SolidWorks Simulation*. Výpočtová schéma kontajnera je znázornená na obr. 4.

Pri zostavovaní výpočtovej schémy sa berie do úvahy, že nosná konštrukcia kontajnera je vystavená zvislému zaťaženiu  $P_z$  [kN], berúc do úvahy využitie plnej nosnosti kontajnera, pozdĺžnu silu  $P_{zv}$  [kN] pôsobiacu na armatúry, ako aj tlak rozpínania sypkého nákladu  $P_p$  [kPa] (obilia) na bočné a koncové steny. Tlak rozpery hromadného nákladu sa vypočíta podľa metódy uvedenej v [8, 9].

Pri vytváraní modelu konečných prvkov kontajnera boli použité štvorsteny. Optimálny počet prvkov je určený kombináciou grafickej a analytickej metódy. Počet uzlov MKP siete bol 71701 a počet prvkov 223937. Maximálna veľkosť prvku je 80 mm, minimálna je 16 mm. Minimálny počet prvkov bol 9, pomer nárastu veľkosti prvkov v sieti bol 1,7.

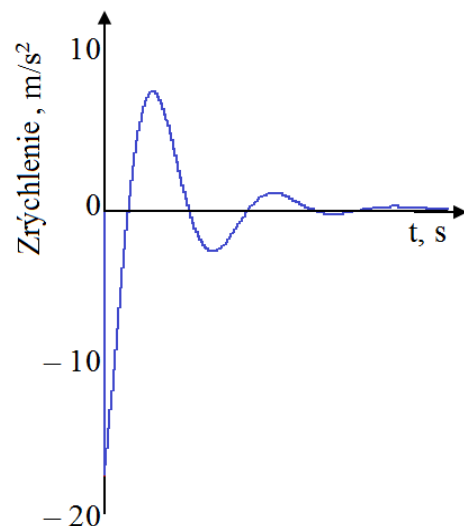


Obr. 4. Schéma výpočtu konštrukcie kontajnera

Upevnenie modelu bolo vykonané pomocou kovania. Konštrukčný materiál je oceľ 09G2S. Penový hliník sa používa ako materiál absorbujúci energiu, ako jeden z najbežnejších typov materiálov absorbujúcich energiu používaných v modernom strojárstve [10].

## 2 VÝSLEDKY

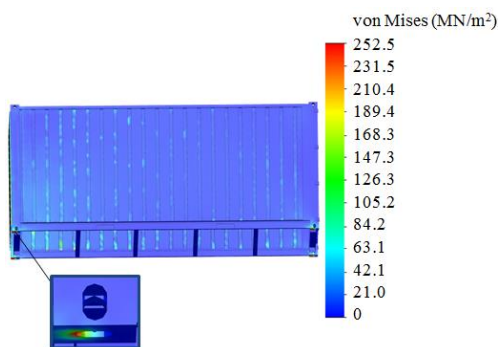
Na základe výpočtov pozdĺžneho dynamického zaťaženia kontajnera sa zistilo, že maximálne zrýchlenia nastávajú v počiatočnom momente dynamického procesu a sú okolo 18 m·s<sup>-2</sup> (obr. 5), ktoré neprekračujú prípustné hodnoty. Súčasne sa hodnota koeficientu tuhosti plniva rovná 27 kN·m<sup>-1</sup> a koeficient viskózneho tlmenia je 35 kN·s·m<sup>-1</sup>. Tieto parametre sú určené postupným výberom za predpokladu, že zrýchlenia sú v rámci prípustných hodnôt.



Obr. 5. Zrýchlenia, ktoré pôsobia na kontajner pri manévrovacej zrážke

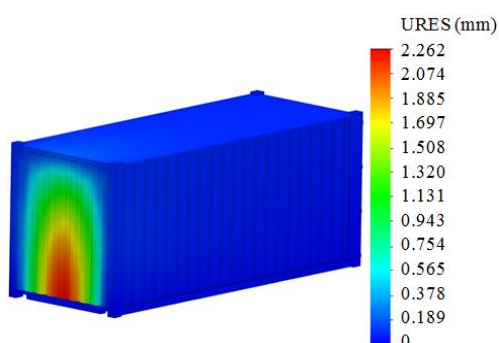
Výsledná hodnota zrýchlenia je o 10 % nižšia ako pri typickom dizajne kontajnera.

Výsledky výpočtov pevnosti kontajnera ukázali, že maximálne napätia sa vyskytujú v armatúrach kontajnera a sú 252,5 MPa (obr. 6), čo je o 14,7 % menej ako prípustná úroveň. Ako prípustné sa akceptuje napätie 310,5 MPa [7].



Obr. 6. Namáhaný stav konštrukcie kontajnera

Maximálne posuny boli zaznamenané v spodnej časti čelnej steny kontajnera a boli 2,3 mm (obr. 7).



Obr. 7. Pohyb v uzloch kontajnera

## ZÁVER

Uskutočnilo sa modelovanie pozdĺžneho dynamického zaťaženia kontajnera štandardnej veľkosti ICC so sendvičovými panelovými stenami. Maximálne zrýchlenia kontajnera umiestneného na plošinovom vozni pri posunovacej zrážke sú cca  $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Výsledná hodnota zrýchlenia je o 10 % nižšia ako pri typickom dizajne kontajnera.

Uskutočnilo sa stanovenie pevnosti kontajnera so stenami zo sendvičových panelov pri pozdĺžnom zaťažení jeho konštrukcie. Súčasne sa v armatúrach kontajnerov vyskytujú maximálne napätia a dosahujú hodnotu 252,5 MPa, čo je o 18,6 % menej ako prípustná úroveň. Maximálne posuny boli 2,3 mm a boli zaznamenané v spodnej časti koncovkej steny kontajnera.

Realizovaný výskum prispeje k vytvoreniu odporúčaní pre návrh moderných konštrukcií modulárnych vozidiel a zvýši efektivitu dopravného priemyslu.

## Pod'akovanie

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA

031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

## REFERENCES

- [1] RZECZYCKI, A. - WISNICKI, B. (2016): *Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load*. *Solid State Phenomena*, 252, pp. 81–90.
- [2] GIRIUNAS, K. - SEZEN, H. - DUPAIX, R.B. (2012). *Evaluation, modeling, and analysis of shipping containerbuilding structures*. *Eng. Structures*, 43, pp. 48–57.
- [3] FOMIN, O. - GERLICI, J. - VATULIA G. LOVSKA A. - KRAVCHENKO K. (2021): *Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes*. *Applied Science*, 11, 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
- [4] IBRAGIMOV, N. N. - RAKHIMOV, R. V. - KHADZHIMUKHAMEDOVA, M. A. (2015). *Development of a container design for transportation of fruits and vegetables*. *Young scientist*, 21(101), pp. 168–173.
- [5] CHUAN-JIN, O. U. - BING-TAO, I. I. (2020): *Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China*. *E3S Web of Conferences*, 145. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014>
- [6] WRÓBEL, A. PŁACZEK, M. BUCHACZ, A. (2017): *An Endurance Test of Composite Panels*. *Solid State Phenomena*, 260, pp. 241–248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.260.241>
- [7] DSTU 7598:2014. *Vantage carriages. For the first time to rebuild and design new and modernized cars with a gauge of 1520 mm (non-self-propelled)*. Kiev, 2015. 250 p.
- [8] ZEMLEZIN, I. N. (1965): *On the assessment of loads of expansion of bulk cargoes in the conditions of transportation of wagons on sea ferries*. Collection "Research of the dynamics of cars" Proceedings of the Central Research Institute of the Ministry of Railways, Vol. 307, pp. 37-63.
- [9] LOVSKA A. A. (2014): *Determination of the efforts of the bulk cargo spacer on the walls of the gondola car body during transportation by rail ferry*. Collection of scientific papers of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, 143, pp. 54-57.
- [10] FOMIN, O. - GERLICI, J. - GORBUNOV, M. - VATULIA, G. - LOVSKA, A. - KRAVCHENKO K. (2021): *Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam*. *Materials*, 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>.