

Technické a ekonomické súvislosti používania podpodvalových podložiek

Autori: Dipl.-Ing. Florian Auer, Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Schilder,

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Veit, Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig

Obsah

Obsah	2
Časť 1. Dlhodobé skúsenosti v sieti ÖBB.....	3
Anotácia	3
1 Úvod	3
2 Prvky trate klasickej konštrukcie	4
2.1 Koľajnica	4
2.2 Upevnenie koľajnice.....	5
2.3 Podval.....	6
2.4 Štrkové koľajové lôžko	7
2.5 Železničný spodok, zemná pláň a odvodnenie	7
3 Potreba údržby trate klasickej konštrukcie.....	8
3.1 Tvorba vlnkovitosti	8
3.2 Opootrebovanie podložiek pod päť koľajnice.....	9
3.3 Problémy s kamenivom pri nedostatočnej elasticite a vysokom zaťažení.....	10
3.4 Sadanie zemnej pláne	12
4 Vývoj podpodvalových podložiek.....	13
4.1 Spojenie podpodvalovej podložky s podvalom	13
4.2 Požiadavky na materiál podpodvalovej podložky	14
4.3 Požiadavky na spojenie medzi podvalom a podpodvalovou podložkou	14
4.4 Podpodvalové podložky v sieti ÖBB	15
5 Správanie koľaje s podpodvalovými podložkami na betónových podvaloch	16
5.1 Ochrana kameniva koľajového lôžka	16
5.2 Zaťaženie podvalov	17
5.3 Sadanie koľaje pri použití podvalov s podpodvalovými podložkami	18
5.4 Zníženie vlnkovitosti a menšie opotrebovanie podložky pod päť koľajnice	20
6 Správanie výhybiek s podpodvalovými podložkami.....	22
6.1 Návrh podpodvalových podložiek do výhybiek.....	22
6.2 Kvalita geometrickej polohy výhybiek s podpodvalovými podložkami	23
7 Záver	25
8 Literatúra:	25
Časť 2. Ziskovosť v sieti ÖBB.....	27
Anotácia	27
1 Ekonomické hodnotenie železničného zvršku.....	27
2 Všeobecné zistenia projektu ÖBB „Stratégia železničnej dráhy“	29
3 Podvaly s podpodvalovými podložkami v sieti ÖBB.....	31
3.1 Podvaly s podpodvalovými podložkami na trati Westbahn	31
3.2 Výhybkové podvaly s podpodvalovými podložkami na trati „Südbahn“	32
4 Uvedenie do praxe.....	35
5 Literatúra	36

Časť 1. Dlhodobé skúsenosti v sieti ÖBB

Článok bol uverejnený v časopise ZEV Rail v roku 2009 v Nemeckom jazyku pod názvom
„Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1:
Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB“: 2009/05, ISSN 16188330

Autori: Dipl.-Ing. Florian Auer, Dipl.-Ing. DR. Rudolf Schilder

Anotácia

Neustále sa zvyšujúce dopravné zaťaženie a vyššie traťové rýchlosti vedú k neustálemu zvyšovaniu zaťaženia tratí a výhybiek.

Trať klasickej konštrukcie (so štrkovým koľajovým lôžkom) momentálne vykazuje čiastočné znaky opotrebovania spôsobené zlým fungovaním systému alebo nadmerným namáhaním jednotlivých prvkov. V roku 1997 sa v sieti ÖBB uskutočnili prvé testy s podpodvalovými podložkami, spočiatku na ochranu prvkov koľajového roštu. Vďaka pozitívnym skúsenostiam sa v sieti ÖBB začali podpodvalové podložky používať častejšie. V hlavných tratiach sa betónové podvaly s podpodvalovými podložkami dnes používajú ako štandardná súčasť podvalov nových tratí a výhybiek.

Ak sú prvky koľajového roštu navzájom zosúladené a prispôbené prevádzkovým podmienkam trate, použitie podpodvalových podložíek chráni nielen kamenivo koľajového lôžka, ale tiež znižuje namáhanie podvalov, sadanie koľajového roštu, vlnkovitosť koľajníc, opotrebovanie podložíek pod pätu koľajníc a znižuje vibrácie v koľajovom lôžku. Dosiahnuté výsledky boli overované a potvrdené na rôznych úsekoch tratí ÖBB.

1 Úvod

Neustále sa zvyšujúce dopravné zaťaženie a vyššie traťové rýchlosti vedú k neustálemu zvyšovaniu zaťaženia tratí a výhybiek.

Trať klasickej konštrukcie (so štrkovým koľajovým lôžkom) momentálne vykazuje čiastočné znaky opotrebovania spôsobené zlým fungovaním systému alebo nadmerným namáhaním jednotlivých prvkov. Tým je celková životnosť trate väčšinou závislá od „najslabšieho článku“, teda komponentu s najnižšou životnosťou. Z ekonomických dôvodov je však žiadúce predĺžiť celkovú životnosť celej trate. Veit [1] preukázal, že pri analýze životného cyklu trate (Life Cycle Costs - LCC) najväčší podiel na ročných nákladoch na koľaj a výhybky predstavujú odpisy. Preto je na mieste dosiahnuť čo najdlhšiu životnosť trate a jej súčastí.

Pre ekonomickú údržbu na báze LCC je teda potrebné porozumieť správaniu systému koľaje a výhybiek a na základe tohto porozumenia definovať opatrenia ktoré predĺžia životnosť „najslabšieho prvku“ bez oslabenia ostatných častí.

V roku 1997 sa v sieti ÖBB uskutočnili prvé testy podpodvalových podložíek na betónových priečných podvaloch, spočiatku na ochranu koľajového roštu a koľajového lôžka. Vďaka pozitívnym skúsenostiam sa v sieti ÖBB začali podpodvalové podložky používať častejšie. Na hlavných tratiach sa betónové podvaly s podpodvalovými podložkami dnes používajú ako štandardný prvok v nových koľajach a výhybkách.

Tento článok popisuje technické skúsenosti s podpodvalovými podložkami v sieti ÖBB, ktoré boli získané za posledných jedenásť rokov. Ďalší článok sa bude zaoberať predovšetkým hospodárnosťou používania podvalov s podpodvalovými podložkami.

2 Prvky trate klasickej konštrukcie

Podobne ako veľa iných zariadení infraštruktúry má mať trať minimálnu životnosť 30 rokov a viac. Táto ekonomicky potrebná dlhá životnosť sa dosiahne, iba ak sú jednotlivé komponenty trate dimenzované s prihliadnutím na čo najnižšiu údržbu a ich dlhú životnosť. Zohľadnené musia byť aj zmeny budúcich technických prevádzkových podmienok (zvyšujúce sa dopravné zaťaženie, vyššie zaťaženie na nápravu a vyššie prevádzkové rýchlosti).

2.1 Koľajnica

Koľajnica je v priamom kontakte s kolesami vozidiel a je posudzovaná predovšetkým z hľadiska únavovej pevnosti, opotrebovania z valivého kontaktu (narušenie povrchu) a správania sa pri abrazívnom opotrebovaní (mikroobrábanie).

Ako je obvyklé aj u iných železničných správ, v hlavných tratiach ÖBB sa z dôvodu vysokej únavovej pevnosti štandardne používa koľajnica typu 60 E1. Vyšší prierezový modul tejto koľajnice tiež vedie k lepšiemu roznosu zaťaženia (koľajnica ako nosník) na susedné podvaly a tým k zníženiu síl v štrkovom koľajovom lôžku a podvalovom podloží.

V posledných rokoch boli v oblúkoch použité koľajnice s tvrdou hlavou vzhľadom na ich nižšie abrazívne opotrebenie a lepšiu odolnosť proti kontaktným silám (Obrázok 1-1). Vyššia kvalita koľajnice tiež vedie k zníženiu výskytu vlnkovitosti v oblúkoch malých polomerov.



Obrázok 1-1 Oblúk malého polomeru s koľajnicami s tvrdou hlavou, na zníženie bočného opotrebovania a vlnkovitosti

2.2 Upevnenie koľajníc

Úlohou upevnenia koľajníc je pružne a pri najmenšom možnom opotrebovaní prenášať sily pôsobiace medzi koľajnicami a podvalmi.

V sieti ÖBB sa pre nové typy betónových podvalov používa systém upevnenia W14. Tento systém upevnenia je trecím spojom medzi koľajnicou a podvalom. Spravidla je ním zabránené relatívnym pohybom medzi koľajnicou a podvalom v pozdĺžnom a priečnom smere.

Mechanizmus práce pružnej zvierky

Na spojenie koľajníc s podvalom je potrebná zodpovedajúca prídržná sila, ktorá sa vyvinie predopnutím pružnej zvierky. Pritom vzniká tiež predpätie v podložke pod pätu koľajníc, v dôsledku ktorého je stlačená nadol. Prídržná sila má v oblúkoch malých polomerov veľký vplyv na tvorbu vlnkovitosti a opotrebenie podložíek pod pätu koľajníc. V priebehu času čiastočne klesá prídržná sila zvierok v dôsledku únavy materiálu pružnej zvierky. Niekedy je tiež možné pozorovať uvoľnenie podvalových skrutiek. Napínacie zvierky typu Skl 1, ktoré sa používali pred napínacou zvierkou typu Skl 14 musia byť v oblúkoch malých polomerov vymenené už po niekoľkých rokoch. Užitočné je aj opätovné dotiahnutie podvalových skrutiek, ktoré sa zvyčajne vykonáva súčasne so strojným podbíjaním. V súčasnosti sa pružná zvierka Skl 14 používa zásadne v priamych úsekoch trate a v oblúkoch veľkých polomerov. Pre oblúky polomerov $R < 600$ m sa v sieti ÖBB používa pružná zvierka Skl 28 (hrúbka drôtu 15 mm), optimalizovaná z hľadiska únavovej húževnatosti a prídržnej sily (plus 50 % v porovnaní s Skl 14) (Obrázok 1-2). Táto pružná zvierka umožňuje vyššie vertikálne a horizontálne výchylky, čím je zaistené lepšie silové spojenie na dlhšie časové obdobie. V kombinácii s použitím skrutky a hmoždinky s okrúhlym závitom je životnosť spoja podstatne dlhšia.



Obrázok 1-2 Pružná zvierka Skl 28 pre oblúky malých polomerov s $R < 600$ m

Mechanizmus práce podložíek pod päťu koľajnice

Ďalším dôležitým prvkom koľajového roštu je podložka pod päťu koľajnice vložená medzi koľajnicou a podvalom. Tá primárne slúži na vloženie definovanej elasticity do koľaje. Mäkké podložky pod päťu koľajnice zvyšujú elasticitu a prieťah koľajnicových pásov a znižujú tým zaťaženie štrkového koľajového lôžka, majú však za následok zvýšenie napätia v koľajnici.

Popri elastických vlastnostiach sa v oblúkoch musí dbať na požiadavky na opotrebenie materiálu podložíek pod päťu koľajnice a vplyv podložíek pod päťu koľajnice na tvorbu vlnkovitosti. V posledných rokoch toto viedlo k prednostnému vkladaniu mäkkých podložíek pod päťu koľajnice Zw 700 v sieti ÖBB. Prebiehajúci výskumný projekt (22 rôznych podložíek pod päťu koľajnice testovaných za rovnakých podmienok a betónové podvaly bez podpodvalových podložíek) ukazuje jasný potenciál pre takúto optimalizáciu pri tvorbe vlnkovitosti.

2.3 Podval

Podval je súčasťou železničného zvršku, ktorý okrem iných požiadaviek, zabezpečuje zachovanie potrebného rozchodu koľaje (vzdialenosť medzi dvoma koľajnicovými pásmi). Rovnako ako všetky ostatné komponenty železničného zvršku musí byť podval pri zodpovedajúcej nosnosti dimenzovaný aj na životnosť. V prípade drevených podvalov majú známky starnutia, ako sú priehlbiny v rebrových podkladniciach za následok výraznejšie skrátenie životnosti drevených podvalov oproti betónovým podvalom (Obrázok 1-3). Od osemdesiatych rokov 20. storočia sa preto v hlavných tratiach ÖBB používajú betónové podvaly.



Obrázok 1-3 Drevený podval so známami starnutia

Pokiaľ ide o prenos zaťaženia, oba typy podvalov vykazujú zreteľne odlišné správanie. Drevené podvaly majú vyššiu vlastnú elasticitu. Elastický prieťah pri zaťažení je preto väčší ako pri betónových podvaloch. V prípade tratí na podvalovom podloží citlivom na deformáciu sú výhodnejšie drevené podvaly (predĺženie intervalov podbíjania).

Okrem toho sa zaťaženie z podvalu na kamenivo v prípade koľaje na drevených podvaloch prenáša cez väčšiu kontaktnú plochu na ložnej ploche podvalu. Lepší roznos zaťaženia vedie v porovnaní s betónovými podvalmi k zníženému namáhaniu štrkového koľajového lôžka. Na druhej strane

prichádza v prípade koľaje na drevených podvaloch z dôvodu ich nižšej hmotnosti k zníženiu stability geometrickej polohy koľaje.

2.4 Štrkové koľajové lôžko

Hlavnou úlohou štrkového koľajového lôžka (okrem jeho ventilačných a drenážnych vlastností) je poskytnúť podvalom dostatočne stabilnú opornú plochu. Štrkové koľajové lôžko musí mať také rozmery, aby sily vyvíjané vozidlami nespôsobovali žiadne krátkodobé a dlhodobé posuny podvalov v pozdĺžnom ani priečnom smere. Rovnomerné „dýchanie“ koľaje (stav v lete a v zime) je v malej miere tolerované.



Obrázok 1-4 Uhol roznosu zaťaženia v koľajovom lôžku a pri výpočte odolnosti podložia

Aby sa zabezpečila životnosť koľajového lôžka, musí kamenivo spĺňať rôzne požiadavky. Stanovuje sa napríklad odolnosť proti nárazu (hodnota SZ_{RB}), odolnosť proti nárazu a oderu (hodnota LA_{RB}), odolnosť proti oderu (hodnota M_{DERB}) a veľkosť zŕn kameniva (krivka zrnitosti). Pre betónové podvaly je hrúbka koľajového lôžka 35 cm (merané od spodnej hrany podvalu), zatiaľ čo pri koľajach s drevenými podvalmi postačuje 25 cm z dôvodu vyššej pružnosti drevených podvalov.

Výskumy a pozorovania v koľaji ukazujú, že elasticita kameniva a uhol roznosu zaťaženia v štrkovom lôžku sú v praxi pravdepodobne nižšie, ako sa často publikuje. Obrázok 1-4 zobrazuje uhol roznosu zaťaženia v kamenive a uhol roznosu zaťaženia 7° daný pre šmykovú pevnosť zemín podľa [2]. Zdanlivá elasticita sa dosahuje práve pri pokročilejšom opotrebovaní štrku elastickou deformáciou koľajového roštu (tvorba dutých miest pod hlavami podvalov). Toto vedie k vysokému namáhaniu betónových podvalov v koľajach s problémami s koľajovým lôžkom (tvorba priečných trhlin spôsobených napätím).

2.5 Železničný spodok, zemná pláň a odvodnenie

Pri dostatočnej mrazuvzdornosti musí železničný spodok s čo najmenšou deformáciou absorbovať sily z dopravného zaťaženia prenášaného z na ňom ležiaceho štrkového koľajového lôžka. V priestore „okolia jazdnej dráhy“ je tiež dôležité zabezpečiť bezchybnú funkciu odvodnenia železničného spodku.

Sadnutie koľaje sa určuje viacerými meracími metódami. Pri predbežných meraniach pre podbíjacie práce sa absolútne sadanie (v porovnaní so zaist'ovacími značkami) určuje pomocou meracieho vozňa EM-Sat. Hodnoty zdvíhania a posunu koľaje sa ukladajú do centrálnej databázy iGleis a sú k dispozícii

pre rôzne vyhodnocovania. Relatívne sadanie koľaje sa určuje niekoľkokrát ročne pomocou meracieho vozňa koľaje EM 250. Signál pozdĺžnej výšky zodpovedá relatívnemu klesaniu krátkych vln v rozsahu vlnových dĺžok od 3 do 25 m. Z toho možno odvodiť relatívne miery sadania.

Zvyšujúce sa dopravné zaťaženie, vyššie rýchlosti a vyššie nápravové tlaky viedli v priebehu času k zvýšenému namáhaniu trate. Tým sa zvýšila aj potreba sanácie zemnej pláne.

V posledných desiatich rokoch bolo v sieti ÖBB mechanicky stabilizovaných viac ako 550 km podkladových vrstiev (hrúbka podkladovej vrstvy obvykle 40 cm). Osobitná pozornosť sa venuje hydraulickým vlastnostiam koľaje. Geotextília presahujúca cez spodný okraj podkladovej vrstvy, okrem svojej vlastnej funkcie oddeľovať a filtrovať, má aj za úlohu zabezpečiť odtok priesakovej a pórovej vody (Obrázok 1-5).



Obrázok 1-5 Mechanizované zabudovanie podkladovej vrstvy s geotextíliou

3 Potreba údržby trate klasickej konštrukcie

V závislosti na miestnych podmienkach (polomery oblúka, tuhosť podkladovej vrstvy, dopravné zaťaženie atď.) vykazuje trať klasickej konštrukcie rôzne znaky opotrebovania, ktoré je možné znížiť zmenou pružnosti koľajového roštu (podpodvalové podložky).

3.1 Tvorba vlnkovitosti

V oblúkoch malých polomerov sa v priebehu času vyskytujú periodické vlny na povrchu vnútorného koľajnicového pásu. Táto vlnkovitosť vykazuje vlnové dĺžky 8 až 30 cm (Obrázok 1-6). Vlnkovitosť je spôsobená nárazovými účinkami medzi dvojkolesiami vozidiel (prirodzená oscilácia v oblúku) a koľajnicou (duté priestory pod hlavami podvalov umožňujú vibrácie podvalov).

Tvorbu vlnkovitosti ovplyvňujú tieto faktory:

- vyššia elasticita koľajového roštu znižuje tvorbu vlnkovitosti (menej dutých miest pod hlavami podvalov),
- pozitívne vplýva väčšia prídržná sila upevňovacieho prvku (venujte pozornosť únave pružnej zvierky),
- pozitívny účinok má tiež vyššia kvalita (tvrdosť) koľajnice (pozri Obrázok 1-6) a
- k zníženiu tvorby vlnkovitosti koľajnice vplýva lepšie rozloženie priečneho zaťaženia v oblúkoch koľaje s použitím typu koľajnice 60 E1 (šírka päty 150 mm) v porovnaní s typom koľajnice 54 E2 (šírka päty 125 mm).

V dôsledku krátkovlnných rázov sú na kolesách a nápravách vozidiel vyvolávané vysoké zrýchlenia (zrýchlenie ložiska nápravy do 50 g, frekvenčný rozsah ca. 120 až 160 Hz). Tieto vysoké zrýchlenia zvyšujú zaťaženia na vozidlá a koľaj, ako aj emisie hluku. Súčasti železničného zvršku ako sú koľajnice, upevnenia, podvaly a koľajové lôžko sú vystavené väčšiemu namáhaniu a znižuje sa životnosť koľaje.

Rozsiahly experiment v Scheiflingu (Štajersko) ukázal, že vlnové dĺžky sklzových vln (vlnkovitosti) je možné ovplyvniť použitím určitých podložiek pod päty koľajnice tak, že sa budú nachádzať vo výhodnejšom (frekvenčnom a dĺžkovom) rozsahu. Ďalej boli zistené významné rozdiely v amplitúdach sklzových vln. Tieto boli overené aj na iných tratiach a viedli k zvýšenému použitiu mäkkých podložiek pod päty koľajnice (<https://www.getzner.com/de/produkte/bahn/zwischenplatten>).



Obrázok 1-6 Tvorba vlnkovitosti na dvoch koľajniciach v oblúku s rôznou tvrdosťou hlavy koľajnice

3.2 Opatrebovanie podložiek pod päty koľajnice

V prípade tratí na betónových podvaloch s podpodvalovými podložkami má podložka pod päty koľajnice vysoký podiel na celkovej elasticite koľajového roštu. Dodatočné priečne sily, absorbované v oblúkoch, môžu viesť k predčasnému opotrebeniu materiálu podložiek pod päty koľajnice (Obrázok 1-7).



Obrázok 1-7 Odstránené opotrebované podložky pod päť koľajnice z trate na betónových podvaloch

Merací vozeň koľaje ÖBB od roku 2001 umožňuje detekciu skutočného úklonu koľajnicového pásu meraného pri zaťažení. Opatrebovanie podložiek pod päť koľajnice sa dá určiť zo signálu úklonu koľajnicového pásu. Toto v závislosti na rôznych prevádzkových podmienkach umožnilo preskúmať mieru opotrebovania podložiek v celej sieti.

V oblúkoch vykazujú podložky pod päť koľajnice opotrebovanie materiálu v závislosti na prevádzkovom zaťažení a polomere oblúka. Tuhé podložky pod päť koľajnice štandardných betónových podvalov, ktoré sa doteraz používali v oblúkoch malých polomerov na hlavných tratiach, sa museli vymieňať už po niekoľkých rokoch používania.

Ak sa údržbové opatrenie „výmena podložiek pod päť koľajnice“ vykoná príliš neskoro, životnosť betónových podvalov sa „skokom (náhle)“ zníži (Obrázok 1-8).

3.3 Problémy s kamenivom pri nedostatočnej elasticite a vysokom zaťažení

Úlohou koľajového lôžka je poskytovať podvalom dostatočne stabilné podložie a prenášať sily vyvolané dráhovými vozidlami do železničného spodku. Nedostatočná elasticita koľajového lôžka (veľká podporná sila podvalu) v kombinácii s tuhými železničným spodkom môže viesť k predčasnému opotrebovaniu kameniva koľajového lôžka.

Problémy s kamenivom koľajového lôžka v existujúcej sieti sa pozorujú vo vysoko zaťažovaných tratiach na betónových podvaloch s tuhými podložkami pod päť koľajnice a tuhým podvalovým podložíom približne po 15 rokoch od posledného zásahu / opravy. Obrázok 1-9 zobrazuje trať v blízkosti Kirchbichlu (trať Kufstein - Innsbruck). Koľajové lôžko (veľkosť zrna II, frakcia 16/31,5) tu nie je schopné absorbovať a prenášať veľké namáhanie. Najmä v oblasti hláv podvalov dochádza k jemnému oderu kameniva. Priestor medzi koľajnicovými pásmi tiež vykazuje opotrebovanie v dôsledku menšieho priehybu a pohybu podvalov koľajového roštu. Oder štrku, ktorý zabraňuje prepúšťaniu vody, vedie k tvorbe tzv. blatistých miest. Nedostatočný odvod vody má ďalší negatívny vplyv na kvalitu polohy koľaje. Za zmienku stojí skutočnosť, že horná hrana podkladovej vrstvy zostáva v tomto prípade suchá a funkčná. Niekedy sa podobné problémy vyskytujú na koľajach so silnou vlnkovitosťou.



Obrázok 1-8 Betónový podval so zníženou životnosťou v dôsledku oneskorenej výmeny podložky pod päť koľajnice

Nedostatočná kvalita kameniva koľajového lôžka vykazuje zdanlivo vyššiu elasticitu. Vďaka pokročilému opotrebovaniu kameniva strácajú podvaly svoje stabilné lôžko najmä pod ich hlavami (vonkajší prenos zaťaženia) a musia sa pod zaťažením viac prehýbať, aby sa prispôbili neprimeranému koľajovému lôžku. Toto vedie k silnému namáhaniu betónových podvalov v koľajach, s problémami s kamenivom koľajového lôžka a dochádza tým k vytváraniu priečných trhlin spôsobených záporným ohybovým momentom (Obrázok 1-10). Tieto trhliny tiež znižujú životnosť podvalov.



Obrázok 1-9 Koľaj s jemným oderom štrku pod hlavou podvalu



Obrázok 1-10 Podval s priečnou trhlinou v dôsledku zvýšeného ohybového namáhania

3.4 Sadanie zemnej pláne

Zemná pláň musí absorbovať zaťaženie od železničnej prevádzky pokiaľ možno bez deformácií. Na existujúcich tratiach, ktoré sú vybudované na jemnozrnných zeminách, prebieha sadanie v horninách a zeminách podložia počas dlhšieho obdobia. Zvyšujúce sa dopravné zaťaženie a nižšia elasticita koľajového roštu trati na betónových podvaloch viedli v posledných rokoch k zvýšeniu zaťaženia zemnej pláne.

Do hlavných tratí ÖBB boli za posledných 25 rokov vkladané betónové podvaly, pretože vykazujú vyššiu životnosť ako drevené podvaly. Koľaj na betónových podvaloch však vykazuje nízku elasticitu koľajového roštu najmä ak sa použijú tuhé podložky pod pätu koľajnice. Keďže štrkové koľajové lôžko má tiež iba nízku elasticitu, dochádza k zvýšenému bodovému namáhaniu zemnej pláne, a tým aj vyššej pravdepodobnosti jej nerovnomerného sadania.

Na mnohých existujúcich tratiach sú zmeny geometrickej polohy koľaje spôsobené sadaním zemnej pláne (Obrázok 1-11). Sadanie je preto v tratiach vybudovaných na jemnozrnných pôdach určujúcim faktorom ovplyvňujúcim potrebu podbíjajúcich prác. Nevyhnutne je potrebná dostatočná drenáž jemnozrnných zemín, inak koľaj ešte viac sadá a znižuje sa jej odolnosť proti mrazu.

Vyhodnotenie údajov z georadaru a údajov z meracieho vozňa koľaje tiež veľmi jasne poukazujú na tieto súvislosti. Vlhké miesta v koľajovom lôžku alebo železničnom spodku (georadar) tiež ukazujú na výskyt koľaje so zvýšenou mierou sadania (vyhodnotenie údajov merania koľajového roštu). Znovu sa teda preukazuje dôležitosť funkčného odvodnenia a potreba sanácie podložia citlivého na sadanie. Typické vertikálne vlnové dĺžky chýb polohy koľaje sú 8 až 12 m a sú blízko vlastnej (prirodzenej, rezonančnej) frekvencii nákladných vozňov s listovými pružinami (približne 2,4 Hz).



Obrázok 1-11 Chyby geometrického usporiadania koľaje spôsobené nerovnomerným sadaním železničného spodku

4 Vývoj podpodvalových podložiek

Výsledky niektorých iných železničných správ v Európe viedli ÖBB od roku 1996 k testovaniu podpodvalových podložiek (spočiatku hlavne za účelom ochrany kameniva koľajového lôžka). Vo výskumnom projekte so spoločnosťou Getzner Werkstoffe GmbH, Vorarlberg Rakúsko, sa uskutočnili prvé výpočty a testy. Pozitívne výsledky s podpodvalovými podložkami potom viedli k ich prednostnému používaniu.

4.1 Spojenie podpodvalovej podložky s podvalom

Spoj medzi betónovým podvalom a podpodvalovou podložkou je možné vytvoriť rôznymi spôsobmi:

- priame spojenie,
- lepidlo a
- kontaktné médium.

Podpodvalové podložky, ktoré sa doteraz najčastejšie používajú v tratiach ÖBB, majú ako kontaktné médium plastovú mriežku (zakrútená mriežka) (Obrázok 1-12). Podpodvalové podložky vo výhybkách sú lepené z dôvodu vyšších nárokov na odolnosť proti roztrhnutiu (vertikálna dynamika v oblasti srdcovky).



Obrázok 1-12 Plastová mriežka ako kontaktné médium pre podpodvalové podložky

4.2 Požiadavky na materiál podpodvalovej podložky

Požiadavky na podložky sú definované v štandarde nemeckých železníc DBS 918 145-01. Musia sa overiť tieto vlastnosti:

- statická plošná tuhosť,
- dynamická plošná tuhosť,
- trvanlivosť a únavová odolnosť,
- odolnosť proti nízkym teplotám,
- odolnosť proti poveternostným vplyvom,
- odolnosť proti starnutiu (umelé starnutie) a
- horľavosť.

Statická aj dynamická plošná tuhosť a únavová odolnosť sa určujú pomocou štandardnej normovanej štrkovej dosky. V laboratóriu železničného zvršku SNCF je možné únavovú odolnosť podpodvalovej podložky testovať skúškou ešte bližšou realite. Tu je celý betónový podval podrobený tzv. „Vibrogir testu“ (Obrázok 1-13) [3].

Na základe skúšok rôznych materiálov je možné odvodiť tendenciu, podľa ktorej majú mäkkšie podpodvalové podložky kratšiu životnosť ako tuhšie podpodvalové podložky.

4.3 Požiadavky na spojenie medzi podvalom a podpodvalovou podložkou

Podľa DBS 918 145-02 sa musia overiť nasledujúce mechanické vlastnosti spojenia medzi podvalom a podpodvalovou podložkou:

- odolnosť proti roztrhnutiu,
- odolnosť proti rozmrazovacím cyklom a
- pevnosť v šmyku .

Najdôležitejšou požiadavkou na spojenie je minimálna odolnosť proti odtrhnutiu – prídržnosť k podkladu. Tu sa určuje sila, ktorá je potrebná na oddelenie kruhovej časti podložky s priemerom 50 mm od betónového podvalu (Obrázok 1-14). Požadovaná minimálna prídržnosť k podkladu je:

- priemerná stredná hodnota $\sigma \geq 0,50 \text{ N / mm}^2$, a zároveň

- minimálna hodnota $\sigma \geq 0,40 \text{ N / mm}^2$.



Obrázok 1-13 Testovanie únavovej odolnosti podpodvalových podložiek pomocou testu Vibrogir so simulovaným zaťažením 400 mil. hrt



Obrázok 1-14 Stanovenie prídržnosti podpodvalovej podložky k podvalu na kruhovej časti podložky pri $d = 50 \text{ mm}$

4.4 Podpodvalové podložky v sieti ÖBB

Od roku 1996 do roku 2007 bolo v sieti ÖBB zabudovaných približne 220 000 podpodvalových podložiek a 87 výhybiek na betónových podvaloch s podpodvalovými podložkami.

V závislosti od účelu použitia sa dnes využívajú rôzne typy podložiek. Od roku 2010 sa zabudováva v tratiach ÖBB ročne 155 000 až 245 000 podpodvalových podložiek a všetky výhybky ak sú betónové, sú opatrené podpodvalovými podložkami.

Prvé pokusy s podpodvalovými podložkami v sieti ÖBB sa uskutočnili s veľmi mäkkými podpodvalovými podložkami (statická plošná tuhosť podložky $0,07 \text{ N/mm}^3$) a ich primárnym účelom použitia bola ochrana kameniva koľajového lôžka. Skúšobné trate vykazovali veľké elastické deformácie. Dosiahnutá vysoká elasticita koľaje znížila okrem kontaktných síl kameniva aj sily pôsobiace na plášť telesa železničného spodku a tým znížila aj mieru sadania koľaje. Interval podbíjania sa mohol na týchto koľajach výrazne zvýšiť (násobok 3 a viac).

Výpočty DB [4] a skúsenosti SNCF, ako aj výsledky ďalších skúšok ukázali, že dostatočnú ochranu štrkového koľajového lôžka možno dosiahnuť dokonca aj použitím tuhších podložiek. Na tratiach ÖBB sa v súčasnosti štandardne používa relatívne tuhý typ podložky SLB 3007G. V prípade špeciálnych požiadaviek na elasticitu koľaje (ochrana proti vibráciám, zeminy zvlášť náchylné na sadanie atď.), sa naďalej používajú aj mäkkšie podložky (Tabuľka 1).

Pre lepšie rozlíšenie v koľaji sa na ÖBB od roku 2004 na vrchnej časti betónových podvalov s podložkami používa označenie S (Sohle – podložka). V telese výhybiek sa z dôvodu rozličných podmienok uloženia (mení sa dĺžka podvalu a kontaktná plocha kameniva) používajú rôzne druhy podpodvalových podložiek.

Typ	Materiál	Statická plošná tuhosť v N/mm^3	Hrúbka v mm
SLS 1010 G	Sylomer	0,10	10
SLS 1308 G		0,13	8
SLS 1707 G		0,17	7
SLB 2210 G		0,22	10
SLB 3007 G		0,30	7

Tabuľka 1: Zoznam bežných typov podpodvalových podložiek

5 Správanie koľaje s podpodvalovými podložkami na betónových podvaloch

Cieľom prvých pokusov s podpodvalovými podložkami bolo zabezpečenie dlhodobej ochrany kameniva v koľajach s betónovými podvalmi. Toto bolo možné dokázať teoreticky aj prakticky. Väčšia styčná plocha kameniva a podvalu a vyššia elasticita koľaje vedú k už uvedeným výhodám v porovnaní so štandardnou koľajou na betónových podvaloch [5].

Životnosť rôznych prvkov koľajového roštu a železničného zvršku sa predlžuje. Predlžuje sa celkový čas používania koľaje. Toto však predpokladá, že jednotlivé komponenty sa prispôbia novým prevádzkovým podmienkam.

5.1 Ochrana kameniva koľajového lôžka

Štúdie a výskumy TU Graz [6, 7] ukazujú, že kontaktná plocha kameniva na ložnej ploche bežných betónových podvalov je veľmi malá. Skutočná kontaktná plocha je len niekoľko percent a vzniká na nej extrémne bodové zaťaženie. V priebehu času tento nedostatok vedie k drveniu kameniva koľajového lôžka, ktoré je v kontakte s podvalom. Použitím podpodvalových podložiek sa kontaktná plocha medzi podvalom a koľajovým lôžkom výrazne zväčšuje. Kamenivo je ďalej chránené zvýšením počtu silových línií v štrkovom koľajovom lôžku. Sily zo železničnej dopravy sa do podložia prenášajú rovnomernejšie, koľajové lôžko zostáva dlhšie stabilné.

Obrázok 1-15 zobrazuje spodnú stranu (ložnú plochu) podpodvalovej podložky v koľajovom lôžku. Fotografia bola urobená v priebehu dlhodobého výskumu desať rokov po zabudovaní podvalov (trať Feldkirch-Buchs, dopravné zaťaženie 8,5 mil. hrt/rok a zjavne ukazuje na ochranu kameniva použitím podpodvalových podložiek.

Zhrnutie: Podpodvalové podložky zvyšujú životnosť kameniva koľajového lôžka.

5.2 Zaťaženie podvalov

Dlhodobu stabilnú štrkové koľajové lôžko znižuje výrazné priehyby podvalov pri zaťažení, a znižuje tým zaťaženie podvalov. Použitím podpodvalových podložiek sa v úsekoch s nižšou kvalitou kameniva chráni betónové podvaly (Obrázok 1-16).

Zhrnutie: Podpodvalové podložky predlžujú životnosť betónových podvalov.



Obrázok 1-15 Ochrana kameniva koľajového lôžka použitím podpodvalových podložiek



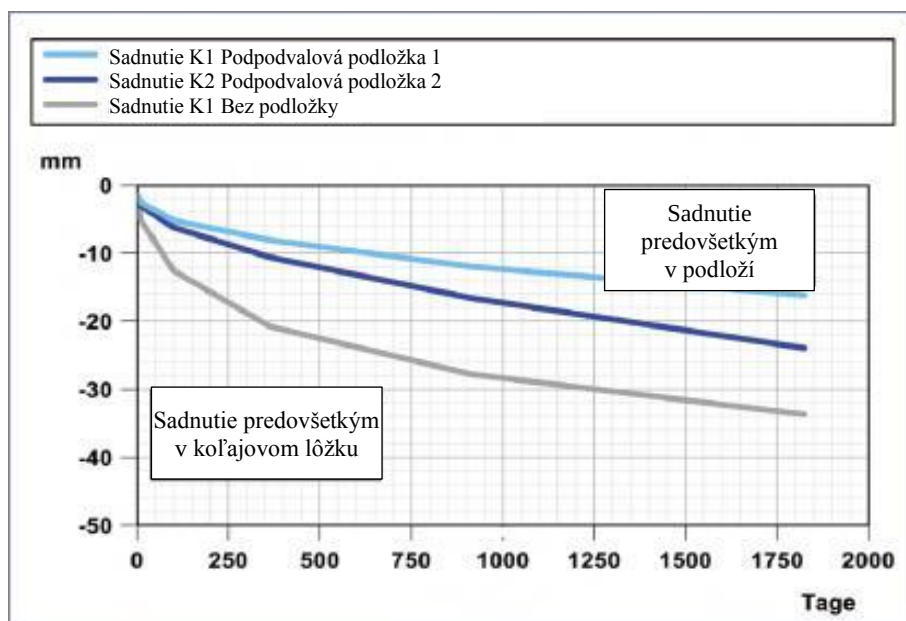
Obrázok 1-16 Betónový podval s podpodvalovou podložkou v koľaji s nízkou kvalitou kameniva

5.3. Sadanie koľaje pri použití podvalov s podpodvalovými podložkami

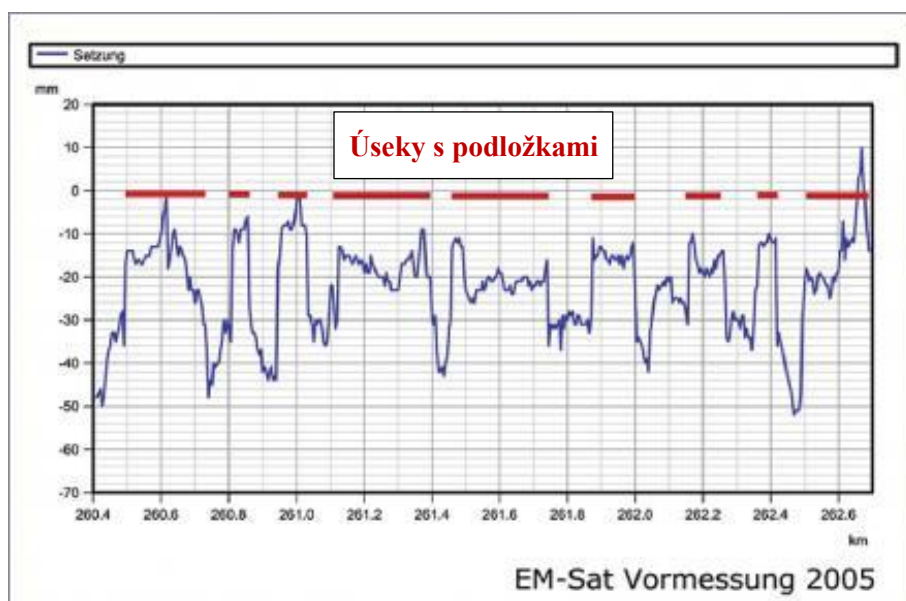
Lepší roznos zaťaženia koľaje s vyššou elasticitou koľajového roštu (koľajnica ako nosník) vedie k nižším napätiam a menšiemu sadaniu v železničnom spodku. Čím mäkkší je materiál podpodvalovej podložky, tým vyššia je elasticita koľaje a tým menšie je sadanie. Obrázok 1-17 ukazuje namerané sadanie (stredné hodnoty z viacerých meraní) testovaného úseku v Timelkam (Westbahn, dopravné zaťaženie 22 mil. hrt/rok, $V_{\max} = 120$ km/h). V rámci rekonštrukcie koľaje so strojovou sanáciou železničného spodku boli v roku 2001 pokusne zabudované podvaly s dvomi typmi podpodvalových podložiek s rôznou dynamickou plošnou tuhosťou. Počiatočné sadanie spôsobené hlavne štrkovým koľajovým lôžkom sa v prípade obidvoch typov podpodvalových podložiek podarilo výrazne znížiť. Vyššia elasticita koľaje v oblasti mäkšej podpodvalovej podložky typu 1 (SLS 1707G) viedla k ďalšiemu zníženiu sadania dokonca aj potom čo počiatočné sadanie ustúpilo. V koľajach, ktoré sú obzvlášť citlivé na sadanie sa preto odporúča používať mäkkšie podpodvalové podložky. Chráni sa tým podvalové podložie a zamedzuje sa častému podbíjaniu. Pri navrhovaní tohto prvku sa musia brať do úvahy výsledky prebiehajúceho výskumu, ktoré sa týkajú dlhodobého správania podpodvalových podložiek (kontrola podložiek vybratých z koľaje v prevádzke).

Obrázok 1-18 zobrazuje namerané sadanie na úseku trate v blízkosti Unzmarktu (trať Viedeň - Villach). Podpodvalové podložky boli použité iba v oblasti oblúkov. Na všetkých prechodových oblastiach sa v dôsledku nerovnomerného sadania tvorili chyby polohy koľaje (Obrázok 1-19). Tieto majú za následok zvýšenú potrebu údržby.

Bodové použitie alebo časté striedanie úsekov s podpodvalovými podložkami a bez podložiek sa preto neodporúča, pokiaľ sa nevytvoria vhodné prechodové oblasti, v ktorých sa postupne elasticita koľajového roštu prispôbuje.



Obrázok 1-17 Priemerné hodnoty nameraného sadania v koľaji s podvalmi s podpodvalovými podložkami a bez podložiek



Obrázok 1-18 Namerané sadanie v úseku trate blízko Unzmarktu s častým striedaním úsekov s podpodvalovými podložkami a bez nich



Obrázok 1-19 Rozdiel v sadaní na prechode z úseku s podpodvalovými podložkami na úsek bez podložiek s chybou v polohe koľaje

5.4 Zníženie vlnkovitosti a menšie opotrebovanie podložky pod pätu koľajnice

V oblúkoch malých polomerov trati na betónových podvaloch sa v dôsledku tvorby vlnkovitosti znižuje životnosť koľaje. Po dlhých výskumoch bola nájdená koncepcia pre koľaj, ktorej systémové správanie zabraňuje tvorbe vlnkovitosti a opotrebeniu podložiek pod pätu koľajnice alebo ich aspoň značne znižuje.

Na základe priaznivého vplyvu podpodvalových podložiek na silne zaťažovaných tratiach bol sledovaný vplyv podpodvalových podložiek v oblúkoch malých polomerov. Cieľom bolo, popri zlepšení stability geometrickej polohy koľaje (ochranou kameniva koľajového lôžka a zvýšením elasticity koľajového roštu) aj zníženie tvorby vlnkovitosti. Toto sa uskutočnilo na základe výsledkov skúšok v Ennstale (1997), kde už boli zrejmé jasné výhody, čo sa týka zníženia tvorby vlnkovitosti pri použití podvalov s podpodvalovými podložkami. Rôzne skúšobné úseky vykazovali v niektorých prípadoch výrazne odlišné správanie, vo vzťahu k tvorbe vlnkovitosti a opotrebovaniu podložiek pod pätu koľajnice. Ukazuje sa, že systémové správanie koľajového roštu citlivo reaguje na zmenenú skladbu a parametre železničného zvršku.

Obrázok 1-20 zobrazuje rôzne opotrebovanie podložiek pod pätu koľajnice (rozpoznateľné na vytlačení podložky z úložnej plochy podvalu) dvoch susedných betónových podvalov v oblúku s polomerom $R = 300$ m. Za určitých podmienok môžu teda podpodvalové podložky výrazne znížiť opotrebovanie podložiek pod pätu koľajnice.

Po podrobnom skúmaní bola nájdená optimalizovaná konštrukcia železničného zvršku pre oblúky malých polomerov, táto sa teraz v hlavných tratiach ÖBB používa ako štandard pre nové koľaje v rozsahu polomerov oblúkov $250 \text{ m} < R < 600 \text{ m}$:

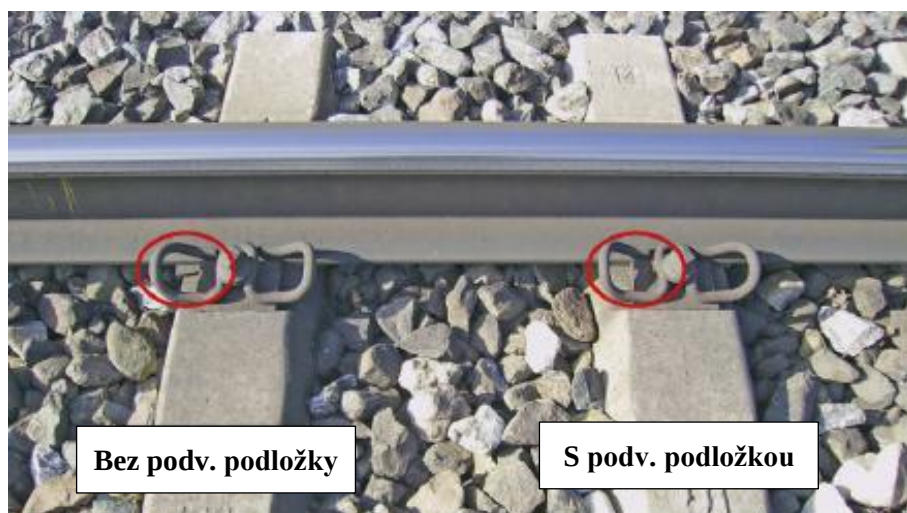
- betónové podvaly s podpodvalovými podložkami,
- koľajnice typu 60 E1,
- kvalita ocele R350 HT (kalená hlava),
- mäkká podkoľajnicová podložka Zw 700 (Getzner),
- zosilnená upínacia svorka Skl 28 (pozri Obrázok 1-2) a
- správna prídržná sila (dbať na ťahovací moment podvalovej skrutky).

Ak sú tieto parametre dodržané, podpodvalové podložky znamenajú v každom prípade zlepšenie správania koľaje vzhľadom na jej opotrebovanie. Vplyv rôznych typov podpodvalových podložiek sa

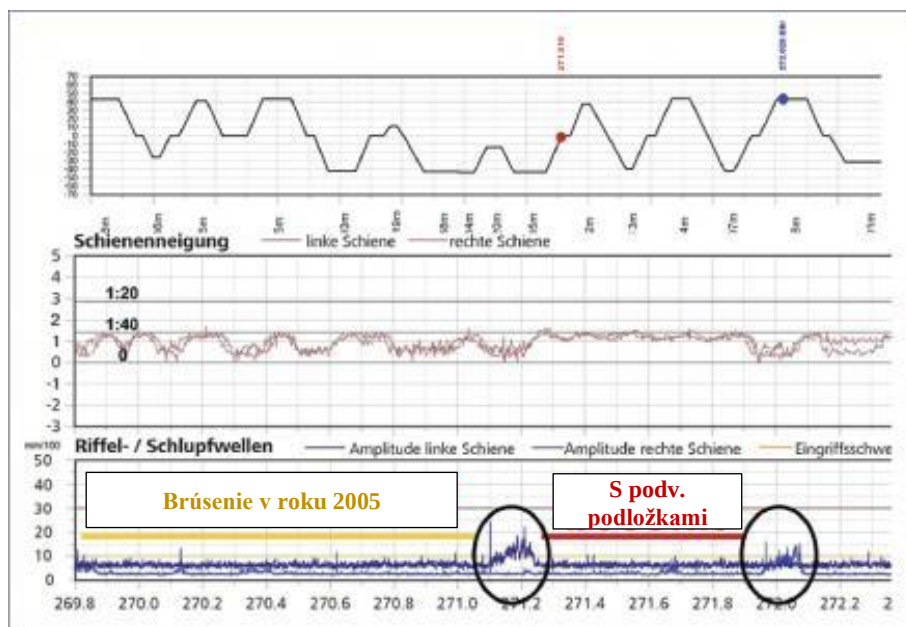
Technické a ekonomické súvislosti používania podpodvalových podložíek

neustále skúma v prebiehajúcich skúšobných úsekoch. Z tohto možno v budúcnosti odvodiť ďalší optimalizačný potenciál.

Obrázok 1-21 zobrazuje záznam merania meracím vozňom koľaje na skúšobnom úseku pri Scheiflingu (trať Viedeň - Villach) šesť rokov po pokládke koľajového roštu (dopravné zaťaženie 10 mil. hrt/rok).



Obrázok 1-20 Rôzne opotrebovanie podložíek pod päť koľajnice dvoch susedných betónových podvalov: podval bez podpodvalových podložíek a podval s podpodvalovými podložíkami



Obrázok 1-21 Záznam merania parametrov železničného zvršku na skúšobnom úseku pri Scheiflingu

V štyroch oblúkoch s použitím podpodvalových podložíek (polomery oblúkov $R \approx 280$ m) nebolo do 60 mil. hrt potrebné brúsenie v úseku podvalov s podpodvalovými podložíkami a neprišlo k tvorbe vlnkovitosti. Ďalej podložíky pod päť koľajnice metrologicky (odvodené zo signálu úklonu koľajnice, Obrázok 1-21) a pri demontáži na mieste (Obrázok 1-22) nevykazujú takmer žiadne známky

opotrebovania. Z tohto je možné odvodiť, že ak sú komponenty železničného zvršku navrhnuté správne a navzájom sú zosúladené, je možné z dlhodobého hľadiska zabrániť a výrazne znížiť tvorbu vlnkovitosti a opotrebovanie podložiek pod pätu koľajnice a tým zvýšiť celkovú životnosť trate.



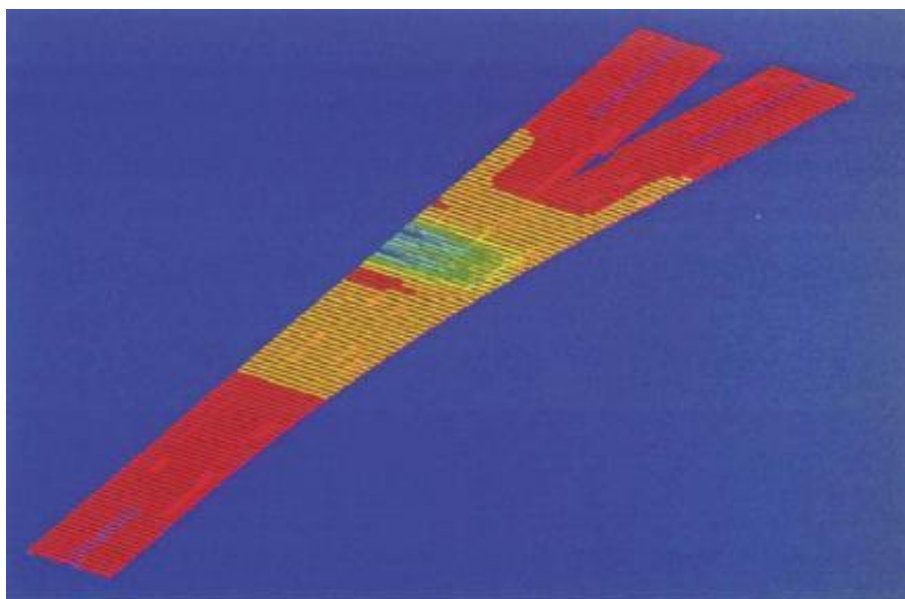
Obrázok 1-22 Demontované podložky pod pätu koľajnice sú takmer bez opotrebovania

6 Správanie výhybiek s podpodvalovými podložkami

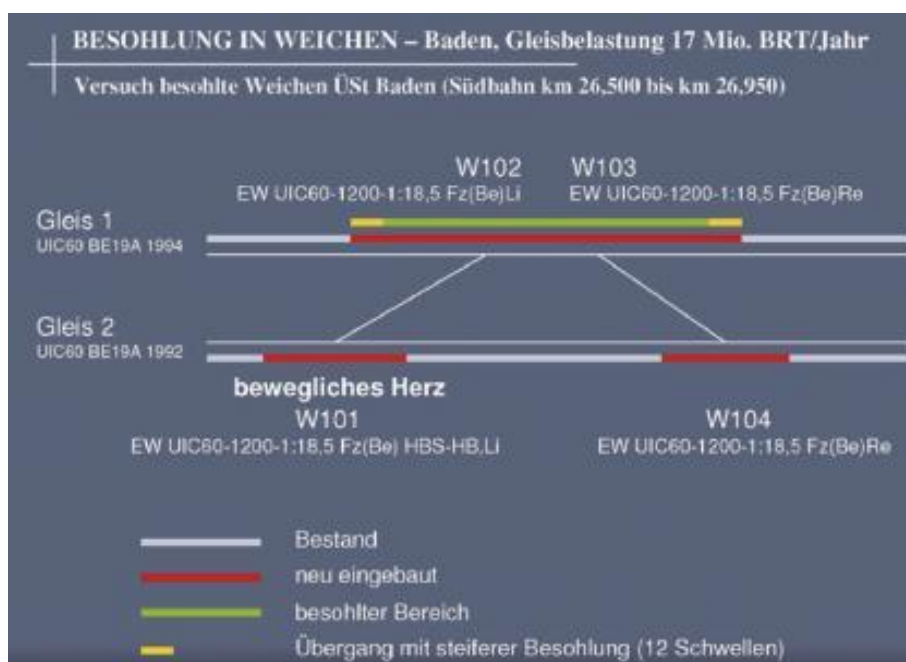
Od prvého použitia v roku 2002 bolo v sieti ÖBB do konca roku 2007 vložených 87 výhybiek s použitím podpodvalových podložiek. Pozitívne účinky podpodvalových podložiek sa potvrdili aj vo výhybkách. Výhybkové podvaly s podpodvalovými podložkami svojou ochranou štrkového lôžka a vyššou elasticitou systému prispievajú k lepšej kvalite geometrickej polohy výhybiek a nižším nákladom na ich údržbu [8].

6.1 Návrh podpodvalových podložiek do výhybiek

Pri výbere podpodvalových podložiek pre výhybky sa museli brať do úvahy rôzne požiadavky, predovšetkým požiadavky na rovnomerné elastické priehyby koľajnicových pásov na podvaloch s rôznymi podmienkami uloženia (dĺžka podvalu a ložná plocha). Na tento účel sa použil výpočtový model metódy konečných prvkov (Obrázok 1-23) [9]. Preto je v priestoroch výhybiek potrebné používať rôzne podpodvalové podložky. Pre rozličné štandardné typy výhybiek boli vypracované zodpovedajúce montážne a kladačské plány.



Obrázok 1-23 Model vytvorený metódou konečných prvkov na dimenzovanie rovnomerného sadania a dynamického priehybu výhybiek



Obrázok 1-24 Usporiadanie výhybiek s podpodvalovými podložkami v skúšobnom úseku W101 - výhybka 101

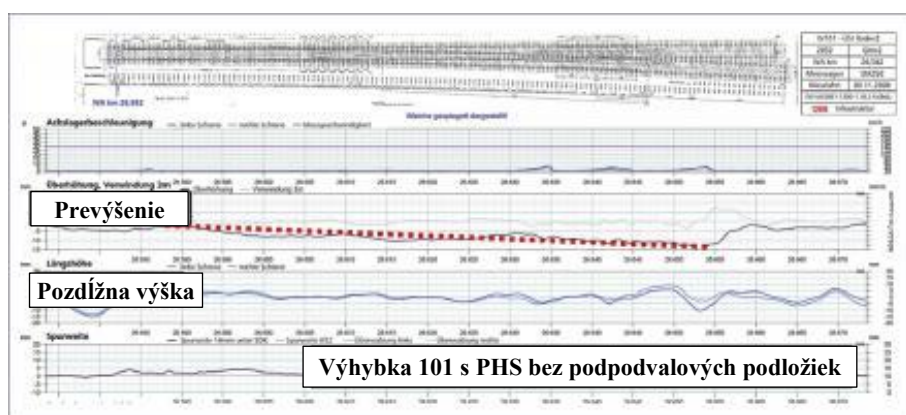
6.2 Kvalita geometrickej polohy výhybiek s podpodvalovými podložkami

V nasledujúcom texte sa hovorí o záznamoch merania železničného zvršku z prvej skúšobného použitia výhybky s podpodvalovými podložkami v roku 2002 neďaleko mesta Baden (Südbahn). Obrázok 1-24 zobrazuje usporiadanie skúšobného úseku. Obrázok 1-25 a Obrázok 1-26 znázorňujú porovnanie záznamov merania železničného zvršku medzi výhybkou 101 bez podpodvalových podložiek s pohyblivou srdcovkou a výhybkou 102 s použitím podpodvalových podložiek s pevnou srdcovkou

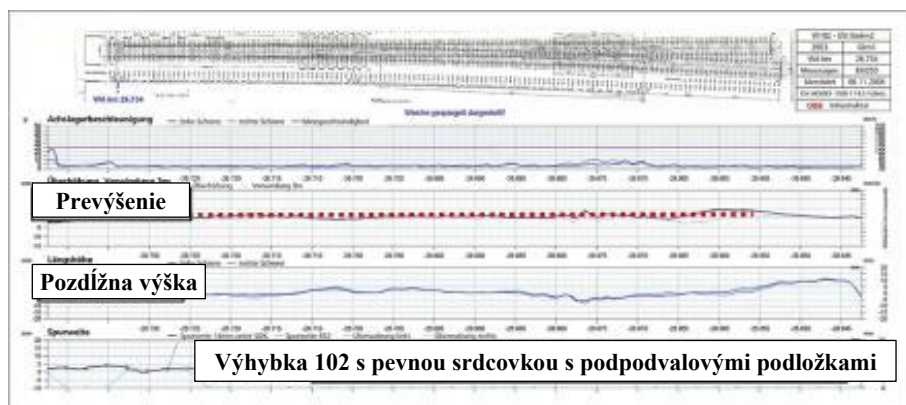
(obidve na betónových podvaloch). Výhybka bez podpodvalových podložiek 101 vykazuje tendenciu zbertenia sa počas prejazdu výhybkou (pozorovanie ZV po KV). Chyba prevýšenia stúpa od ZV až po posledný spoločný podval a potom klesá na krátkom úseku (spôsobuje chyby zbertenia). Signál pozdĺžnej výšky rovnako vykazuje nerovnomernú vertikálnu polohu koľajnicového pásu. Vertikálna poloha koľajnicového pásu v oblasti srdcovky (pohyblivá srdcovka) nevykazuje žiadne väčšie nepravidelnosti.

Výhybka 102 s použitím podpodvalových podložiek vykazuje výrazne lepšiu kvalitu geometrickej polohy koľaje (výhybky) z dôvodu nižšej miery zbertenia vo výhybke (prevýšenie a pozdĺžna výška).

Podobne ako pre koľaj, toto platí aj v oblasti výhybiek: ak sú komponenty správne navrhnuté, najmä s ohľadom na pružnosť, tak sa životnosť výhybiek použitím podpodvalových podložiek podstatne zvyšuje.



Obrázok 1-25 Záznam merania parametrov GPK vo výhybke 101 bez podpodvalových podložiek s pohyblivým hrotom srdcovky (PHS)



Obrázok 1-26 Záznam merania parametrov GPK vo výhybke s podpodvalovými podložkami s pevnou srdcovkou

7 Záver

Výsledky skúšok na tratiach s podpodvalovými podložkami poskytli za posledných jedenásť rokov dôležité poznatky o správaní koľaje a výhybiek. Začalo sa meniť zmýšľanie najmä pokiaľ ide o pružnosť koľajového roštu. Podpodvalové podložky a mäkké podložky pod pätu koľajnice dodávajú systému definovanú pružnosť, ktorá sa v klasickej konštrukcii železničnej trate obyčajne dosahuje prostredníctvom rôznych mechanizmov opotrebovania (opotrebovanie kameniva koľajového lôžka, uvoľňovanie upevňovacích prvkov atď.). Možno tiež predpokladať, že sa predĺži celková životnosť koľají a výhybiek. V hlavných tratiach ÖBB sa preto od roku 2006 pri zhotovovaní nových koľají a vkladaní nových výhybiek používajú betónové podvaly s podpodvalovými podložkami.

Ďalšie dôležité zistenie sa týka správania systému železničného zvršku. Konštrukcia koľaje a výhybky by sa mala vnímať ako systém a nie ako súčet jednotlivých prvkov. Ak sú komponenty navzájom zosúladené a prispôbené prevádzkovým podmienkam, použitie podpodvalových podložíek okrem ochrany kameniva koľajového lôžka tiež znižuje

- namáhanie podvalov,
- sadanie koľajového roštu,
- tvorbu vlnkovitosti,
- opotrebovanie podložíek pod pätu koľajnice a
- vibrácie.

Výsledky boli overené na rozličných skúšobných úsekoch. V súčasnosti prebieha program na optimálne navrhovanie prvkov železničného zvršku v závislosti na rôznych rámcových podmienkach, ako je tuhosť železničného spodku, polomer oblúkov, traťová rýchlosť, kvalita kameniva koľajového lôžka atď.

8 Literatúra:

- [1] Veit, P.: Habilitačná práca „Projektová strategická cesta“, Graz University of Technology 1999.
- [2] Engel, J.: Skript „Bodenmechanik“, HTW Drážďany.
- [3] Potvin, R.: Zapustenie koľajnice a tuhosť podpodvalových podložíek. EI - Der Eisenbahningenieur 59 (2008) 6, s. 9–44.
- [4] Ripke, B.; Pires, E.: Under Sleeper Pads - Simulácie dynamiky koľaje s rôznymi kombináciami tuhosti podložíek a pôdy. Výskumná správa, Mníchov 2006.
- [5] Schilder, R.: Skúsenosti s podvalmi s podpodvalovými podložkami. Prednáška, konferencia ÖVG, Salzburg 2004.
- [6] Fischer, J.: Vplyv frekvencie a amplitúdy na stabilizáciu štrku železničného zvršku. Dissertation, Graz University of Technology 1983.
- [7] Monaco, V. Výskumy k podvalom s podpodvalovými podložkami v železničnom zvršku. Dizertačná práca, Graz University of Technology 2004.
- [8] Auer, F.: Skúsenosti s podpodvalovými podložkami v úzkych oblúkoch a výhybkách. Prednáška Schwarzenberg 2007.
- [9] Loy, H.: Výpočtová optimalizácia výhybkových podvalov s podpodvalovými podložkami v železničnom zvršku. Špeciál ETR Rakúsko 2006, s. 366.

Časť 2. Ziskovosť v sieti ÖBB

Článok bol uverejnený v časopise ZEV Rail v roku 2009 v Nemeckom jazyku pod názvom „*Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 2: Wirtschaftlichkeit im Netz der ÖBB*“: 2009/11-12, ISSN 16188330

Autori: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Veit, Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig

Anotácia

Podpodvalové podložky chránia kamenivo koľajového lôžka, prvok, ktorý je najslabším článkom a je zvyčajne rozhodujúci pre životnosť železničného zvršku. Použitím podpodvalových podložíek pod koľajami a výhybkami sa zníži intenzita údržby a súčasne sa predĺži životnosť trate. V dôsledku týchto účinkov klesajú aj prevádzkové náklady, pričom pozitívne technické skúsenosti sú zdôraznené aj veľmi priaznivými hospodárskymi výsledkami.

Z tohto dôvodu sa môže použitie podpodvalových podložíek v hlavných koľajach a výhybkách na novo budovaných tratiach odporučiť bez obmedzenia. Implementácia podpodvalových podložíek v existujúcej sieti by sa mala sústrediť na trate so zaťažením koľaje vyšším ako 10,95 mil. hrt/rok a dodatočne aj v oblúkoch s malým polomerom. Na tratiach so zaťažením koľaje menším ako 5,48 mil. hrt/rok sa pri súčasnej (r. 2009) cenovej hladine podpodvalové podložky neodporúčajú.

Úseky s podpodvalovými podložkami a bez podložíek by sa nemali striedať často, pretože každý prechod vedie v dôsledku rôznych počiatočných sadaní koľajového roštu a následného odlišného správania sa kvality k individuálnym chybám, ktoré sú náročné na údržbu. Preto by mali byť uprednostnené dlhšie úseky s podpodvalovými podložkami (koľaj a výhybky) pred použitím podpodvalových podložíek napríklad iba v oblúkoch malých polomerov.

1 Ekonomické hodnotenie železničného zvršku

Železničný zvršok, rovnako ako väčšina ostatných súčastí železničnej trate, sa vyznačuje dlhou životnosťou. Otázky životnosti a údržby sú preto obzvlášť dôležité.

Ekonomické posúdenie musí preto pokrývať celú životnosť železničného zvršku, je vyžadované hodnotenie založené na posudzovaní nákladov životného cyklu [1]. Z dôvodu dlhej životnosti musí byť toto hodnotenie dynamické, teda musí zahŕňať aj náklady na viazanie kapitálu.

Napriek tomu by sa nikdy nemali pri rozhodovaní používať absolútne hodnoty nákladov životného cyklu. Tieto hodnoty nie sú stabilné kvôli dlhej životnosti trate a kvôli ťažko odhadnuteľným vplyvom, ako napríklad rozdielny rast cien jednotlivých druhov nákladov (mzdy, materiály a pod.).

Poradie rôznych prístupov k údržbe na základe hodnotenia nákladov na životný cyklus je však veľmi stabilné, pretože neistoty ovplyvňujú všetky možnosti rovnako, a teda majú malý alebo žiadny vplyv na celkové hodnotenie. K dispozícii sú analýzy citlivosti, ktoré preukazujú stabilitu tohto základu pre rozhodovanie.

Do hodnotenia musia byť navyše zahrnuté aj následné náklady na investíciu a údržbu, aby bolo možné správne zmapovať konkrétnu konštrukciu železničného zvršku z hľadiska jej nákladov a prínosov

v systéme železničných dráh. Náklady na obmedzenia prevádzky [2] v dôsledku stavebných opatrení alebo nedostatočnej kvality železničného zvršku sú neoddeliteľnou súčasťou komplexného posúdenia.

Každé posúdenie založené na nákladoch životného cyklu je založené na znalostiach správania sa zvršku ktorý sa posudzuje. Čas používania a intenzita údržby predstavujú základné vstupné údaje. Pri porovnávanom hodnotení známych konštrukcií železničného zvršku ich možno zvyčajne určiť s dostatočnou presnosťou zo skúseností; v prípade inovatívnych prvkov sa skúsenosti ako zdroj údajov neberú do úvahy.

Aby bolo možné zavčas hodnotiť prínos opatrení, je potrebné poznať všeobecné správanie železničného zvršku. Takýto výskum sa uskutočňuje v Ústave pre železničnú a dopravnú ekonomiku od konca 90. Rokov 20. storočia. Po mnohých prípravných prácach prebiehajú v súčasnosti práce na matematickom modeli správania sa železničného zvršku v prevádzke za najrôznejších okrajových podmienok. Za týmto účelom bola vyvinutá databáza v ktorej sú v súčasnosti k dispozícii údaje o 3 800 kilometroch koľaje na hlavných tratiach v Rakúsku so údajmi o ich stave (typ zvršku, rok vybudovania, smerové vedenie, singulárne body atď.), údajmi o preprave (celkové hrubo tony na koľaj a deň, maximálna rýchlosť, maximálne zaťaženie náprav) a údajmi o údržbe (vykonané údržbové zásahy), tiež údaje z jász meracích vozňov, všetky v časových sledoch od roku 2001 (Obrázok 2-1).

Toto umožňuje zahrnúť do databázy funkcie degradácie (zhoršovania) kvality pre každých päť metrov koľaje pre spomínaných 3 800 traťových kilometrov vo forme indexu kvality konštrukcie [3] (Obrázok 2-2). Funkcie degradačnej krivky majú tvar:

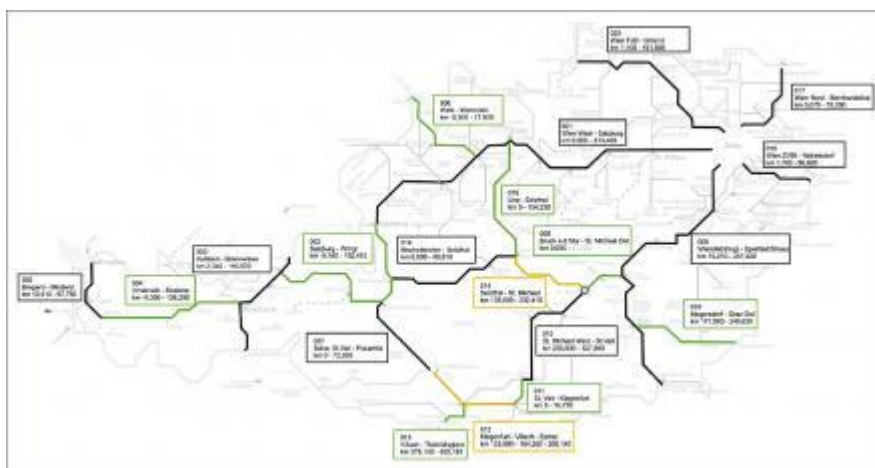
$$Q = Q_0 \cdot e^{bt} \quad (1)$$

Pričom:

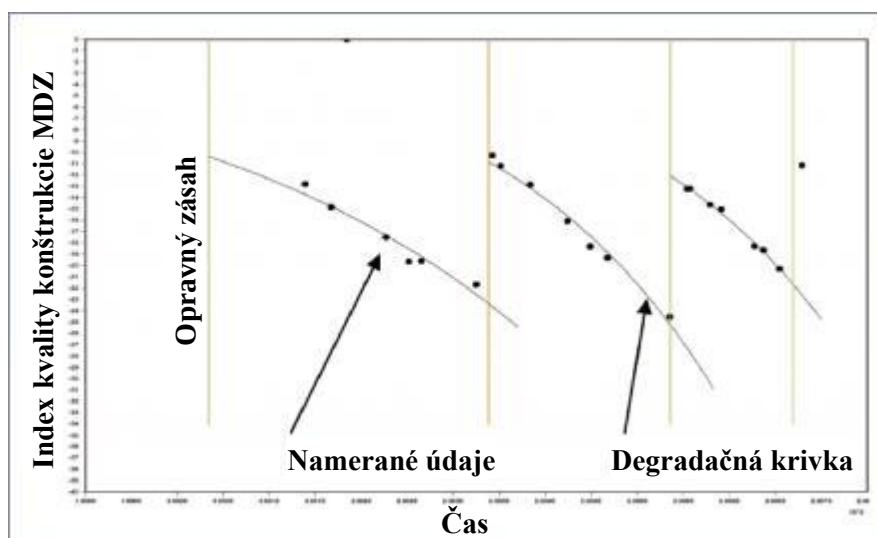
- Q = index kvality konštrukcie, aktuálna kvalita polohy koľaje v MDZ alebo vertikálna štandardná odchýlka (MDZ je číslo kvality založené na rozdieloch zrýchlenia, vertikálna štandardná odchýlka δH v mm sa určuje počas prejazdu meracieho vozňa),
- Q_0 = počiatková kvalita v čase novostavby alebo posledného údržbového zásahu,
- b = -miera zhoršenia,
- t = -čas

Použitie degradačnej krivky ako všeobecného kvalitatívneho modelu správania sa trate predstavuje matematické riešenie nespochybniteľnej skúsenosti: „Dobrá koľaj sa správa priaznivo, zlá sa rýchlo kazí.“ V priebehu výskumu bolo možné preukázať, že degradačná krivka popisuje správanie kvality trate s veľmi vysokou presnosťou, ale aj že miera zhoršenia „ b “ značne kolíše. Je to pochopiteľné, pretože „ b “ predstavuje reakciu zvršku na všetky okrajové podmienky. Cieľom súčasného výskumu je preto identifikovať parametre relevantné pre „ b “ a kvantifikovať ich vplyv. Inštitút tak má k dispozícii mocný nástroj na výskum správania sa kvality zvršku, doterajšie výsledky to potvrdzujú [4].

Všeobecné zásady, ako napríklad vzťah medzi intenzitou údržby a životnosťou, umožňujú relatívne skoro preskúmať správanie zvršku, a to aj pri inovatívnych prvkoch ako sú podvaly s podpodvalovými podložíkami a vyvodit' závery o dlhodobom správaní trate. Táto úvaha funguje, pretože zvršok nemení svoje správanie (hodnotu „ b “) bez zásahu, údržby alebo zmeny okrajových podmienok.



Obrázok 2-1 Železničné trate v databáze Technickej univerzity v Grazi na skúmanie správania kvality koľaje



Obrázok 2-2 Zhoršujúce sa správanie kvality koľaje v úseku koľaje

2 Všeobecné zistenia projektu ÖBB „Stratégia železničnej dráhy“

V dlhodobej spolupráci s Rakúskymi spolkovými železnicami boli stratégie údržby tratí spočiatku založené na skúsenostiach a v súčasnosti sa vypracúvajú na základe funkčných súvislostí vývoja kvality polohy koľaje [5, 6]. Všetky výsledky vedú rovnakým smerom: Z dôvodu prevahy investičných nákladov v rámci nákladov životného cyklu koľaje a výhybiiek má zmysel predĺžiť životnosť železničného zvršku. K dispozícii sú v zásade dve možnosti:

1. predĺženie času prevádzkovania trate prijatím trvalých obmedzení rýchlosti na konci doby životnosti a
2. predĺženie životnosti prostredníctvom väčších investícií do kvality trate.

O zavedení trvalých obmedzení rýchlosti by sa nemalo uvažovať, pretože sa tým zvyšujú náklady na životný cyklus v dôsledku vysokých prevádzkových nákladov, s výnimkou veľmi slabo používaných tratí.

Predĺženie životnosti venovaním väčšej pozornosti kvalite sa ukázalo ako ekonomicky životaschopné, pričom po väčších investíciách do kvality musí nasledovať aj zodpovedajúca údržba. Investície vytvárajú potenciál pre dlhú životnosť, a tým aj pre hospodárny železničný zvršok, údržba tento potenciál skutočne premieňa na životnosť.

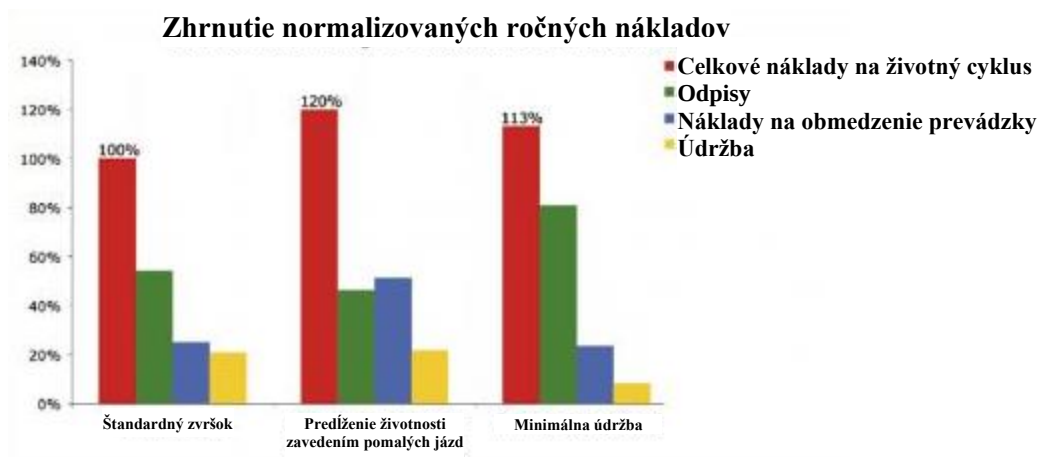
Obrázok 2-3 zobrazuje negatívne dôsledky dlhodobých obmedzení rýchlosti, ako aj výrazne zníženej údržby v podobe priemerných ročných nákladov na železničný zvršok pre silno zaťaženú trať, v ich dopadoch na priemerné ročné náklady (vzťahnuté na celý životný cyklus) a na jednotlivé položky: odpisy, prevádzkové náklady a náklady na údržbu. Tieto výsledky, ktoré platia aj pre výhybky s podobnými hodnotami, ukazujú, že jediným udržateľným spôsobom na zlepšenie ekonomickej efektívnosti železničného zvršku je zameranie sa na kvalitu.

Rôzne hodnotenia navyše ukazujú, že kritickým prvkom železničného zvršku, teda prvkom, ktorý obvykle obmedzuje životnosť, je kamenivo koľajového lôžka. Toto je spôsobené malou kontaktnou plochou medzi betónovým podvalom a kamenivom. Skúšky preukázali, že iba asi 3 až 5 % ložnej plochy betónového podvalu je v kontakte s kamenivom, po dynamickej stabilizácii až do 9 % a pred podbíjaním okolo 12 %.

Všeobecné analýzy kvalitatívneho správania sa trate tiež ukázali, že nízka miera degradácie kvality nielenže znižuje potrebu údržby, ale tiež predlžuje životnosť železničného zvršku, najmä ak je nižšia intenzita údržby spôsobená ochranou kameniva koľajového lôžka. Očakávané predĺženie životnosti železničného zvršku je možné vyjadriť pomocou závislosti na požadovanom cykle podbíjania: Zdvojnásobenie cyklu podbíjania vedie k predĺženiu životnosti železničného zvršku o štvrtinu až tretinu. Uplatňujú sa rovnaké medzné hodnoty kvality koľaje pre vykonanie údržbového zásahu. Ak sa cyklus podbíjania dosiahne uvoľnením medzných hodnôt, životnosť sa zníži z dôvodu nízkej kvality a nelineárneho správania sa koľaje pri jej degradácii.

Ak sa predĺži životnosť trate, musí sa, samozrejme, naplánovať aj zodpovedajúca údržba. Ďalej je potrebné skontrolovať, či prvky: koľajnice, podložky pod päť koľajnice, prvky upevnení a kamenivo majú zodpovedajúce rezervy pre príslušnú životnosť alebo či je potrebné ich vymeniť.

Tieto výsledky naznačujú pozitívne technické účinky podvalov s podpodvalovými podložkami, pretože sa vytvoria kontaktné plochy podval / kamenivo v rozsahu 30 až 35% ložnej plochy podvalu, týmto sa chráni kritický prvok – kamenivo koľajového lôžka – a preto možno očakávať predĺženie životnosti koľaje, čo zase naznačuje vysokú ekonomickú účinnosť prijatých opatrení.



Obrázok 2-3 Rozdelenie priemerných ročných nákladov na silne zaťaženú trať (zaťaženie koľaje: > 25,55 mil. hrt/rok, zvršok: 60E1 na konvenčných betónových podvaloch)

3 Podvaly s podpodvalovými podložkami v sieti ÖBB

Ako sa uvádza v [7], v rokoch 1996 až 2007 bolo v sieti ÖBB uložených okolo 220 000 podvalov s podpodvalovými podložkami a 87 výhybiek na betónových podvaloch s podpodvalovými podložkami. Nasledujúce príklady hodnotení sú z úsekov, ktoré boli vybudované pomerne skoro, preto sú k dispozícii dlhšie časové údaje vývoja kvality. Ide o silne zaťažené úseky dvojkoľajnej Západnej trate „Westbahn“ (zaťaženie koľaje okolo 25,55 mil. hrt/rok) v mieste pripojenia k Südbahn (zaťaženie koľaje okolo 18,25 mil. hrt/rok). Prvé technicko-ekonomické hodnotenia týchto úsekov pochádzajú z roku 2007. Výsledky týchto prvých vyhodnotení [8] boli dokonca prekročené výsledkami súčasných výpočtov. Toto je spôsobené na jednej strane zmenami v nákladoch na údržbu železničného zvršku a na druhej strane skutočnosťou, že pri prvých hodnoteniach boli, v zásade, vyvodené konzervatívnejšie závery.

3.1 Podvaly s podpodvalovými podložkami na trati Westbahn

Okrem vyhodnotenia vývoja kvality polohy koľaje vo forme funkcie degradácie (zhoršovania) kvality koľaje úseku s podpodvalovými podložkami, databáza umožňuje identifikovať úsek bez podpodvalových podložiek, ktorý je porovnateľný z hľadiska jeho parametrov (typ zvršku, polomer oblúkov, vek, kvalita železničného spodku, dopravné zaťaženie) a porovnať jeho správanie so správaním úseku s podpodvalovými podložkami. V konkrétnom prípade ide o tieto hodnoty:

Referenčný úsek

<i>počiatočná kvalita</i>	<i>Q₀:</i>	0,40 mm [štandardná vertikálna odchýlka],
<i>miera zhoršenia</i>	<i>b:</i>	0,52,

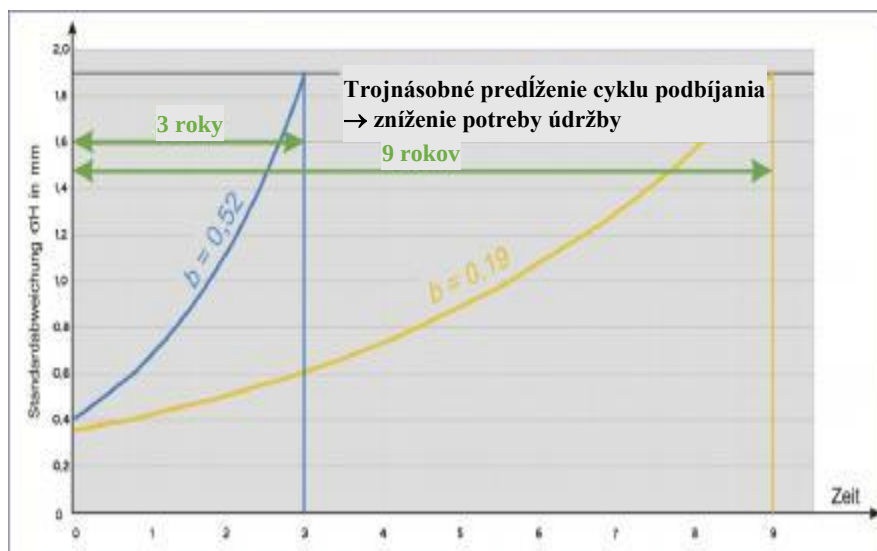
Úsek s podpodvalovými podložkami

<i>počiatočná kvalita</i>	<i>Q₀:</i>	0,34 mm [štandardná vertikálna odchýlka] a
<i>miera zhoršenia</i>	<i>b:</i>	0,19.

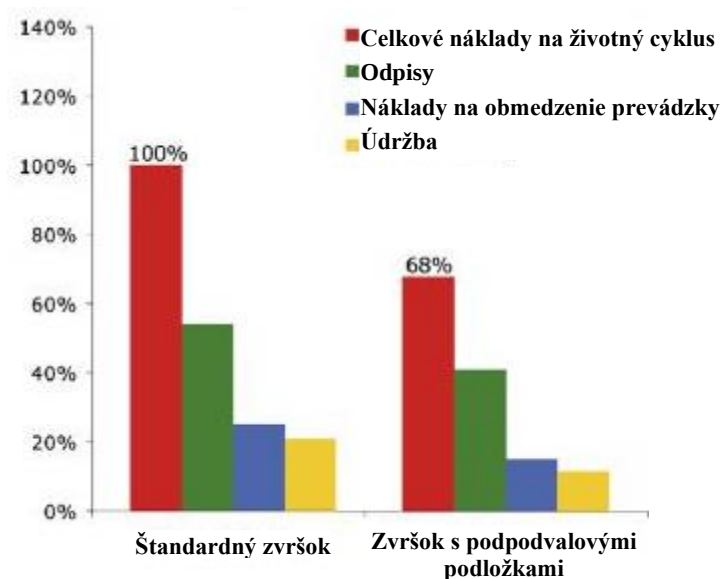
Obrázok 2-4 zobrazuje správanie sa kvality polohy koľaje v priebehu času. Je vidieť, že medza údržbového zásahu pre úsek s podpodvalovými podložkami sa dosiahne až po trojnásobnom čase (po deviatich namiesto troch rokov). Toto ukazuje na významné zníženie potreby údržby. Ak sa vezme do úvahy vzťah medzi podbíjajúcim cyklom a životnosťou koľaje so zodpovedajúcimi požiadavkami na údržbu, začnú byť sú k dispozícii všetky vstupné údaje na porovnanie nákladov životného cyklu bežnej koľaje a koľaje s podpodvalovými podložkami.

Mimoriadne pozitívne hospodárske výsledky pri súčasnej cene 30 eur za podložku ukazuje Obrázok 2-5. Toto priame zníženie nákladov zodpovedá vnútornej úrokovej sadzbe 12 %, čo je veľmi vysoká hodnota pre opatrenia v oblasti infraštruktúry. Toto znamená statickú amortizáciu desať rokov a dynamickú amortizáciu (zadanú reálnu úrokovú sadzbu 5 %) dvanásť rokov. Pri výpočtoch sú zohľadnené aj náklady na obmedzenia prevádzky.

Skúmania úsekov tratí s rôznymi polomerami oblúkov ukazujú zvýšenie ekonomickej efektívnosti podvalov s podložkami u tratí s oblúkmi menších polomerov. Analýza úsekov tratí s rôznymi objemami prepravy ukazuje minimálny objem prepravy na trati vo výške 5,48 mil. hrt/rok pri súčasnej cene 30 eur a zadanej úrokovej sadzbe 5 %. Použitie podpodvalových podložiek pod túto hodnotu nemá za uvedených okolností zmysel. Ak sa cena podpodvalových podložiek zníži na 25 eur, tak pri zadanej úrokovej sadzbe 5 % ich použitie už nebude vôbec závisieť od objemu prepravy.



Obrázok 2-4 Zmena kvality konvenčného železničného zvršku a zvršku s podpodvalovými podložkami



Obrázok 2-5 Priemerné ročné náklady na konvenčný železničný zvršek a zvršek s podpodvalovými podložkami

3.2 Výhybkové podvaly s podpodvalovými podložkami na trati „Südbahn“

Hodnotenie bolo vykonané na príklade prvých výhybiek na podvaloch s podpodvalovými podložkami, ktoré boli vložené do tratí ÖBB v uzle Baden v roku 2002. Pre toto hodnotenie je teda k dispozícii aj dostatočne dlhý časový úsek vývoja kvality polohy koľaje.

Do existujúcej trate Südbahn bola vložená nová výhybňa bez výmeny koľajového lôžka. Na vyhladenie prirodzených diskontinuit vo výhybkách výhybky boli zvolené rôzne tuhosti podpodvalových podložiek [7]. Ďalej boli merané počiatkové sadania týchto štyroch výhybiek tvoriacich výhybňu, z toho dve s pevným hrotom srdcovky a podpodvalovými podložkami, jedna s pevným hrotom srdcovky bez podpodvalových položiek a jedna s pohyblivým hrotom srdcovky tiež bez podpodvalových podložiek.

Vyhodnotenie údajov z meracích vozňov ukazuje ohromujúci obraz:

výhybka bez podpodvalových podložiek s pevným hrotom srdcovky

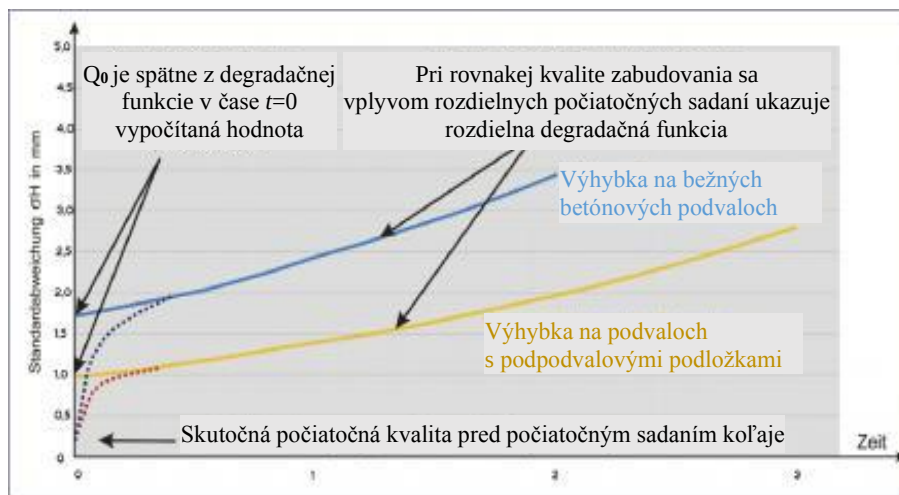
počiatočná kvalita	Q_0 :	1,70 mm [štandardná vertikálna odchýlka],
miera zhoršenia	b :	0,35

výhybka s podpodvalovými podložkami s pevným hrotom srdcovky

počiatočná kvalita	Q_0 :	0,98 mm [štandardná vertikálna odchýlka]
miera zhoršenia	b :	0,23.

Prvou pozoruhodnou vecou je zlá počiatočná kvalita, ktorá je spôsobená tým, že v danom úseku bolo ponechané staré kamenivo koľajového lôžka. Napriek tomu je na prvý pohľad zarážajúce, že výhybka s podpodvalovými podložkami už vykazuje lepšiu počiatočnú kvalitu, hoci po nej zatiaľ neprešiel ani jeden vlak! Toto plynie z definície počiatočnej kvality a správania sa koľaje pri degradácii jej kvality. Koľajový rošt a výhybky po vložení do koľaje trpia počiatočnými sadaniami, ktoré pomerne rýchlo ustúpia. Až potom sa ukazuje správanie kvality podľa degradačnej krivky. Aby nedošlo ku skresleniu degradačnej funkcie počiatočnými chybami, na jej stanovenie sa použijú iba údaje z meracích vozňov po ukončení počiatočných sadaní. Hodnota Q_0 je teda fiktívna hodnota, ktorá je výsledkom degradačnej funkcie pre čas $t = 0$.

Je preto pochopiteľné, že Q_0 má lepšiu hodnotu pre výhybky s podpodvalovými podložkami a počiatočné sadania musia byť nižšie ako pri výhybkách bez podložiek, lebo podložkami sa zvýšila kontaktná plocha podval/kamenivo (Obrázok 2-6). Táto súvislosť môže byť potvrdená na základe merania počiatočného sadnutia vykonaného ÖBB (Obrázok 2-7).

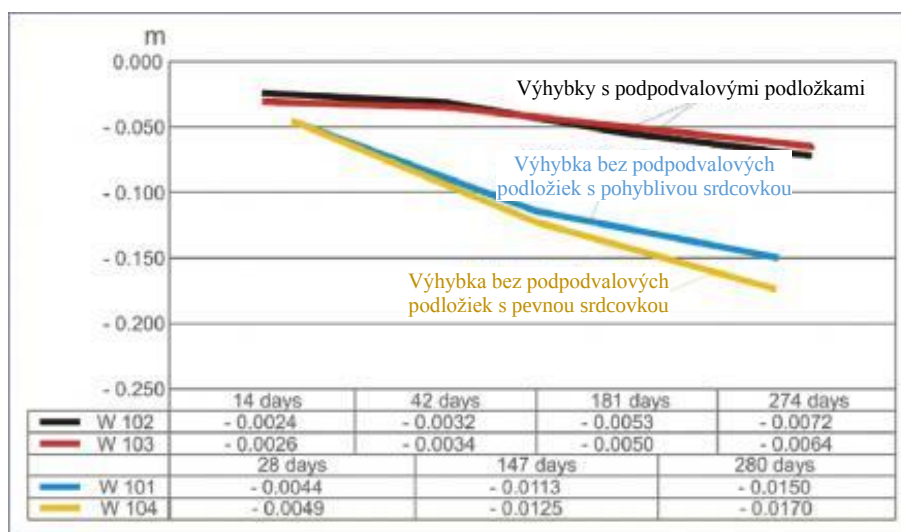


Obrázok 2-6 Priebeh kvality konvenčných výhybiek (modrá krivka) a výhybiek s podpodvalovými podložkami (žltá krivka), obidve s pevnou srdcovkou

Je zrejmé, že počiatočné sadnutie výhybiek s podpodvalovými podložkami a pevnou srdcovkou je ešte menšie ako sadanie výhybiek bez podložiek s pohyblivou srdcovkou už pri zaťažení koľaje 18,25 mil. hrt/rok.

Priebeh správania sa kvality koľaje vo výhybkách ukazuje Obrázok 2-6. Z neho vyplýva aj výsledné zníženie údržby. Pre stanovenie životnosti je však nutné zohľadniť vplyv zvýšenej kvality „ Q_0 “ a rozličné hodnoty miery degradácie „ b “. Uskutočňuje sa to jednoduchým spôsobom tým, že k existujúcej životnosti sa pripočíta časové rozpätie, o ktoré dlhšie trvá zlepšenému Q_0 dosiahnutie

zásahovej úrovne. Tento prístup predstavuje konzervatívne hodnotenie, pretože kvalitatívna výhoda zvýšenej hodnoty Q_0 sa stratí už pred prvým údržbovým zásahom, a to práve odložením tohto zásahu.



Obrázok 2-7 Počiatočné sadanie výhybiek vo výhybni v Badene

Z toho vyplývajúce predĺženie životnosti môže potom byť pripisované iba priaznivejšej miere degradácie „b“. Výskumy správania sa kvality koľaje [9] však ukazujú, že skorším zásahom a teda neštandardnou zásahovou úrovňou je možné ďalej predĺžiť životnosť. Takto dosiahnutá možnosť sa však pri hodnotení nepoužila. Zvolený konzervatívny prístup vedie k predĺženiu doby životnosti koľaje o približne 25 %. Na tento čas sa však musí, samozrejme, naplánovať zodpovedajúca údržba. Okrem toho je potrebné zaoberať sa otázkou, či všetky jednotlivé časti výhybky majú vo svojich komponentoch takú rezervu životnosti. Zatiaľ čo prídržnice a jazyky sa zvyčajne nemusia vymieňať, pri srdcovkách z liatej tvrdej mangánovej ocele je to individuálne. Preto sa hodnotenia uskutočňovali jedenkrát s výmenou a jedenkrát bez dodatočnej výmeny srdcovky.

Ekonomické výsledky sú, tak ako sa očakávalo, pri statických úsporách 21 % bez dodatočnej výmeny srdcovky resp. 18 % s dodatočnou výmenou srdcovky veľmi pozitívne (Obrázok 2-8).

Napriek tomu je prekvapujúce, že ani bez dodatočnej výmeny srdcoviek sa nedosahuje hodnota úspor aká je na koľajach s podložkami. Je to ohromujúce, pretože výhybky sú citlivejšie stavebné časti, ktoré by mali na vyššiu stabilitu geometrickej polohy reagovať ešte pozitívnejšie ako koľaj.

Príčinu je možné nájsť v dvoch skutočnostiach:

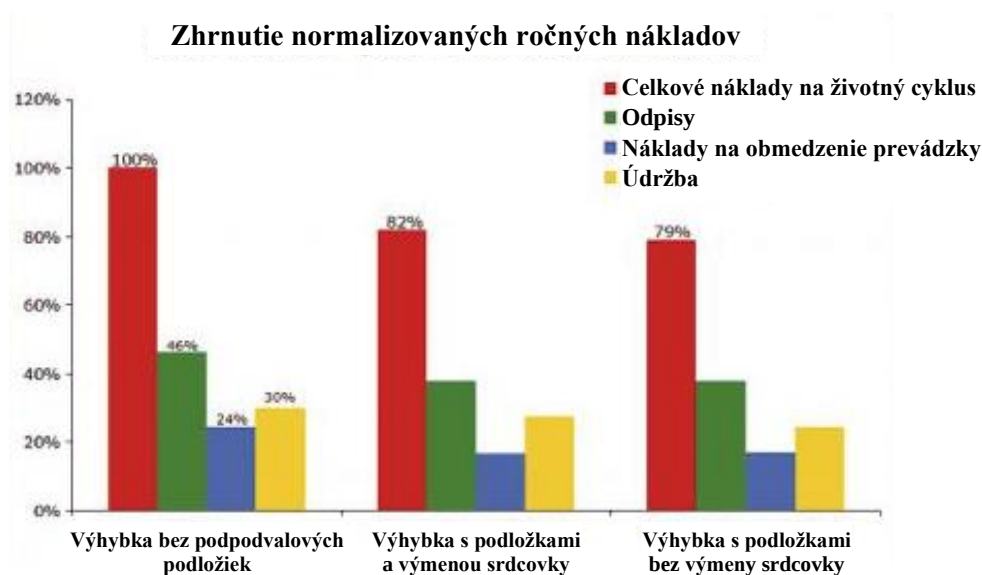
Po prvé, k dispozícii je len niekoľko výhybiek s podpodvalovými podložkami so skorším dátumom uloženia, a teda známeho kvalitatívneho správania v dlhšom časovom období. Toto vedie ku konzervatívnejšiemu hodnoteniu pozitívnych účinkov.

Po druhé, treba zdôrazniť, že v prípade výhybky okrem opatrení údržby, ktoré možno vysledovať až k problémom s geometrickou polohou, vyžaduje výhybka podstatne väčší počet opatrení, ako je to v prípade koľaje. To znamená, že úspory v oblasti údržby sa nemôžu percentuálne zhodovať s hodnotou úspor v koľaji.

Interná úroková sadzba, t.j. úrok z prostriedkov dodatočne použitých na podložky, je o 13 až 15 % vyššia ako úroková sadzba pri koľaji. Je to spôsobené odlišnou štruktúrou investičných nákladov. Dodatočná investícia do podpodvalových podložiek vo výhybkách predstavuje nižší podiel nákladov na výhybky, ako je to v prípade koľaje. S cieľom porovnať ekonomické výsledky koľají a výhybiek je potrebné zaznamenať pomer nákladov na životný cyklus 1 m trate ku nákladom na 1 m hlavnej vetvy

výhybky. Pri jednoduchej výhybke bez prevýšenia a transformácie je táto hodnota v rozmedzí 1:11 až 1:13 [6].

Z ekonomického hľadiska je preto možné bezvýhradne odporučiť výhybky s podpodvalovými podložkami na hlavných koľajach hlavných tratí.



Obrázok 2-8 Priemerné ročné náklady na bežné výhybky v porovnaní s nákladmi na výhybky na podvaloch s podpodvalovými podložkami

4 Uvedenie do praxe

Na základe týchto výsledkov možno bez obmedzení odporučiť podpodvalové podložky na hlavných koľajach a pod výhybky na nových tratiach. Implementácia podpodvalových podložiek v existujúcej sieti by sa mala sústrediť na trate so zaťažením koľaje vyšším ako 10,95 mil. hrt/rok a tiež na trate s oblúkmi malých polomerov. Na tratiach so zaťažením koľaje nižším ako 5,48 mil. hrt/rok podpodvalové podložky pri súčasnej cenovej hladine neodporúčame.

Úseky s podpodvalovými podložkami a bez podložiek by sa zásadne nemali často striedať, pretože každý prechod vedie k lokálnym chybám v geometrickej polohe koľaje v dôsledku rôznych počiatkových sadaní a následného odlišného správania sa kvality, ktoré sú naopak náročné na údržbu. Preto je vhodnejšie uprednostniť zriaďovanie dlhých ucelených úsekov s podpodvalovými podložkami pod koľajami a výhybkami ako používať podpodvalové podložky iba v oblúkoch malých polomerov.

Zníženie potreby údržby je hlavným pozitívnym účinkom podpodvalových podložiek. Koľaj s podpodvalovými podložkami, resp. výhybka s podpodvalovými podložkami však takisto vyžadujú údržbu a nemôže to byť inak. Investícia prináša s dosiahnutou počiatkovou kvalitou veľmi vysoký potenciál životnosti. Až dôsledná údržba skutočne premieňa tento potenciál na životnosť. Rovnako ako v prípade všetkých koľají a výhybiek platí aj pre úseky s podpodvalovými podložkami:

Nadmerné zníženie údržby (tzn. zníženie zásahových úrovní a tým aj prijateľnej kvality) vedie k zníženiu životnosti koľají a výhybiek.

Bez ohľadu na veľmi pozitívne výsledky podpodvalových podložiek v koľajach a výhybkách, dovol'te ešte poznámku. Parameter, ktorý má najväčší vplyv na celoživotné náklady na koľaj a výhybky, je deformačná odolnosť podložia a s ňou úzko súvisiaca funkčnosť drenáže [10, 11]. Až keď sú

zabezpečené tieto dva základné predpoklady pre technicky a ekonomicky fungujúcu koľaj resp. výhybku, môže byť úspešná ďalšia optimalizácia v oblasti prvkov železničného zvršku, ako je napríklad tu opísané použitie podpodvalových podložiek. Aj keď sú podpodvalové podložky technicky účinné a hospodárne, nemôžu byť v žiadnom prípade zázračným liekom na riešenie nedostatočnej kvality podložia resp. drenáží. Odporúčania uvedené v tomto článku týkajúce sa použitia podpodvalových podložiek pre koľaje resp. výhybky sa preto všeobecne týkajú koľají a výhybiek na stabilnom podloží s funkčnou drenážou.

V ÖBB predstavuje železničný zvršok 60E1 na betónových podvaloch s podpodvalovými podložkami pre nové trate súčasný štandard pre koľaje a výhybky v hlavných tratiach. V priebehu re-investície v súčasnosti závisí použitie podvalov s podpodvalovými podložkami od zaťaženia trate. V prípade zaťaženia koľaje nad 10,95 mil. hrt/rok sa bezpodmienečne vkladajú podvaly s podpodvalovými podložkami, pri zaťažení koľaje pod 5,48 mil. hrt/rok sa od toho upúšťa.

5 Literatúra

- [1] Veit, P.: Instandhaltung und Anlagenmanagement. In: Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Hrg.: Lothar Fendrich. Verlag Springer Berlin, Heidelberg, New York, Seite 873–925.
- [2] Veit, P.; Petri, K.: Betriebserschwerungskosten – ein Baustein zur Systemoptimierung. ZEVrail 132 (2008) 5, S. 168–175.
- [3] Holzfeind, J.; Hummitzsch, R.: Qualitätsverhalten von Gleisen. ZEVrail 132 (2008) 6-7, S. 212–224.
- [4] Holzfeind, J.; Hummitzsch, R.: Qualitätsverhalten von Gleisen – Zusammenhänge zwischen Parameterkennwerten und Verschlechterungsverhalten. ZEVrail 133 (2009) 6-7, S. 240–250.
- [5] Veit, P.: Entwicklung von Eisenbahnfahrwegstrategien auf Basis von Lebenszykluskosten. Internationales Verkehrswesen (2000) 9, S. 381–385.
- [6] Veit, P.: Strategie Weichen – ein Teil des Projekts „Strategie Fahrweg“ der Österreichischen Bundesbahnen. ZEVrail Glas. Ann. 127 (2003) 2, S. 81–85.
- [7] Auer, F.; Schilder, R.: Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1: Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB. ZEVrail 133 (2009) 5, S. 180–193.
- [8] Veit, P.: Wirtschaftlichkeit von Schwellenbesohlungen im Gleis. Seminar „Erfahrungen mit besohlenen Schwellen und Lösungen für Weichen“, Schwarzenberg 15.–16.11.2007.
- [9] Veit, P.: Rechenmodell zur Bewertung von Oberbaustrategien. Habilitationsschrift, TU Graz 1999.
- [10] Veit, P.; Marschnig, St.: Projekt „Strategie Komponenten Schienen“. Graz 2005.
- [11] Veit, P.; Marschnig St.: Projekt „Strategie Komponenten Weichen“. Graz, 2005.