

Döntő fontosságú a felhasznált anyag megválasztása

Rezgéscsökkentés keresztalj-alátétekkel

A keresztalj-alátétek vagy aljpapucsek (Under Sleeper Pads – USP) gazdaságos megoldást nyújtanak a vasúti forgalom által keltett zavaró rezgések csökkentésére. Ezt a rugalmas rétegtípust használva a vágányok nemcsak egyenletesebben fekszenek, illetőleg a keresztaljak alatti hézagok is elkerülhetők, de a szerkezetben terjedő kellemetlen zajok is mérsékelhetők. Az alábbi cikk ennek a megoldásnak a hatékonyságát, illetve korlátait mutatja be részletesen.

▶ 1. A vasúti forgalomból adódó rezgések

A mozgó vonat a kerék-sín kapcsolat által mechanikai rezgéseket kelt. Ez a rezgés (emisszió) átadódik az altalajnak (transzmisszió), és gyakran zavaró hatásként érződik a vevőnél (immisszió). A lakók életminőségét ez jelentős mértékben ne-

gativán befolyásolhatja, különösen akkor, ha a rezgések a lakott helyiségekben a rezonancia miatt felerősödnek, vagy ha a szerkezetben a rezgések magasabb frekvenciájú összetevőiből zajok keletkeznek. A szerkezetben terjedő kibocsátott zaj, amely másodlagos levegőben terjedő zajként is ismert, az épületeken belül

Dr. Harald Loy

Getzner Werkstoffe GmbH,

Kutatás és Fejlesztés

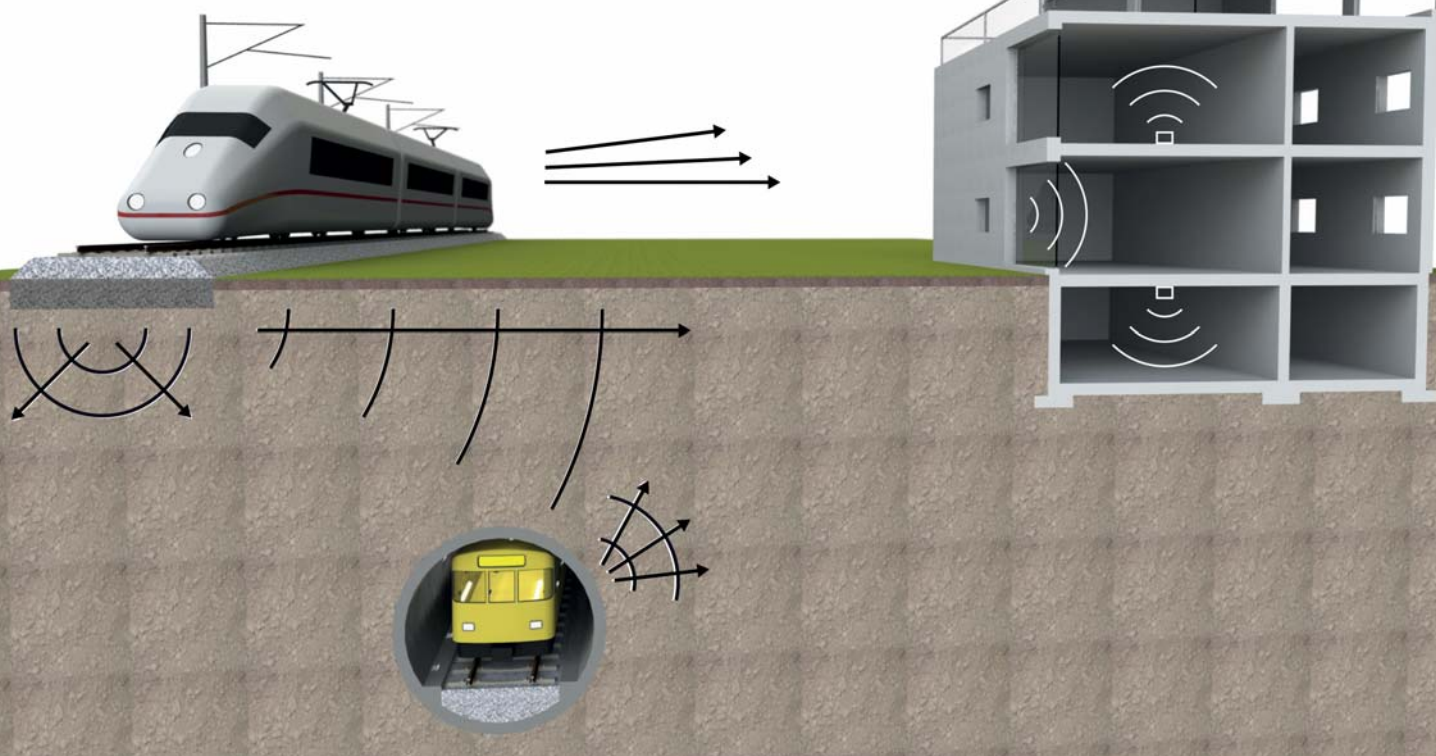
harald.loy@getzner.com

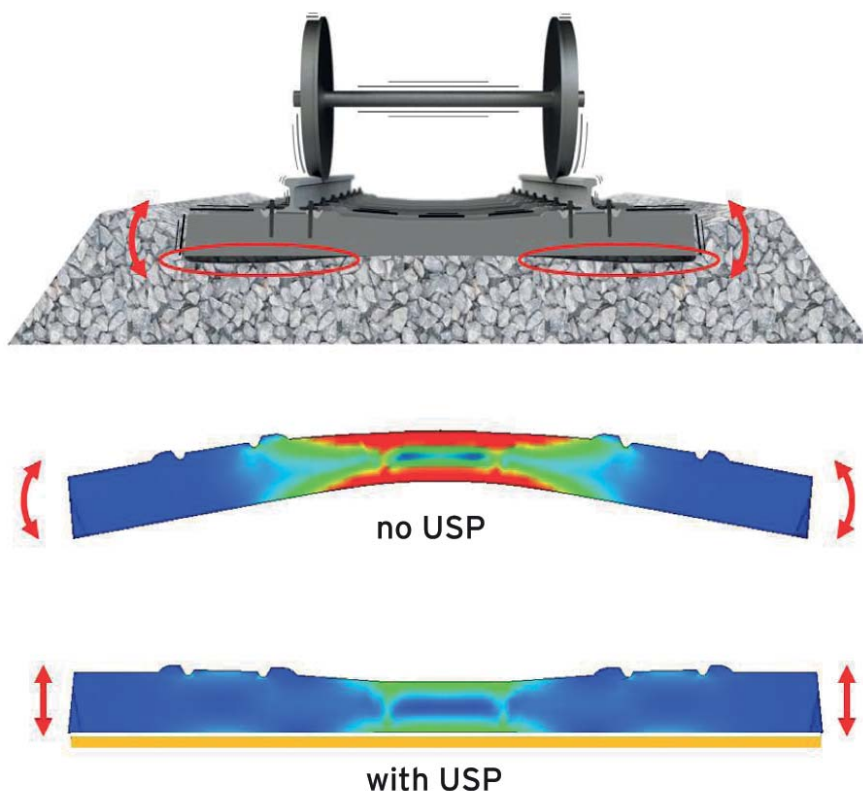


többnyire tompa dübörgésként hallható. Ezt a zajt elnyomhatja a kívül keletkező, nyitott pályaszakaszokról érkező elsődleges levegőben terjedő zaj. Az átviteli utakat az 1. ábra mutatja.

A zajok és rezgések mobilitásunk népszerűtlen zavaró mellékhatásai. Éppen ezért az életminőség fenntartása és javítása érdekében meg kell tenni a megfelelő intézkedéseket, különösen a gyorsan növekvő népességű városközpontokban. Jól ismert, hogy a zavaró rezgések csökkentésének leghatékonyabb módja, ha közvetlenül azok kibocsátási forrására koncentrálunk.

1. ábra Rezgések átvitele a vasútvonalak környezetében





2. ábra Hézag kialakulása az aljlapucss nélküli betonraljak alatt. Ezek a hézagok elkerülhetőek a keresztaljalátétekkel (USP) a betonraljak konzisztensebb behajlása miatt.

2. Felépítményi minőség mint kibocsátási paraméter

A vasúti felépítmény minőségének komoly hatása van a rezgések keletkezésére. Minél homogénebb a felépítmény, annál kisebb a teljesítmény- és paraméterterjesztés a vonat áthaladásakor. A vágány „űszik” a szokásos ágyazatos felépítményben. Az ismételt statikus és dinamikus terhelések idővel a vágánygeometria változásához vezetnek. A vágánygeometriában keletkező, ideális állapottól való eltérések a kerekek adcionális gyorsulását okozzák. Az így keletkező tömegek tovább módosítják az ágyazat minőségét. A keresztaljak alatti hézagok és a sínfelület kopása – idővel mindkettő megjelenik – fokozzák azt a folyamatot, amelynek eredményeként létrejönnek. A rendszer egyre jobban leng, ezáltal növekszik az emisszió. Ilyenkor aláveréssel és beszabályozással a felépítményt vissza kell állítani az eredeti helyzetébe.

Ennek a romlásnak az időbeli előrehaladása nagyban függ a felépítmény eredeti minőségétől [1]. Így új vágányok építésekor elsődleges célként kell biztosítani a szükséges feltételek megteremtését egy olyan felépítményhez, amely jellegénél fogva a lehető legstabilabb. Ebben az összefüggésben az egyenletesség és a rugalmasság fontos kiindulási pontok egy magas minőségű rendszer megteremtéséhez. Az elasztikus elemek megfelelő elhelyezésével a felépítmény közelebb hozható ennek a célnak az eléréséhez. Éppen ezért az USP használata megfelelő választás lehet.

3. A vágányág-geometria javítása keresztaljalátétekkel

Az utóbbi években az európai vasúti társaságok körében az USP használatát számos tényező motiválta. A legfőbb cél a vágányág-geometria javítása és az ágyazat hosszú távú védelme. Ha a betonraljak alatt rugalmas anyagot helyez-

nek el, akkor ez megakadályozza, hogy az ágyazat felé kemény legyen a csatlakozófelület. Az ágyazat legfelső rétege be tud ágyazódni a csillapító anyagba, megnövelve ezáltal az érintkezési felületet (2-8%-ról USP nélkül, 30-35%-ra USP-vel), és ezzel megelőzhető a túlzott érintkezési erők. A nagyobb ágyazati felület és az egyenletes beágyazódás a vágányág megnövekedett stabilitásához, kisebb vágánysüllyedéshez és a vágánykomponensek kisebb igénybevételéhez vezet. Az USP-vel ezek a pozitív hatások elméletileg és a gyakorlatban is igazolhatók: laboratóriumi vizsgálatok és vágánymérések mutatják, hogy az aljlapucssal ellátott keresztaljak oldalstabilitása konzisztensen nagyobb, mint a hagyományos vasbetonraljaké. Kevésbé merev elasztikus USP-vel az oldalellenállás további növekedése volt mérhető, annak eredményeképpen, hogy a kemény USP-vel összehasonlítva az előbbi esetben az ágyazati szemcsék mélyebben ágyazódnak be [2].

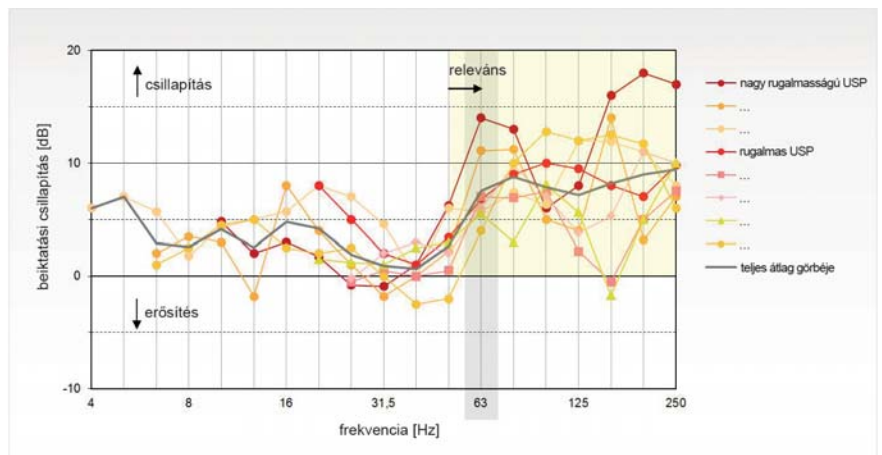
Az ágyazatos felépítményekben a hézag kialakulása szinte teljesen kiküszöbölhető, és különösen ez a tény mutatja, hogy a vasbeton aljaknak szignifikánsan jobb a helyzeti viselkedésük. Például, míg az Osztrák Szövetségi Vasútnál 10-ből 7 aljlapucss nélküli vasbetonralj esetében idővel meglehetősen nagy hézagok keletkeztek a betonraljak alsó felülete és az ágyazat között, addig a felmért vonalszakasz USP-vel ellátott részén nem volt észlelhető hézag képződése [3] (lásd még 2. ábra). A vágányág-geometria eltérése szignifikánsan kisebb az aljlapucssal ellátott szakaszokon, mint az aljlapucss nélküli szakaszokon. Ezek a tulajdonságok vezettek az USP-hez, szignifikáns javulást hozva a hagyományos ágyazatos felépítményben. Nem utolsósorban ezért lett a keresztaljaljlapucsozás az Osztrák Szövetségi Vasút hálózatában a szabványos építési mód. Jelenleg a fővonal hálózatban az USP-vel ellátott vasbetonraljakat használják szabványként az új építésű normál pályák és váltók esetében.



3. ábra Alul Sylomer® USP-vel ellátott vasbetonaljak telepítése

4. Sylomer® és Sylodyn® a rezgés-szigeteléshez

Az USP által tartósan kiváló ágyazati tulajdonsággal rendelkező vágány kisebb zajt és rezgést bocsát ki annak köszönhetően, hogy a vonatok simábban futnak. Az erősen rugalmas anyagok használatát a környezetbe kisugárzott emissziót a rezgészigetelés fizikai elvének alkalmazásával jelentősen csökkenti. A pálya felépítménybe épített rugalmas komponens hatékonysága függ a tömeg „m”, a rugómerevség „c”, és a lengéscsillapítás „D” befolyásoló változóktól. Az egy vagy több szabadságfokú rendszerek működési elve alapján egy rezgő rendszer képződik, amelynek saját frekvenciája ideális esetben jóval alacsonyabb, mint a szigetelendő gerjesztési frekvencia. A Sylomer® és Sylodyn® alapvető elasztikus komponensnek bizonyult az emissziók csökkentésében (3. ábra). A követelmények függvényében az USP szállítható erősebben vagy gyengébben hangsúlyozott csillapító komponenssel, különösen



4. ábra Mért beiktatási csillapítás különböző keresztaljátétekkel

azért, hogy elkerüljük a kiemelkedően erős csúcsokat (rezonancia) a saját frekvencia környezetében. Egy dinamikus merevséggel, amit pontosan be lehet állítani az adott alkalmazáshoz, az USP teljes kapacitása kihasználható a vágányrezgések elszigetelésében. Főszabályként megállapítható, hogy minél nagyobb a választott poliuretán (PU) anyag dinamikus hatékonysága, annál nagyobb a rezgészigetelési teljesítmény.

5. Mért beiktatási csillapítás

Az elasztikus elemek rezgéscsökkentési módját az ún. beiktatási csillapítással lehet számszerűsíteni a [4] szabvány értelmében. A beiktatási csillapítás megadja a relatív csökkentő hatást a referencia helyzettel összehasonlítva. Ez mutatja például, hogy USP használata esetén hogyan változik a szerkezetben keletkezett zaj 1/3 oktáv-sávok spektruma. Ideális esetben itt az összes többi emissziós hatás

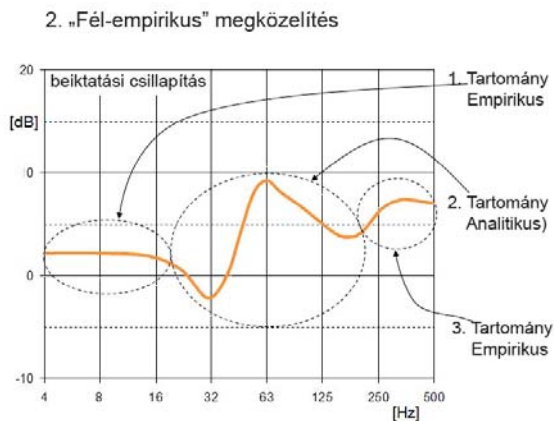
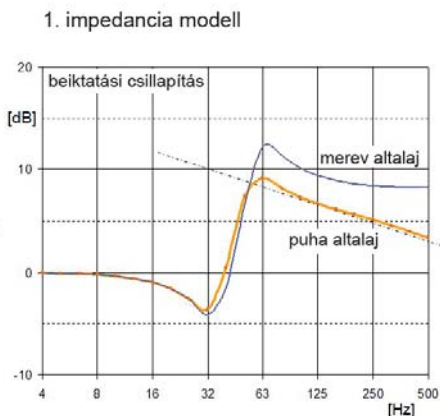
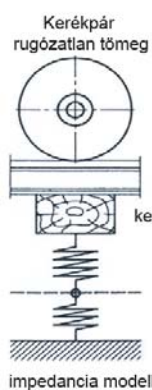
5. ábra Keresztaljátétek egy alagút ágyazatos felépítményében

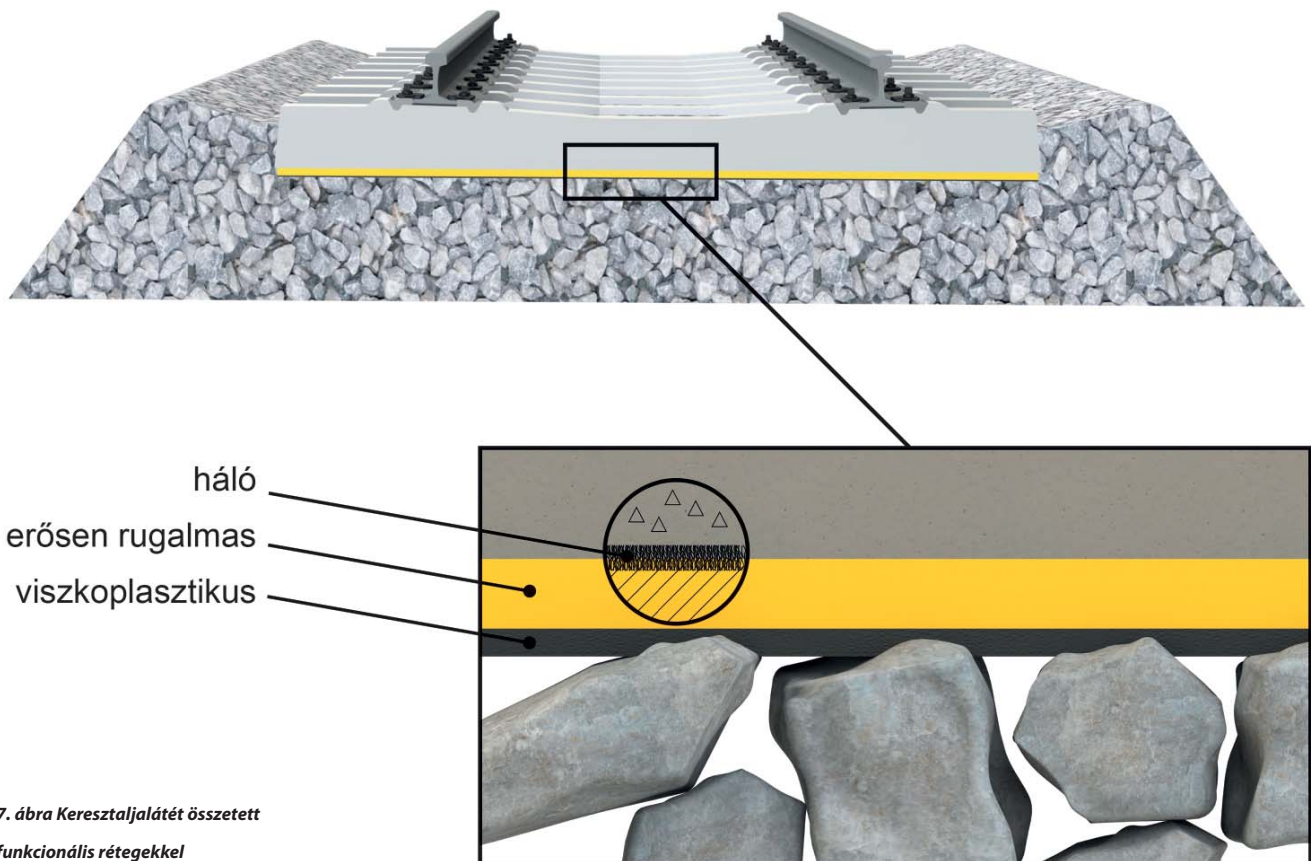


USP

állandó marad, vagyis azonos járművet, azonos sebességet, azonos sínmerevséget stb. feltételezünk. Mivel az elasztikus elem a vasúti rendszer egészét befolyásolja, ezért a frekvenciafüggő beiktatási csillapítás változhat az egyéb felépítményi tulajdonságokkal, az egyéb altalaj jellemzőkkel, vagy egyéb járműszerelvényekkel. A 4. ábra mutatja a mért beiktatási csillapítás görbéket különböző vasútvonalakon és különböző poliuretán anyagból készült USP esetén. Amint az a mért beiktatási csillapítás görbékből látható, az USP-vel ellátott felépítmény saját frekvenciája általában 30-40 Hz között van. A kibocsátott szerkezetben terjedő zaj szempontjából releváns tartományban, 50 Hz felett (a másodlagos levegőben terjedő zaj jelenti a döntési kritériumot ez esetben) a szigetelési hatékonyság kb. 4-14 dB (63 Hz) között van valamennyi USP típusnál. Normál rugalmasságú USP-vel 4-7 dB érhető el. Ezzel összehasonlítva, vannak olyan nagy rugalmasságú USP-k, amelyeket különösen a szerkezetben terjedő zajok szigetelésével kapcsolatban érdemes figyelembe venni. Ezek példászerűen demonstrálják a technológia potenciálját: egy ilyen módon akusztikailag optimalizált ágyazatos felépítményben maximum 11-14 dB rezgés-csillapítási hatékonyság érhető el (63 Hz)! Az USP ezen típusainak a teljesítményét mérések bizonyítják, amelyek je-

6. ábra Modell megközelítések a keresztaljátétek beiktatási csillapításának becsléséhez





7. ábra Keresztaljátét összetett funkcionális rétegekkel

lentősen meghaladták a várakozásokat. A könnyebb érthetőség kedvéért: 10 dB megfelel a szigetelési ráta (csillapítás) 69%-os értékének.

Az 50Hz alatti frekvenciákon alig van néhol erősítés (-1-től -3 dB-ig), míg 25 Hz alatt további 2-8 dB csillapítás mutatható ki. Ezt valószínűleg a keresztaljak ágyazatba történő jobb beágyazódása okozza (teljes beágyazódás, nincs keresztalj alatti hézagképződés).

100-160 Hz frekvenciánál keletkezik egy csökkentett hatékonyságú tartomány, amelyet a rezgésszigetelési elmélet alapján várunk (puha sínalátétek hatása). Ugyanakkor ez szinte mindig pozitív hatású (csillapítás) marad, a fenyegető erősítési hatás nélkül. A beiktatási csillapításról tett fenti megállapítások elegendőek kell, hogy legyenek annak igazolására, hogy az USP alapvetően alkalmas a rezgések és a másodlagos levegőben terjedő zajok csökkentésére. Ugyanakkor a megfelelő rendszer kiválasztása létfontosságú. Ez igaz az USP nyíltvonalon és alagútban történő alkalmazására is (5. ábra).

6. Opciók a rezgéscsökkentési teljesítmény becslésére

A vágánymérések fenti megállapításai (4. ábra) azt mutatják, hogy az USP hatása frekvenciafüggő. Az impedancia modell egy viszonylag egyszerű módszer az ilyen rezgéscsökkentési teljesítmény matematikai becslésére [4, 5, 6]. Ezt a modellt eredetileg az ágyazat szőnyegekhöz tervezték, de elvileg az USP bevonásával is használható a számításokhoz. A beiktatási csillapítás azt is kifejezi, hogy miként aránylik a rezgési amplitúdó a földben elasztikus komponensek nélkül, az elasztikus komponensek telepítésével fellépő amplitúdókhöz képest. Az elasztikus anyag rugó impedanciáján túl az altalaj lezáró impedanciáját is figyelembe veszik. Egy puhább altalajjal a >125 Hz tartományban ez tipikusan egy ereszkedő görbét okoz csökkenő hatással az 1/3 oktávos spektrumban (lásd 6. ábra: Impedancia modell – baloldali diagram). A meglévő puha sínalátétek miatt fellépő lehetséges csillapító hatás csökkenés a 100-160 Hz tartományban nem látható. Hasonlóan, a mérésekben gyakran megjele-

nő, az USP-k által feljavított vágányágy által okozott javulás a < 25 Hz tartományban nem látható.

Ahhoz, hogy a vágányban mért viselkedést egy becslési modell segítségével jobban ki lehessen fejezni, egy lehetséges megoldás lehet a „fél-empirikus” megközelítés használata. Egy részben empirikus értékeken alapuló modell, több tartományt használva, pontosabban tudja leírni a valóságot (lásd 6. ábra „Fél-empirikus” megközelítés, jobboldali diagram → 1. tartomány: eltolódás a feljavított vágányalj minőség miatt; 2. tartomány: Analitikus modell, figyelembe véve a rugalmas sínalátétek csillapító hatását, amennyiben vannak; 3. tartomány: Opcionális ereszkedő görbe, figyelembe véve pl. az altalaj által okozott csökkentő hatást). Meg kell jegyezni, hogy egy ilyen empirikus megközelítés alkalmazása bizonyos körülmények között több helyszíni mérést igényelhet annak érdekében, hogy a jövőben további pontos megállapításokat lehessen tenni az USP alkalmazási módokról rezgéscsökkentési szempontból. Ezt itt csupán

gondolatébresztőnek szánjuk, azonban nagyon valószínű, hogy az USP-vel kapcsolatos becslések pontossága az empirikus adatok felhasználásával javítható.

7. Az elsődleges levegőben terjedő zajra gyakorolt hatás

Amint a mérések kimutatták, az USP telepítésének a felépítményből kibocsátott elsődleges levegőben terjedő zajra nincs jelentős hatása. Azonban közvetlenül a telepítés után, az 50-100 Hz tartományban egy rövid idejű, maximum +5 dB mértékű növekedésre kell számítani. Ezt kiegyenlíti az elsődleges levegőben terjedő zaj -5 dB-es csökkenése a magasabb frekvenciájú tartományokban, 100 Hz fölött [7]. Ebben az összehasonlításban általában egy új, USP nélküli pályát használnak referenciaként. Mindig szem előtt kell tartani, hogy a vágányág sokkal gyorsabban romlik le egy USP nélküli vágányban, míg helyi egyedi hibák (pl. keresztalj alatti hézagok) és/vagy sínfelületi hibák (pl. sínfelület kagylósodás a szűk ívek belső sínszállán) szintén megjelennek. Az ilyen vágányminőség romlások a levegőben terjedő zajok erőteljes növekedését okozhatják. Például a rövid periódusú sínkagylósodásos felületű sínek több mint +15 dB zajszintemelkedést okozhatnak, ha vonat halad át rajtuk. Az USP-vel felszerelt vágányok igazolták a javított hosszú távú minőséget. Ennek megfelelően a rövid távú közvetlen hatás az elsődleges levegő-

ben terjedő zajra elhanyagolhatónak tűnik. Mindazonáltal ebben a témában még további méréseket kell végezni.

8. Műszakilag tökéletesített aljapucscok

Napjainkban, a főképp a vágányág geometriájának javítására és az ágyazatromlás megelőzésre használt USP-k egy ellenálló, ún. viszkoplasztikus (képlékeny) tulajdonságú anyagból készülnek, amely lehetővé teszi az ágyazatszemek tökéletes beágyazódását. Másrészt a rezgésszigetelésre használt USP egy puhább, dinamikusan nagyon rugalmas anyagot igényel alacsony lengéscsillapítási tulajdonságokkal. A cikkben szereplő magyarázatok rámutatnak, hogy a hatékony rezgésvédelemhez mindkét megközelítés szükséges. Éppen ezért a zavaró rezgések megjelenésének csökkentésére különböző anyagok kombinációja használható egy stabil és biztonságos vágányág geometria segítségével, míg a rezgésszigetelés fizikai elvének alkalmazásával a rezgések kibocsátását szintén csökkentik. A 7. ábra egy szendvics elrendezésű USP-t mutat több funkcionális réteggel. A puha és akusztikailag nagyon hatásos, Sylodyn®-ből készült elasztikus réteg védelmet nyújtva ágyazódik be egy érintkező médium ("mechanikai tapadó" háló) - a betonalj irányában-, valamint egy viszkoplasztikus réteg - az ágyazat irányában - közé. A funkciók ilyen jellegű szétválasztása

több szempontból is előnyös, valamint biztosítja a megfelelőséget az összetett követelményeknek.

Összegzés

A közlekedő vonatok mechanikai rezgéseket keltenek, amelyek a talajon át szerkezetben terjedő zajként, vagy levegőben terjedő zajként sugárzódnak ki. A jelenlegi ismeretek szerint a Sylomer® vagy Sylodyn® anyagból készült USP felhasználható a szerkezetben terjedő zajok szempontjából releváns frekvenciatartományban a rezgések több mint 10 dB-es csökkentésére. Az elsődleges levegőben terjedő zajokra szignifikáns hatásuk nem kimutatható. Tehát ha rezgéscsökkentésről van szó, a műszakilag optimalizált USP gazdaságos javítást jelent a hagyományos vágányfelépítményben. Az USP-hez felhasznált anyag megválasztása döntő fontosságú. Az eddigi megállapítások alapján még nem lehetséges az általánosítás. Ebben a témában további kutatás szükséges.

Dr. Harald Loy

Felhasznált irodalom

- [1] Veit, P.; Marschnig, S.: Towards a more sustainable track. *Railway Gazette International*, January 2011, p. 42-44
- [2] Iliev, D.: Evaluations of sleepers equipped with USP – Elasticity, contact stresses and lateral resistance. *Getzner Bahnfachtagung Schwarzenberg / Vorarlberg 19.* – 21.10.2011
- [3] Auer, F.: The influence of elastic components on the track behaviour. *ÖVG Tagung Salzburg, Volume 104*, p. 53-55
- [4] DIN V 45673-4 (2008-07): Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 4: Analytical evaluation of insertion loss of mounted track systems
- [5] Wettschreck, R. G.; Kurze, U. J.: Einfügungsdämm-Maß von Unterschottermatten. *ACUSTICA*, 58, 1985, p. 177-182
- [6] Müller, G.; Möser, M.: *Taschenbuch der Technischen Akustik*. 3. edition, 2003, p. 545
- [7] Behr, W.: Innovation Project LZarG (silent train on real tracks) – Effect of different USP in real tracks. *Getzner Bahnfachtagung Schwarzenberg / Vorarlberg 19.* – 21.10.2011

