https://doi.org/10.70750/GEP.2026.3-4.26

GÖRGŐKÁROSODÁS HATÁSA A SZÁLLÍTÓSZALAG ÉS EGY PÁLYÁT TARTÓ RÁCSOS HÍDVÁZ VIZSGÁLATÁNÁL

EFFECTS OF DAMAGED STEEL-CASE ROLLERS ON THE DESIGN OF THE CONVEYOR BELT AND TRUSS BRIDGE STRUCTURE

Dr. Szirbik Sándor[*], *Dr. Virág Zoltán*[**]

ABSTRACT

This paper deals with effects of damaged steel-case rollers on a 3D bridge frame subjected to loadings due to the moving belt resting on conveyor idler sets roll, the underlying conveyor belt support frame, and the transported materials contained corrosive material to be moved during full-capacity transport. To design a conveyor belt, data on conveyor bridges is required, as well as calculations for resistances. The driving force on driving pulleys consists of many force components; however, some of them are required to make experimental measurements, such as for rotational resistances. Comparative tests were used on two same pieces of roller. The research objects were idlers, used in conveyor belt systems for bulk transportation. Measurement campaigns were conducted in phosphoric acid baths to save time. Neglecting maintenance can lead to breakdowns, causing unplanned downtime and productivity loss. Regular checks and repairs keep the system running smoothly and prevent costly interruptions.

1. BEVEZETÉS

Szállítószalag minden olyan berendezés, amelyen az anyag mozgatására végtelenített, hajlékony mozgó heveder szolgál. A szállítandó anyag a mozgó hevederen fekszik és azzal együtt mozog, így az anyag nem csúszik a szállítópályán, hanem hozzátapad és követi a heveder mozgását. Legszélesebb körben a gumihevederes szállítószalagokat ömlesztett, darabos anyagok vízszintes és ferde szállítására használják. A szállítószalagpályák hevedereinek görgőkön történő vezetésének megtervezésekor többféle szempontnak kell egyszerre megfelelni. Ehhez kapcsolódó mérnöki feladat lehet a pályákat tartó hídvázszerkezet méretezése vagy utólagos ellenőrzése. Feladat lehet még az esetleg már meglévő tartó valamilyen formában történő újrahasznosítása is, mely során a teherbíráson túlmenően a korábban másra méretezett alkotórészek hosszabb távú alkalmazhatóságának kérdése, például más jellegű, a korábban tervezettől eltérő állagú, kémhatású anyagok ömlesztett anyagszállítása során fellépő egyéb hatások vizsgálata a szerkezeti elemekre. Egy, korábban már használt és többször is radikálisan átalakított szerkezet hagyományos szilárdságtani számításokkal, azaz a nyomott rudak kihajlásának ellenőrzésével az [1] munka már foglalkozott, amelyben síkbeli rácsos tartóként, egyszerűsítve kezelt, bár végeselemes számításokból nyert terhelési paramétereket felhasználva, mégis döntően kézi számítások útján végzett ellenőrzés figyelembe vette a szállított anyag sűrűségének, keresztmetszetének megváltozásaiból adódó többlet terheléseket. A [2] munka az előző munkákban is vizsgált hídszerkezetre, mint térbeli vázszerkezetre, tisztán szimulációs eszközökkel, konkrétan végeselemes megközelítéssel, tovább vizsgálta a már valósághűbb terhelési viszonyok előírása mellett a kialakuló szilárdságtani állapotot. A modellezett térbeli rácsos szerkezeten pedig modal analízist [3] is végezve sajátfrekvenciákat határozott meg, a szalagpályán mozgatott anyagmennyiségből rácsvázon adott pontokban szétosztott koncentrált erővektorok által megvalósított, leterhelt állapotban lévő hídvázon. A frekvenciaszámítás jelentősége a pálya működése során gerjesztésnek kitett szerkezeten a gerjesztési frekvenciával egybeeső sajátfrekvenciák okozta probléma, a rezonanciakatasztrófa megelőzésében van. A sajátfrekvenciákhoz tartozó rezgésképek pedig felhasználhatóak a különféle dinamikus terhelések szerkezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatában is, mint például tranziens rezgések elemzése stb. A rezonanciakatasztrófa lehetséges veszélyei miatt különféle ipari területeken végeznek is erre vonatkozóan vizsgálatokat, pl. bányákban alkalmazott kotrógépeknél és szállítószalagoknál [4, 5, 6]. A szerkezetek károsodásai, vagy a tervezett paraméterektől eltérő célokra történő alkalmazásai a sajátfrekvenciák olyan változását eredményezik, amely kedvezőtlen lehet. A szerkezetek sajátfrekvenciáinak ismerete ezen hatások kézbentartásának legfontosabb része. A hídváz szerkezetet alkotó karcsú rudak jellegükből adódóan

* *egyetemi docens, Miskolci Egyetem Műszaki Mechanikai Intézet*
** *egyetemi docens, Miskolci Egyetem Bányászat és Energia Intézet*

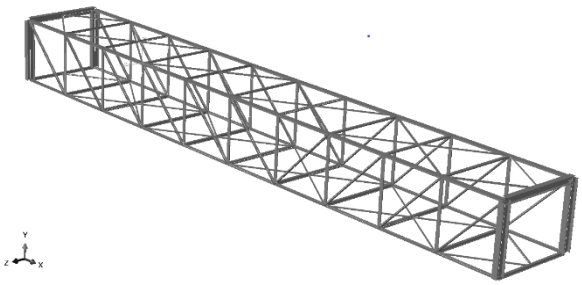
alacsony sajátfrekvenciával bírnak, így a könnyen gerjeszthető szerkezet rendszeres felügyeletet kíván, amelyet alapvetően szemrevételezés útján végeznek.

A rácsos hídszerkezet a beépített szállítószalag vázelemekkel együtt már a heveder mozgásából, az anyag ráhordásból származó transzverzális rezgéseknek is kitett, de idővel a szállítószalag görgők károsodásából és tönkremeneteléből származó hatások is befolyásolnak gerjesztési frekvenciákat. Jelen munkában a gerjesztéseket is befolyásoló ellenállások közül a görgők forgási ellenállásának hatását vizsgáljuk meg feltételezve azt, hogy bizonyos szállított anyagok érintkezés útján erősen korrodálhatják a szalagpálya alkatrészeit, amelyek közül a szállítószalag görgőire gyakorolt káros hatás váratlan üzemzavarokat is okozhat. Kísérleti úton meghatározható az elhasználódottság mértékét adó, a görgők külső acélpalástjának körbeforgathatóságát leíró, palástkerületen mérhető kerületi erő nagysága a vonatkozó sorozatmérésekkel. A hevedert tartó és terelő görgőkben ébredő ellenállások a szalagpálya mozgatáshoz szükséges motorteljesítményen keresztül befolyásolják a motorfrekvenciát, így a pályatartó hídszerkezet gerjesztéseit.

2. RÁCSOS VÁZSZERKEZET KIALAKÍTÁSA ÉS EGYES REZGÉSTANI JELLEMZŐI

A vizsgált görgő egy olyan alapvető szerkezeti elem, amely a szállítószalag vezetését és megtámasztását biztosítja és így nagy számban kerül az egyes szalagpályákon felhasználásra. A szállítópályákat tartó görgősorok tengelyei rögzülnek a vázszerkezethez. Maga a váz többször is felhasználásra kerülhet jellemzően eltérő anyagok elszállításának lebonyolításában, illetve a szállítópályák szintbéli találkozásának elkerülésében. Egy ilyen térbeli rácsos szerkezet többszöri átépítés és megerősítés után nyerte el az általunk is vizsgált alakját, amely a fejlesztések során aszimmetrikus kialakításúvá vált. A 23 m hosszúságú, 3 m széles és 2,3 m magas főbb méretekkel bíró szerkezet geometriai modellje tíz azonos hosszúságú cellából áll. Ezekben az átlós irányú kereszttartók beépítésének iránya egymásra merőleges, viszont a cellák elrendezése nem szimmetrikus, mint ahogy az az esetek többségében megszokott, így hat cellában azonos, míg a másik négyen ellentétes a keresztmerevítők állása, mint az kivehető a 1. ábrán is. A szerkezeten alul- felül ún. szélfogórácsok láthatók.

A szalaghíd (1. ábra) mindkét végén, a jelentős mértékben megerősített kapuk a többi elemhez képest jóval masszívabb I gerendákból állnak. A [2] számításokból kiderül, hogy a szerkezet állékonyságát alapvetően javítják, előnyösek mind szilárdságtani, mind rezgéstani szempontból. A hossztartók néhány szakaszára a korábbi felhasználásokból adódóan merevítések kerültek, de ezeket nem modelleztük, így a hossztartók mentén a rúdelemek azonos profilúak a háromdimenziós szerkezeti modellen.



1. ábra Hídszerkezet geometriai modellje

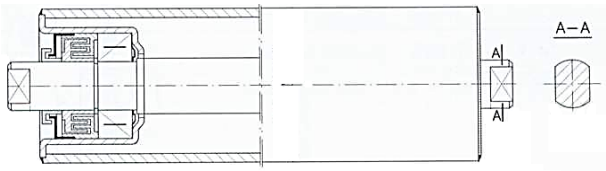
A szállítandó anyag megváltozása és a szállítópályák radikális átalakítása a szalaghíd teherbírásának, szilárdságtani ellenőrzését az [1] munka kétdimenziós modell vizsgálatán keresztül valósította meg. Az általunk is vizsgált szerkezet háromdimenziós modellje a valós szerkezetet alkotó többféle keresztmetszetű szerkezeti acél méretpontos bevitelével, illetve, ahol a profil összetett geometriával bírt, például az oszlopoknál, velük azonos geometriai jellemzőkkel bíró általános keresztmetszet felvételével készült. A vizsgált szerkezet acélanyaga az $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ MPa értékű Young modulus, a $\nu = 0{,}25$ Poisson-szám, valamint a $\rho = 7{,}85 \cdot 10^{-9}$ t / mm^3 sűrűségi anyagparaméterekkel jól leírható.

A hídszerkezetre telepített szállítószalagpálya üzemeltetésbiztonságának előzetes ellenőrzése során végeselemes számítások alapján végzett rezgéstani vizsgálatokkal [2] megállapítottuk, hogy az előfeszített szerkezetként számolt és állandósuló üzemből származtatott egyenletesen szétosztott terhelésekkel támadott acélszerkezet különböző terhelési eseteinél első domináns sajátfrekvenciáik között minimális eltérés található, valamint értékük 7 és 16 Hz közé esik a szállítószalagon továbbított $\rho_h = 1{,}4 \cdot 10^{-9}$ t / mm^3 halmazsűrűséggel számolt anyagra. Az adódó terhelés átrendezése a modellen a sajátfrekvenciákra minimális hatást gyakorolt, mert a 6,2 tonna tömegű hídszerkezet megerősített kapui erősen stabilizálnak, ellensúlyozva a vázat alkotó rudak karcsúságát.

A szállítószalagra szállítás közben ható terhelések méréssel [7] vagy szimulációkkal is megállapíthatók az ömlesztett szilárd anyag és a szalag megereszkedési arányai alapján [4], és ezáltal a görgőkre ható terhelésen keresztül a vázszerkezet anyagszállításból adódó terhelése is. A szállítószalag görgők állapotfelügyelete pedig már akusztikus szenzorokkal is megoldható [5].

3. SZÁLLÍTÓSZALAG GÖRGŐ FORGÁSI ELLENÁLLÁSÁNAK MÉRÉSE

Egy szállítószalag görgő kialakítás (2. ábra) a forgó külső hengeres felület és a rögzített tengelyre szerelt csapágypár paraméterei között kompromisszumot jelent, figyelembe véve a szállítószalagok által rájuk kifejtett különböző erőhatásokat.



2. ábra Egy tipikus szállítószag görgő felépítése

A görgők különösképpen elhasználódnak, ha például a szállított anyag egy savas kémhatású közeg, amely érintkezve a görgők alkatrészeivel kikezdi annak szerkezeti anyagait. A korrózió hatásai így szembetűnően is megjelennek a görgőkön: acéltengely és a ház felületén elszíneződések figyelhetők meg és a görgőtömítés is látható károsodást szenved. A savas környezet által a görgőkön okozott károsodás egy időtől erősen függő folyamat. A savas kémhatású anyag okozta károsodásokat szimulálva, a mérési idő lerövidítése érdekében a mérési sorozatot két azonos görgőn végeztük el, amelyeket az 1. és 2. táblázatok sorszámozott oszlopaiban foglalt mérések között foszforsavfürdőben tartottunk átlagosan két hétig. Az alkalmazott mérési elrendezés a $d = 89$ milliméter átmérőjű acélpalásttal rendelkező szállítószalag görgő tengelyét megforgató esztergagép által hajtott tengelyből, a palástón átvetett a vezetőgörgő külső burkolatát a helyén tartó kötélből; valamint az erőmérések elvégzéséhez szükséges mérőműszerből lett összeállítva. A mérésben a forgathatóság vizsgálatát álló palást mellett és adott fordulatszámon meghajtott görgőtengellyel végeztük, szemben a valósággal, amikor a működő szalagpálya alatt a görgőpalástok forognak az álló tengelyeken a csapágyazás segítségével. Az esztergagép által biztosított fordulatszámokat a d külső átmérő ismeretében átszámíthatjuk az alábbi táblázatok első oszlopaiban közölt kerületi sebességekre, amelyek egyúttal jellemző szállítószalag sebességek is.

1. táblázat Az első görgőn végzett mérési eredmények értékei a forgási ellenállás értékeire [N] adott palást kerületi sebességei mellett

v_p	Mérés sorszáma							
m/s	1	2	3	4	5	6	7	8
2,47	0,9	1,0	0,8	1,1	1,1	1,0	1,2	1,5
3,50	1,1	1,2	1,0	1,3	1,3	1,2	1,3	1,8
4,94	1,4	1,5	1,3	1,4	1,6	1,5	1,5	2,1

2. táblázat A második görgőn végzett mérési eredmények a forgási ellenállás értékeire [N] adott palást kerületi sebességei mellett

v_p	Mérés sorszáma							
m/s	1	2	3	4	5	6	7	8
2,47	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,1	1,5
3,50	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,4	1,6
4,94	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6	1,9

Az 1. és 2. táblázatokban közölt értékek az első pár oszlopban lassú növekedést mutatnak, de a savfürdőben történő elhelyezés vége felé - lásd utolsó oszlopok, már egyértelműen növekedve, nagymértékben meghaladják a az első oszlopokban látható kiinduló értékeket. Várható is volt, hogy a három adott v_p kerületi sebesség biztosításához annál nagyobb erő szükségeltetik, minél több időt tölt a savfürdőben a görgő. A 8. sorszámú mérési eredmények szinte már kétszeresei az induló intakt görgőre érvényes értékeknek. A méréseket két anyagában, kivitelében azonos szállítószalag görgőn párhuzamosan folytak, mégis a mérési eredmények szignifikáns eltéréseket mutatnak, így utalva a károsodási folyamatok összetettségére. Megjegyzendő, hogy a gördülési ellenállással szemben a forgatási ellenállása egy szállítószalag görgőknek nem függ a tömegtől, azaz a mérési eredmények közvetlenül felhasználhatóak a számítási képletekben.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

A hevedert mozgató hajtódobon a T meghajtó erőt úgy kell megválasztani, hogy az a szállítószalag és ezáltal a szállított anyag állandó sebességgel történő mozgatását lehetővé tegye. Az erőnek így különféle ellenállásokat kell legyőznie, melyek a szállítószalag kialakításától erősen függenek. A hajtódobon szükséges T kerületi erőnek egy része az ún.

$$T_g = T_k + T_e + T_r + T_f + T_s \qquad (1)$$

elsődleges ellenállásból származik, amely adódik a tartozékok által okozott súrlódási ellenállásokból: az általunk is mért görgő T_k forgási ellenállásból, az öv T_s csúszási ellenállásából a vezetőgörgőn, továbbá a T_e erőből, amely a görgőnek a gumiszalagba való benyomódásával kapcsolatos gördülési ellenállás leküzdésére szolgál [8], valamint a T_f erőkomponensből, amely a szállított például savas kémhatású őrölt műtrágya– nevezetesen a foszfát tartalmú anyag – 0,8 t/m³ térfogatsűrűségétől függ, és az üres szalag, egyéb terhelés stb. mozgatásához szükséges, valamint a szíj T_r hajlítási ellenállásából a görgőkészleteken. Megjelenik továbbá a szállítószalag tetszőleges pontjain koncentrálódó másodlagos ellenállás, valamint a pálya meredek szakaszain jelentkező lejtésből adódó ellenállás is [10]. Két további fontos ellenállás még a hordozó- és visszatérő görgőktől származó, a görgőcsapágyakban és tömítésekben fellépő súrlódás miatt keletkező ellenállás, valamint a heveder előrehaladásából, a görgők szállítószalagra gyakorolt nyomásából, a heveder anyagának ismétlődő hajlításából eredő ellenállás. Így a szállítószalag hajtóhengerére ható szükséges kerületi erő lépésről lépésre kiszámítható, mivel a vonatkozó súrlódási együtthatók értékei megfelelő mérésekkel meghatározhatók.

A szállítószalag állandó sebességgel történő mozgatásához a technológiai paraméterek által befolyásolt ellenállások ismeretében rendelkezésre álló, a hajtódob kerületén szükséges kerületi erő ismeretében a hevedert hajtódob hajtótengelyén leadandó szükséges elméleti motorteljesítmény kilowattban a

$$P_M = \left[\frac{Tv}{1000} + \frac{(T_w + T_b)v}{1000}\right]/\eta \qquad (2)$$

képlet alapján számítható, ahol v a szállítószalag sebesség m/s-ban, valamint a $0{,}75 \leq \eta \leq 0{,}92$ hajtómű és az átviteli mechanizmus hatásfoka. Kiegészítésül a kerületi erőhöz még a T_w szalag és hajtódob közötti hevederhajlítási ellenállás, és T_b hajtódobcsapágy ellenállás is hozzáadható. Kisebb biztonsági ráhagyással számolva az összes meghajtó erő szükséglet

$$T = CLfg\left(q_a + 2q_h + q_{gf} + q_{ga}\right) + Hq_a g \qquad (3)$$

módon is meghatározható a folyómétertömegek alapján, ahol a mellékellenállásokat a *C* korrekciós tényezővel, a pályaellenállást pedig az *f* pályaellenállási tényezővel veszik figyelembe, továbbá q_a az anyag, q_h pedig a heveder folyómétertömegét jelenti, míg q_{gf}, q_{ga} görgő forgórész folyómétertömeg alul és felül és *H* az emelési magasság. Az idő múlásával növekvő ellenállásokkal együtt változik a szükséges motorteljesítmény is, azaz egyre nagyobb nyomatékot kell biztosítani.

A hídváz szerkezetét érő gerjesztések frekvenciái a szalagot előírt sebességen mozgató hajtódob forgása alapján is előírhatók a numerikus kísérletekben. További lehetőség a mérési eredmények hasznosítására a tranziens rezgések előírása során mutatkozik, mivel közvetetten a mérési eredmények is alátámasztják, hogy a károsodásokkal együtt növekvő ellenállások mellett a szalag elakadásnak is nagyobb a valószínűsége.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A szállítószalagon mozgatott anyag elkerülhetetlenül érintkezésbe kerül a pályaelemekkel, így a görgősorokkal is. Ha a szállított anyag fokozottan korrodálja az elemeket, például savas közeg esetén, amely egyes műtrágyák gyártása és szállítása során előfordulhat, akkor a szállítószalag görgők károsodása is fokozottan jelentkezik. A feladat az általában szemrevételezéssel végzett állapotfelügyeletnél hatékonyabb módot találni a vázszerkezet és pálya károsodásainak korai észlelésére. A leállások megelőzéséhez kísérleti úton szükséges az

egyes ellenállások, többek közt görgőknél megjelenő forgatási ellenállás mértékének kimérése a tervezett, fokozott igénybevétel esetére is. A vonatozó táblázatosan közölt adatok jól mutatják a tendenciákat. Szimulációs feladatok kitűzésében, a szállítószalag mozgásából adódó tranziens terhelések szalagpályát tartó hídvázon történő megjelenésének vizsgálatakor, az általunk korábban is vizsgált szerkezet geometriai és egyes rezgéstani paraméterei már a modal analízis során előállításra kerültek, így a hajtódobbal meghajtott szalagpálya rácsszerkezetre gyakorolt időbeli változásának hatásai valósághűbben modellezhetők.

6. IRODALOM

[1] Ladányi G.: *Strength assessment of a truss bridge for belt conveyors*, Annals of the University of Petroşani, Mechanical Engineering, 19, 2018, pp. 91–96.

[2] Szirbik S., Virág Z.: *Finite element analysis of a steel bridge frame for belt conveyors*, Geosciences and Engineering, Vol. 11, No. 1, 2023, https://doi.org/10.33030/geosciences.2023.01.009

[3] Bathe K. J.: Finite Element Procedures, Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1996.

[4] Ilic D., Wheeler, C.: *Measurement and simulation of the bulk solid load on a conveyor belt during transportation*, Powder Technology, 307, 2017, pp 190-202, https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.020

[5] Wijaya, H., Rajeev, P., Gad, E., Vivekanantham, R.: *Automatic fault detection system for mining conveyor using distributed acoustic sensor*, Measurement, 187, 2022, 110330, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110330

[6] Popescu, F. D., Radu, S. M., Andras, A., Brînas, I., Marita M. O., Rebedea, N. I.: *The modal analysis, using simulation and modelling, of the boom of the ERC-1400 Bucket Wheel Excavator during operation,* Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, Vol. 63 No. 4, 2020, pp. 353-362.

[7] Klimendaa, F., Kampoa, J., Hejma, P.: *Vibration measurement of conveyor rollers*, Procedia Engineering, 136, 2016, pp. 198-203, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.197

[8] Woźniak, D.: *Laboratory tests of indentation rolling resistance of conveyor belts*, Measurement, 150, 2020, 107065, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107065

[9] Zhang, S.; Xia, X.: *Modelling and energy efficiency optimization of belt conveyors*, Appl. Energy, 88, 2011, 3061–3071, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.015

[10] Kulinowski, P.; Kasza, P., Zarzycki, J.: *Methods of Testing of Roller Rotational Resistance in Aspect of Energy Consumption of a Belt Conveyor*, Energies, 16, 2023, 26, https://doi.org/10.3390/en16010026