

# REŠERŠE PROBLEMATIKY PODPRAŽCOVÝCH PODLOŽEK PRO ZEFEKTIVNĚNÍ NÁVRHU ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ

Pavel Vrba, \*

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,  
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.  
pavel.vrba@fsv.cvut.cz

## ABSTRAKT

Výstavba vysokorychlostních tratí je aktuálním tématem železniční dopravy v ČR. V rámci návrhu mostů vysokorychlostních tratí jsou kladeny zvýšené nároky na dynamickou odezvu konstrukce, která se přímo podílí na plynulosti a bezpečnosti provozu. Odezva konstrukce mostu na dynamická zatížení je ovlivněna samotným zatížením, vlastnostmi konstrukce, ale také skladbou železničního svršku, který se na přenosu zatížení zásadním způsobem podílí.

Problematika podpražcových podložek je z pohledu aplikace v konstrukci železničního svršku často zkoumaným fenoménem, avšak při návrhu mostních konstrukcí je přehlížena. Prohloubením znalostí týkajících se funkce podpražcových podložek a jejich vhodným zohledněním společně s dalšími prvky koleje může vést ke zefektivnění návrhu konstrukce železničních mostů.

Cílem příspěvku je shrnutí aktuálního stavu legislativy týkající se podpražcových podložek a rámcová rešerše této problematiky.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Podpražcové podložky, kolej, železniční most, dynamická odezva mostu, normy

## ABSTRACT

The construction of high-speed railways is a current topic in railway transportation in the Czech Republic. Designing bridges for high-speed railways requires increased demands on the dynamic response of the structure, which directly contributes to the smoothness and safety of operations. The response of a bridge structure to dynamic loads is influenced by the load itself, the properties of the structure, and the composition of the railway superstructure, which plays a crucial role in load transmission.

The issue of sleeper pads is a frequently studied phenomenon in the application of railway superstructure construction, but it is overlooked in the design of bridge structures. Enhancing knowledge about the function of sleeper pads and their appropriate consideration, along with other track elements, can lead to more efficient design of railway bridges.

The aim of this article is to summarize the current state of legislation regarding sleeper pads and to provide general research on this issue.

## KEYWORDS

Under sleeper pads, rail, railway bridge, dynamics bridge response, norms

## 1. ÚVOD

### 1.1. Obecně

Projekty staveb vysokorychlostních tratí na území české republiky s sebou přináší řadu nových principů a pravidel platných pro jejich návrh. Mosty vysokorychlostních tratí jsou v našem regionu zcela novou skupinou konstrukcí, při jejíž návrhu je nutné použít dosud opomíjených postupů jako je například analýza dynamické odezvy. Vysokorychlostní tratě s sebou zároveň přináší potřebu použití řady dosud málo využívaných konstrukčních prvků jako jsou kolejnicová dilatační zařízení nebo podpražcové podložky.

Aktuálním trendem na poli návrhu železničních mostů jsou realizace mostů s průběžným kolejovým ložem. Výhodami tohoto řešení jsou snížení hladiny hluku, zefektivnění mechanizované údržby a menší změna tuhosti trať/most. Legislativní dokumenty předpokládají použití BK na veškerých tratích VRT. Na základě tohoto předpokladu je nutné zohlednit požadavky na BK při navrhování koncepce mostů a ověřit jejich splnění při posouzení. Dle dalších závazných dokumentů se předpokládá použití podpražcových podložek v síti VRT, na základě řady pozitivních přínosů získaných na testovacích úsecích.

### 1.2. Podpražcové podložky

Podpražcová podložka neboli USP (under sleeper pads), je pružná vrstva upevněná na ložné ploše příčných nebo výhybkových pražců. Hlavním důvodem použití podpražcových podložek je ochrana kolejového lože. Vložením podložky pod pražec dochází ke zvětšení kontaktní plochy mezi pražcem a kolejovým ložem, což vede ke snížení kontaktního napětí. Použitím podložek v koleji dále dochází k přenosu zatížení na větší počet pražců, které vede k dalšímu přerozdělení zatížení a prodloužení životnosti všech komponent železničního

---

\* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

svršku. Další benefity jsou podrobněji popsány v kapitole 4 tohoto článku.

Z hlediska návrhu železničních mostů není problematika podpražcových podložek příliš akcentována. Použití podpražcových podložek může být přínosem při návrhu železničních mostů. Prvním předpokladem pro lepší návrh konstrukce je efektivnější distribuce zatížení skrze konstrukci koleje. Druhým aspektem je vliv podložky, jakožto prvku z elastického materiálu, na dynamickou odezvu koleje i mostu (ovlivnění tuhosti, útlumu koleje). Naproti tomu, dle znění příslušných dokumentů může mít použití podložky s nevhodnými parametry i negativní důsledky.

Cílem příspěvku je shrnutí aktuálního stavu legislativy a poznatků dosavadních výzkumných prací ve smyslu použití podpražcových podložek a jejich vlivu na návrh konstrukce železničních mostů. Snahou příspěvku je poukázat na možné benefity zohlednění podpražcových podložek při návrhu železničních mostů, které mohou vést k efektivnější distribuci zatížení na konstrukci a optimalizaci návrhu.

## 2. REŠERŠE NORMOVÝCH PODKLADŮ

V rámci rešerše byly hledány dosavadní poznatky k problematice použití podpražcových podložek, jejich vlivu na návrh mostní konstrukce a konstrukce železničního svršku. Prvním krokem bylo nastudování stávajícího stavu legislativy dle norem z řady Eurokódů, směrnic Mezinárodní železniční unie (směrnice UIC a IRS) a v interních předpisech národní Správy železnic (SŽ). Z důvodu značné souvislosti s daným tématem byly zkoumány také dokumenty věnující se „Matracím pod kolejovým ložem“ a dokumenty pojednávající o „vysokorychlostních tratích“.

O problematice podpražcových podložek, jejich použití a dalších souvislostech byly zkoumány následující dokumenty:

- Normy EC
  - ČSN EN 16730
  - ČSN EN 17282
  - ČSN EN 1991-2
- Interní předpisy SŽ
  - Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR
  - Předpis SŽDC S3
  - Metodický pokyn pro navrhování pražců s podpražcovými podložkami
- Směrnice mezinárodní železniční unie (UIC a IRS)
  - IRS 70713-1
  - IRS 70719-1

### 2.1. Normové podklady

#### 2.1.1. ČSN EN 16730 Betonové příčné a výhybkové pražce s podpražcovými podložkami

Norma ČSN EN 16730 [1] doplňuje znění ČSN EN 13230 (která se podrobněji věnuje problematice betonových pražců) v případech, kdy je na pražce aplikována podpražcová podložka. Norma definuje zkušební postupy a kritéria pro vyhodnocení zkoušek za účelem stanovení vlastností podpražcové podložky (USP) samotné nebo v kombinaci s betonovým pražcem.

Přínosem této normy je definice termínů a charakteristik USP z pohledu fyzikálních vlastností. Norma nedefinuje požadavky na vlastnosti USP ani návrhové postupy k jejich stanovení. Stanovení požadovaných vlastností USP je dle normy odpovědností provozovatele trati (SŽ), případně lze předpokládat jejich definování v rámci projektové dokumentace. Předpis věnovaný návrhu požadovaných parametrů USP v rovině norem (eurokodu) nebyl v rámci dosavadního výzkumu nalezen.

#### 2.1.2. ČSN EN 17282 Rohože pod šterkovým ložem

Norma ČSN EN 17282 [2] je obdobou výše popisované normy ČSN EN 16730, která se zaměřuje na definování zkušebních postupů a kritéria vyhodnocování zkoušek pro stanovení fyzikálních vlastností rohoží pod šterkovým ložem (UBM = under ballast mat). Struktura, zaměření a cíle této normy jsou shodné s ČSN EN 16730, jedná se o aplikaci pro jiný zkoušený prvek. Norma nedefinuje požadavky na vlastnosti UBM ani návrhové postupy k jejich stanovení.

#### 2.1.3. ČSN EN 1991-2 Zatížení dopravou

ČSN EN 1991-2 [4] definuje užitná zatížení od kolejové dopravy zahrnující statické i dynamické složky, odstředivé, brzdné a rozjezdové síly a zatížení v mimořádných návrhových situacích. Dalším důležitým zatížením je interakce kolej / most při užití BK. Norma specifikuje hodnoty podélného odporu koleje a stanovuje požadavky pro bezpečný provoz BK. Rozsáhlá kapitola je věnována dynamickým účinkům zatížení, kdy norma předkládá požadavky na dynamickou analýzu ve smyslu uvažovaného zatížení, modelování zatížení, spektrum uvažovaných rychlostí a parametrů konstrukce (mostu i koleje).

Z pohledu problematiky USP je podstatné zejména znění kap. 6.4.2, kdy norma definuje základní faktory ovlivňující dynamické chování, mezi které patří například útlum konstrukce a dynamické charakteristiky koleje. Oba uvedené faktory může přítomnost USP ovlivnit.

## 2.2. Interní předpisy SŽ

### 2.2.1. Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR

Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR [11] (dále jen „Manuál“) je Interní předpis shrnující problematiku návrhu vysokorychlostních tratí. Manuál předkládá požadavky investora (SŽ) na řešení jednotlivých součástí VRT dle osvědčených zahraničních řešení. Předpis řeší problematiku VRT z pohledu všech dotčených profesí.

Z pohledu návrhu mostních konstrukcí se manuál odkazuje na splnění požadavků norem řady EN. Manuál předpokládá posouzení interakce kolej / most pro všechny mosty nad 50 m. Dle kap. 3.1 a 3.2 Manuál předpokládá použití pražců s podpražcovými podložkami (USP) v síti VRT.

### 2.2.2. Předpis SŽDC S3

Interní předpis Správy Železnic S3 [10] obsahuje souhrn zásad pro projektování železničního svršku tratí s normálním rozchodem. Předpis se věnuje konstrukci železničního svršku, definuje požadavky a podmínky pro bezpečné provozování železniční dopravy. V roce 2021 byl předpis doplněn o díl XVII

pojednávající o konstrukci železničního svršku pro rychlosti nad 200 km/h (do 360 km/h).

Předpis předpokládá použití pražců s tuhými USP do konstrukce kolejí, výhybek a výhybkových konstrukcí pro tratě s návrhovou rychlostí vyšší než 200 km/h. Pro použití jiných druhů USP se předpis odkazuje na Metodický pokyn pro navrhování pražců s podpražcovými podložkami [12].

### 2.2.3. Metodický pokyn pro navrhování pražců s podpražcovými podložkami

Metodický pokyn [12] stanovuje podmínky pro navrhování, instalaci, manipulaci a údržbu pražců s podpražcovými podložkami. Dokument definuje zásady pro použití pražců s USP v běžné trati, pod výhybkami a v rámci přechodových oblastí. Platnost dokumentu je podmíněna splněním ustanovení předpisu SŽDC S3 a je závazný pro všechny subjekty věnující se návrhem, realizací a údržbou dané tratě. Metodický pokyn vychází mimo jiné z poznatků uvedených ve směrnici IRS 70713-1. Dále se metodický pokyn odkazuje na znění normy ČSN EN 16730 a interní předpisy SŽDC S3 a S9.

Dokument definuje dělení USP dle statické tuhosti jako základní technickou specifikaci USP. V rámci metodického pokynu jsou dále shrnuty hlavní přínosy USP, stanovené obecné zásady pro použití a postup při navrhování USP v běžné trati, pod výhybkou a v přechodových oblastech. Postupy navrhování USP definované metodickým pokynem jsou spíše obecného charakteru, s důrazem na nutné detailní posouzení v určitých situacích. Konkrétní způsob a forma návrhu/posouzení není dokumentem stanovena.

## 2.3. Směrnice Mezinárodní železniční unie

### 2.3.1. IRS 70713-1 Under sleeper pads (USP) – recommendations for use

Směrnice IRS 70713 [6] se zabývá problematikou aplikace podpražcových podložek (neboli USP = Under sleeper pads). Jsou představeny důvody pro použití podložek, jejich členění, vlastnosti a zároveň limity pro použití. Dle dokumentu má umístění USP různé vlivy na chování a tuhost koleje podle vlastností použitého prvku. Podložky zvyšují kontaktní plochu mezi pražcem a kolejovým ložem, což přispívá k delší životnosti komponent, prodloužení intervalů údržby, ale také k ovlivnění dynamických parametrů tratě.

Prvky USP lze použít pro redukci tloušťky kolejového lože, řízení změny tuhosti v přechodových oblastech mostu nebo ve snaze o snížení přenosu vibrací do okolí tratě. V mnoha ohledech se jedná o pozitivní přínos, avšak nevhodná konfigurace může vést k negativním důsledkům jako je destabilizace tratě nebo nadměrné deformace koleje.

### 2.3.2. IRS 70719-1 Recommendations for the use of Under ballast mats (UMB)

IRS 70719-1 [7] se věnuje problematice matrací umístěných pod kolejové lože. Směrnice dělí matrace dle fyzikálních vlastností a uvádí doporučení pro použití v jednotlivých případech. Pro ukotvení v normách řady EN se směrnice odkazuje na ČSN EN 17282.

Obdobně jako u USP se jedná o elastický prvek umístěvaný do konstrukce železničního tělesa za cílem zefektivnění přenosu sil, redukci nežádoucích vibrací, úpravu tuhosti podloží nebo tloušťky kolejového lože. Nevhodná volba UBM s sebou nese obdobné nežádoucí projevy jako v případě USP. Narozdíl od USP se jedná o prvky, u kterých se nepředpokládá užití v celé trati, ale jako nástroj k řešení lokálních oblastí. Kombinování s dalšími elastickými prvky kolejového svršku (USP a SRP) se bez detailního posouzení nedoporučuje (skládání účinků neprobíhá v rovině superpozice a vyžaduje detailní posouzení).

## 3. VLIV USP DLE ZAHRANIČNÍCH EXPERIMENTŮ

Pro úvod do problematiky byly v rámci rešerše studovány dostupné zdroje zabývající se různými směry výzkumu týkající se problematiky podpražcových podložek a dalších elastických prvků konstrukce železničního svršku. Dle publikací shromážděných v rámci rešeršní činnosti lze problematiku výzkumů na poli aplikace USP rozdělit na následující směry.

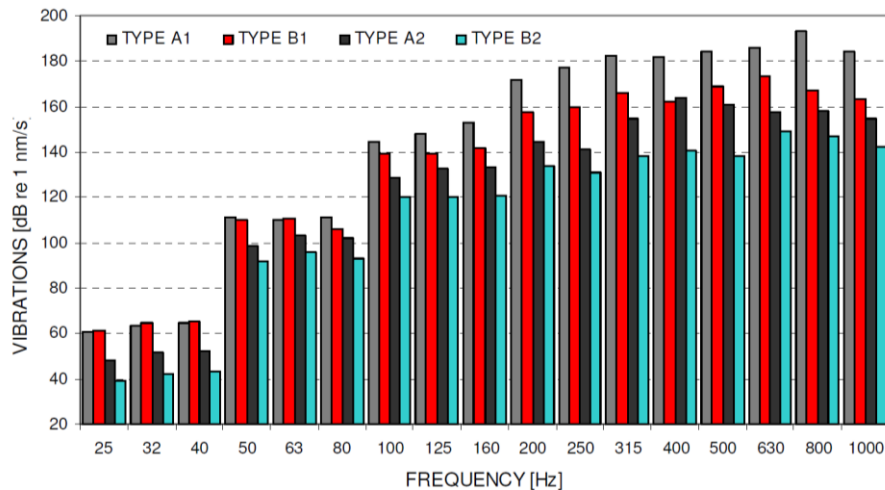
- Vliv USP na přerozdělení zatížení pražce (pod pražcem)
- Vliv USP na degradaci kolejového lože (prvků tratě)
- Vliv USP na dynamické chování tratě (šíření vibrací, útlum, deformace)
- Vliv USP při interakci vozidlo - kolej
- Vliv USP na stabilitu (polohu) koleje (vliv na odpor pražce)
- Použití USP pro úpravu tuhosti v přechodových oblastech
- Materiálové vlastnosti USP (trvanlivost, únava, použitý materiál)
- Využití recyklovaných materiálů (recyklace prvků) při výrobě USP
- Studie vlivu USP na náklady životního cyklu (LCC)
- Vliv USP na návrh mostních konstrukcí

S ohledem na rozsah tohoto příspěvku jsou v rámci této kapitoly popsány pouze vybrané zdroje poukazující na dosavadní poznatky publikovaných výzkumů.

### 3.1. Experimentální vyšetřování koleje s USP

Článek [13] z roku 2010 publikovaný univerzitou v Záhřebu se věnuje problematice přenosu dynamických účinků zatížení na konstrukce železničního spodku. V rámci popisovaného pokusu byly měřeny hodnoty vibrací na jednotlivých komponentech (kolej, pražec, podkladní železobetonová deska) od simulovaného dynamického zatížení železniční dopravou. Měření bylo provedeno na vzorcích reprezentující konstrukci kolejového svršku s kolejovým ložem a systém podobný tzv. pevné jízdní dráze Celkem bylo měření provedeno na čtyřech pokusných vzorcích následující sestavy.

- sestava koleje s pražcem přímo uloženým na ŽB desce (type A1)
- sestava koleje s USP pražcem uloženým na ŽB desce (type B1)
- sestava koleje s kolejovým ložem (type A2)
- sestava koleje s kolejovým ložem s USP pražcem (type B2)



Obrázek 1 - Vibrace měřené na podkladní betonové desce pro jednotlivé prvky uložení koleje [13]

Výše uvedený obrázek graficky znázorňuje naměřené výsledky. Na základě měření daného pokusu lze jednoznačně prokázat, že vložení prvku upravující tuhost koleje dochází k redukci přenášených vibrací na konstrukce železničního spodku. Vložení prvků USP do koleje dle autora přináší významné zlepšení ve smyslu snížení dynamických účinků a tím redukci nákladů na realizaci a provoz tratě.

Dle závěru článku je nezbytné detailní pochopení odezvy tratě na svislé dynamické zatížení pro správné zohlednění účinků zatížení na konstrukce železničního spodku. Vložení elastických materiálů do konstrukce železničního svršku může zásadním způsobem ovlivnit chování tratě. Zásadním aspektem jsou fyzikální vlastnosti daného prvku (tzn. rozměry, tuhost, schopnost útlumu) a umístění v trati (tzn. kolejnicová podložka, podpražcová podložka, rohož pod kolejovým ložem). Důležitým benefitem použití USP je jejich kompatibilita s aktuálně běžnými postupy výstavby a údržby tratí.

### 3.2. Vliv podpražcových podložek na dynamiku koleje

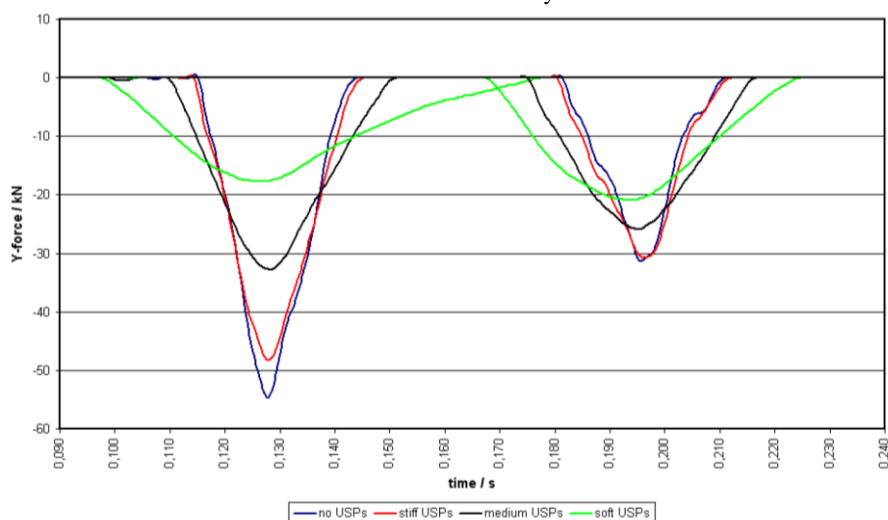
Předmětem práce [14] publikované univerzitou ze švédského Linköpingu byl vyšetřován vliv USP na dynamické chování

tratě. Pomocí numerické analýzy byly zkoumány přínosy USP při použití v přechodových oblastech, při náhodné změně tuhosti koleje a v případě tzv. „zavěšených pražců“ (fenomén, kdy daný pražec není v kontaktu s kolejovým ložem).

Výpočetní model byl vytvořen v prostředí programu LS-DYNA. Model simuluje kolej o třiceti pražcích s rozdělením 600 mm, idealizovanou kolejnicí UIC60, pražce délky 2,5m výšky 200 mm, USP tl. 20 mm a idealizovaným kolejovým ložem. Pro analýzu byla použita trojice různých USP s využitím níže uvedených parametrů (členění neodpovídá dělení dle aktuální legislativy)

- Tuhé USP,  $E=1000\text{MPa}$ ,  $C=3000\text{kN/mm}$
- Střední USP,  $E=100\text{MPa}$ ,  $C=400\text{kN/mm}$
- Měkké USP,  $E=10\text{MPa}$ ,  $C=50\text{kN/mm}$

Na základě numerické analýzy bylo zjištěno, že vliv tuhé USP má na celkové chování koleje malý vliv, což je přisuzováno volbou příliš tuhé podložky. Výsledky výpočtů s měkkými USP vykazují známky přílišné poddajnosti koleje a klesajícího významu kolejového lože (příliš měkké USP). Nejlepší výsledky byly dosaženy při použití středně tuhých USP. Středně tuhé USP vykazují dle autora nejlepších výsledků naskrz zkoumanými oblastmi.



Obrázek 2 - Graf vývoje kontaktní síly v čase dle tuhosti USP, pod vybranými pražci [14]

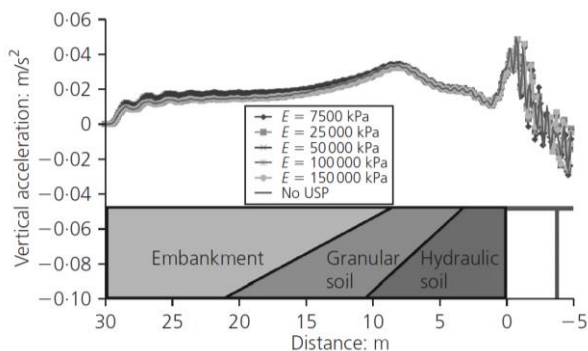
Výše uvedený obrázek z kapitoly 8 popisované práce ilustruje vliv USP na distribuci zatížení (obdobný obrázek se nachází v závěru kapitoly 7). S klesající tuhostí USP dochází k redukcii hodnot sil přenášené pražci, zatímco se prodlužuje čas, kdy síla na pražec působí. Tento jev lze vysvětlit tak, že s klesající tuhostí USP dochází k aktivaci většího počtu pražců (podpor), což má za následek efektivnější redistribuci nápravových sil. Dle závěrů práce je možné předpokládat pozitivní efekt použití USP ve smyslu interakce vozidlo/kolej. Avšak pro dosažení dobrých výsledků musí být tuhost podložek vhodně zvolena.

### 3.3. Analýza vlivu podpražcových podložek v přechodových oblastech vysokorychlostních tratí

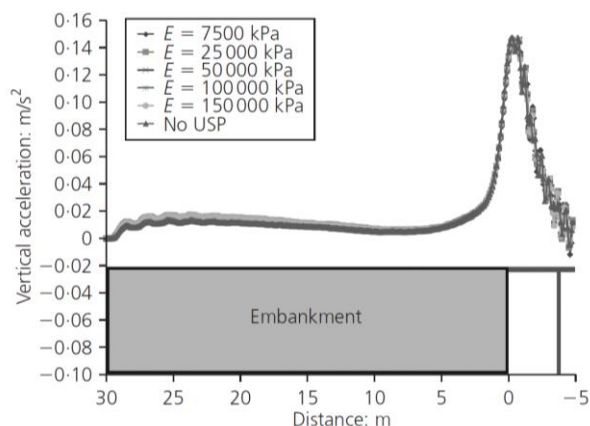
Článek [15] autorů ze španělských univerzit zkoumá vliv USP při použití v přechodových oblastech vysokorychlostních tratí. Přechodové oblasti jsou slabými články vysokorychlostních tratí. Vlivem náhlé změny tuhosti v těchto oblastech dochází ke změně dynamických parametrů tratě vedoucí k negativnímu ovlivnění komfortu cestujících, zhoršení vlastností tratě a dochází k růstu rizika vykojení.

Pro popis zkoumaného fenoménu byla provedena numerická analýza v programu LS-DYNA. Výpočetní model přechodové oblasti je tvořen 3D elementy zohledňující vlastnosti jednotlivých prvků tratě. Modelovaná trať se skládá z kolejnic UIC60, betonových pražců hmotnosti 300 kg, podpražcových podložek, kolejového lože tloušťky 35 cm a sestavy vrstev přechodové oblasti odpovídající španělským zvyklostem. Proměnnou v rámci analýzy byla tuhost USP. Přínos USP byl vyhodnocen z hlediska statických deformací i dynamické odezvy (svislé zrychlení).

Prezentované výsledky numerické analýzy lze shrnout v rámci výše uvedených obrázků. Obrázky graficky znázorňují hodnoty svislých zrychlení kolejového vozidla v závislosti na vzdálenosti vůči opěře mostu pro případ klasické konstrukce přechodové oblasti a pro případ opěry přímo navazující na standardní konstrukci tratě. V obou případech byly ve výpočtu uvažovány různé vlastnosti USP, včetně stavu bez jejího použití.



Obrázek 3: Svislé zrychlení vlaku při běžné konstrukci přechodové oblasti [15]



Obrázek 4: Svislé zrychlení vlaku bez konstrukce přechodové oblasti [15]

Dle prezentovaných výsledků vyplývá, že použití USP v přechodových oblastech nemá zásadní vliv na deformaci a napětí pod úrovní kolejového lože. Na základě výsledků dynamické odezvy koleje autoři nedoporučují nahrazení standardní konstrukce přechodové oblasti pouze pomocí USP, protože nedochází k dostatečnému vyhlazení křivky vertikálního zrychlení v předmostí. Nicméně použití USP jako prvku doplňující konstrukci přechodové oblasti je vhodným řešením s ohledem na další pozitivní přínosy USP (údržba, distribuce zatížení, atd.).

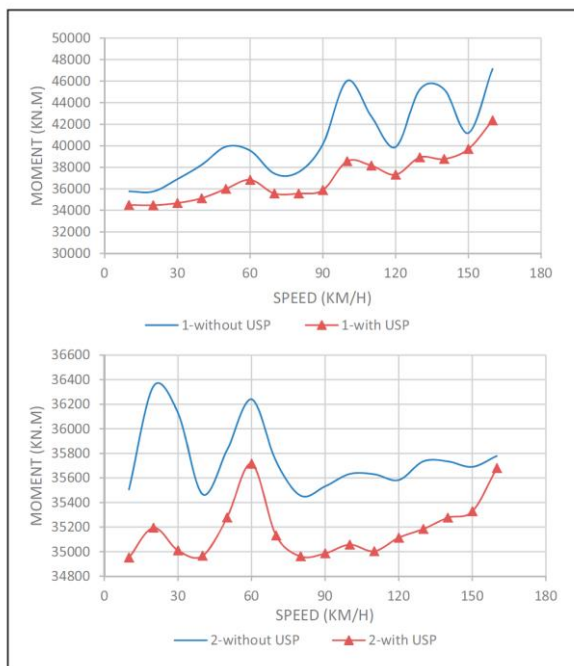
### 3.4. Výzkum vlivu USP na dynamickou odezvu železničních mostů

Článek [16] publikovaný v roce 2018 univerzitou v Teheránu pojednává o vlivu USP na dynamickou odezvu železničních mostů. Pro analýzu byl vybrán stávající most v severní provincii Íránu. Jedná se o konstrukci o dvou polích se světlostí 7,0 m, sestávající se z železobetonové desky šířky 4,5m vyztužené I profily. Kolej na mostě je tvořena kolejnicemi UIC60, betonovými pražci se vzdáleností 60 cm a kolejovým roštem tloušťky 35 cm.

Pro vybraný most byl zhotoven numerický model, jehož funkce byla ověřena experimentem na skutečné konstrukci (průjezd skutečného vlaku ve spektru předepsaných rychlostí). Do kalibrovaného modelu byl následně zaveden prvek USP (s tuhostí 11 700 N/mm), pro který byl vyšetřován jeho vliv. Na základě provedené numerické analýzy by vložení daných USP do konstrukce koleje došlo k následujícím změnám v chování konstrukce.

- Snížení amplitudy kmitání konstrukce až o 58%
- Snížení svislé deformace středu pole až o 15%
- Snížení hodnoty ohybových momentů až o 16%

Níže přiložený obrázek graficky znázorňuje vliv USP na hodnotu ohybových momentů nosné konstrukce pro vyšetřované spektrum rychlostí vlaku.



Obrázek 5: Graf ohybového momentu ve středu rozpětí daného experimentu [16]

Prezentovaná numerická analýza dle autora prokazuje pozitivní vliv použití USP na dané konstrukci vůči danému zatížení, při daném spektru rychlostí (do 160 km/h). Dalším přínosem článku je popis způsobu modelování konstrukce železničního svršku na mostě, zavedení prvku USP a odladění numerického modelu pomocí in-situ experimentu (způsoby a prvky měření).

#### 4. SHRUTÍ PROBLEMATIKY USP

##### 4.1. Shrnutí aktuálních poznatků o USP

Dle dokumentu IRS 70713-1 [6] a „Manuálu VRT“ [11] se předpokládá osazení podpražcové podložky v síti VRT. USP je prvek z elastického materiálu (tloušťky do 20 mm) osazený na kontaktní ploše pražce, která se do konstrukce koleje vkládá pro dosažení lepších vlastností v určitých ohledech.

Standardní účely, které tyto prvky plní jsou následující:

- Redukce vibrací
- Úprava dynamických vlastností tratě
- Úprava tuhosti podloží (přechodové oblasti)
- Náhrada kolejového lože (snížení tloušťky)
- Ochrana konstrukce / prodloužení životnosti prvku

Vložením prvků USP a UBM do kolejového lože dochází ke zvýšení kontaktní plochy mezi ložem a daným konstrukčním prvkem, což má za následek snížení kontaktního napětí a prodloužení životnosti. Dalším benefitem použití USP je aktivace většího množství pražcových podpor pod projíždějící nápravou kolejového vozidla vedoucí k redistribuci zatížení. Osazením tohoto prvku zároveň dochází o ovlivnění tuhostních a dynamických vlastností konstrukce koleje (viz následující kapitola).

Konkrétními pozitivními účinky použití USP dle Lakušik [13] jsou:

- Redukce zatížení distribuovaná pražcem do železničního spodku (až 30 %)
- Redukce namáhání kolejnice a pražce vlivem přerozdělení zatížení (až 40 %)
- Zvýšení příčného odporu koleje vlivem zlepšení vlastností kontaktní plochy (až 9 %)
- Zvýšení pružnosti koleje
- Pozitivní dopad na geometrii koleje (trvanlivost)
- Prodloužení cyklů údržby
- Zvýšení komfortu cestujících
- Redukce přenášených vibrací (až 30 %)
- Redukce tloušťky kolejového lože (až 10 cm)

Pro stanovení vlastností samotné USP nebo pražců s USP slouží norma ČSN EN 16730 [1] (totožný účel pro UBM plní ČSN EN 17 282 [2]). Uvedené normy definují způsob zkoušení, vyhodnocení a popisu fyzikálních vlastností elastických prvků upravující tuhost koleje, avšak nepředkládají způsob návrhu pro stanovení požadovaných parametrů.

Podle směrnice IRS 70713-1 [6] a metodického pokynu SŽ [12] dělíme podpražcové podložky do čtyř skupin, na základě hodnoty statické plošné tuhosti  $C_{stat}$  [N/mm<sup>3</sup>] (základní fyzikální parametr).

- Tuhé 0,25-0,45 N/mm<sup>3</sup>
- Střední 0,15-0,25 N/mm<sup>3</sup>
- Měkké 0,08-0,15 N/mm<sup>3</sup>
- Velmi měkké do 0,08 N/mm<sup>3</sup>

Z pohledu návrhu USP, resp. stanovení požadovaných vlastností pro docílení předpokládaných účinků USP, je hlavním přínosem znění metodického pokynu [12] a směrnice UIC [6]. Uvedené dokumenty explicitně nestanovují numerický postup návrhu, ale předkládají soubor doporučení sloužící k volbě vhodné tuhosti USP. Dle metodického pokynu je za stanovení požadovaných vlastností zodpovědný provozovatel tratí. Výpočty a modely zajišťuje projektant na základě schválených typových řešení či konzultace se specializovaným pracovištěm.

Níže je uveden zjednodušený výčet doporučení pro navrhování USP dle metodického pokynu [12]:

- Použití USP nesmí být kombinováno s dalším opatřením pro zvýšení pružnosti v konstrukci železničního svršku a není vhodné kombinovat s opatřeními železničního spodku (UBM)
- Pro běžné tratě s rychlostí nad 200 km/h se standardně použijí tuhé USP.
- Při návrhu tuhých USP se nezpracovává výpočet odezvy kolejového roštu
- Při nahrazování tloušťky kolejového lože pomocí USP musí být docíleno shodné tuhosti koleje jako v případě plné tloušťky kolejového lože (min. tl. kolej. Lože pro podbití je 200 mm)
- Při požadavku na snížení vibrací a v dalších specifických případech se navrhuje USP střední nebo měkké (definuje projektant). Řešení musí splňovat požadavky interakce se skladbou kolejového roštu.
- Zvláštní pozornost je nutné věnovat úsekům používající sestav upevnění s odlišnou tuhostí.
- Při nevhodném použití USP s nižší pevností může dojít k nežádoucím vlivům na dynamické chování koleje.

- Pokud nejsou zvláštní důvody, zřizuje se celý úsek trati s USP stejné tuhosti.
- Při použití USP v kombinaci s pražcovými kotvami se volí tuhé USP.
- Není nutné zřizovat přechodovou oblast v případě přechodu běžné konstrukce koleje na kolej využívající tuhých USP. V ostatních případech se návrh provádí pro splnění kritéria vzájemného rozdílu průhybu mezi sousedními skladbami o hodnotě 0,5mm.

Níže uvedený obrázek ze směrnice IRS 70713-1 [6] graficky znázorňuje, pro jaký typ řešeného problému je vhodná konkrétní USP (dle statické tuhosti).

USP fields of application	USP type		
	Soft	Medium	Stiff
Improvement of track quality (point 1.3)			
S&C (point 1.3)			
Transition zones (point 1.4)			
Zones with reduced ballast thickness (point 1.5)			
Reduction of long-pitch corrugation (point 1.6)			
Reduction of ground-borne vibrations (point 1.7)			

Obrázek 6: Volba vlastností USP dle záměru použití [6]

Možným přínosem USP je dle metodického pokynu [12] aplikace v přechodové oblasti za účelem vytvoření plynulého přechodu tuhosti mezi železničním tělesem a konstrukcí mostu. Této problematice se podrobněji věnuje článek [15] španělských autorů, který přínosy hodnotí skepticky. Dle tohoto zdroje pak není možné konstrukci přechodové oblasti zcela nahradit pomocí USP, ale je možné funkci konstrukce přechodové oblasti pomocí prvků USP vylepšit.

Norma ČSN EN 1991-2 [4] předpokládá roznos zatížení na trojici sousedících kolejových podpor v poměru 1:2:1. Na základě výsledků analýz prací [14] a [16] dochází při použití USP k aktivaci většího množství pražců, což vede k efektivnějšímu přerozdělení účinků zatížení. Při aktivaci více pražců zároveň dochází k prodloužení času, kdy nápravná síla na pražec působí [14]. S klesající tuhostí USP účinky tohoto fenoménu rostou.

#### 4.2. USP z pohledu dynamické analýzy

Pro případy, kdy je dynamická analýza požadována se musí ve výpočtu uvažovat všechny nosné prvky a všechny nenosné prvky osazené na nosné konstrukci, které ze své podstaty mohou ovlivnit dynamickou odezvu konstrukce (hmota, tuhost, útlum) viz znění ČSN EN 1990 [3]. Použitím USP dochází k ovlivnění charakteristik tratě (změna tuhosti), vlastní frekvenci konstrukce (distribuce zatížení, útlum) a z toho důvodu by při provádění dynamické analýzy měly být zohledněny.

Ze stejného důvodu by při dynamické analýze konstrukce měl být zohledněn i vliv kolejové lože, které se na redukci dynamických účinků a přerozdělení zatížení také podílí (viz výsledky Lakušik [13]). Vhodná idealizace šterku kolejového lože a jeho zavedení do výpočtů je složité a přináší řadu otázek. Hodnoty dynamických parametrů kolejového lože pro zohlednění do dynamické analýzy nebyly nalezeny v žádném z dosud zkoumaných materiálů (na legislativní úrovni).

Kombinace s dalšími elastickými prvky tratě (měkké kolejnicové podložky, matrace pod kolejovým ložem) se bez detailního ověření jejich spolupůsobení nedoporučují [7]. Skládání účinků těchto prvků neprobíhá v rovině superpozice, ale jedná se o komplexní problematiku, která se projevuje ve statické i dynamickém chování konstrukce. V tuto chvíli je dle zdrojů [6] a [12] možné kombinovat pouze tuhé USP podložky s prvky UBM určité tuhosti (tuhá USP tvoří další pružinu v dynamické soustavě, avšak s malým dopadem na odezvu).

Použitím vhodné USP v konstrukci tratě má řadu pozitivních účinků (viz předcházející kapitola). Z pohledu zkoumané problematiky (vliv použití USP na dynamickou odezvu mostní konstrukce) lze závěry měření od Lakušika [13] prezentovat tak, že vložením elastických prvků jako jsou USP a UBM (ovlivnění tuhosti koleje) dochází k zásadním změnám na poli přenosu vibrací na konstrukce železničního spodku (včetně mostů).

Nevhodnou volbou USP může vézt k nežádoucímu ovlivnění vlastní frekvence konstrukce, zvýšení hodnot deformací koleje, v krajním případě k destabilizaci tratě. Nesprávným ovlivněním tuhosti koleje hrozí riziko nadměrných deformací koleje z toho plynoucí diskomfort cestujících a zvyšující se riziko vykolejení.

Dle směrnice IRS 70713-1 [6] jsou v tuto chvíli znalosti problematiky použití podpražcových podložek s ohledem na dynamickou odezvu mostní konstrukce limitované a výzkumné práce na objasnění jejich dopadu stále probíhají.

## 5. ZÁVĚR

V rámci příspěvku je nejprve shrnuta problematika podpražcových podložek z pohledu stávající legislativy sestávající se z norem, závazných předpisů Správy železnic a doporučení Mezinárodní železniční unie. V druhé části příspěvku je pozornost věnována vybraným publikacím shrnující poznatky výzkumných prací. V závěrečné části jsou shrnuty poznatky z hlediska návrhu, funkce a benefitů podpražcových podložek společně s možnými dopady na dynamickou odezvu konstrukce.

Podpražcové podložky mají řadu pozitivních přínosů (viz uvedené zdroje), které by při návrhu mostu mohli být uvažovány. Z hlediska návrhu se jedná zejména o zefektivnění distribuce zatížení a redukce dynamických účinků. Naproti tomu existují i případná negativa, která při volbě nevhodných vlastností podložky v kombinaci s dynamickými vlastnostmi konstrukce vedou ke zvýšení deformací a zhoršení vlastností spojených se stabilitou koleje.

Hlavním úskalím při zohlednění vlivu podpražcových podložek je chybějící legislativou opřená metodika a nejednoznačné znění souvisejících norem. V tuto chvíli jsou dostupné předpisy vyžadující použití podpražcových podložek v síti vysokorychlostních tratí, existují normy pro zkoušení a vyhodnocování vlastností jednotlivých prvků, ale chybí předpis stanovující postup pro návrh nebo zohlednění těchto prvků.

Dle znění směrnice UIC IRS 70713-1 [6] není v tuto chvíli dostatek podkladů pro finální stanovisko a je doporučeno další zkoumání této technologie v souvislosti na chování BK nebo dynamickou odezvu konstrukce.

V rámci budoucího výzkumu bude podrobněji zkoumána problematika podpražcových podložek a vlivu na chování železničních mostů. Hlavním směrem výzkumu bude objasnění vlivu dílčích podpražcových podložek, dle zvolených fyzikálních vlastností, na dynamickou odezvu konstrukce. Dalším směrem bude hledání vhodného způsobu zohlednění vlastností prvků kolejového svršku (jako jsou například podpražcové podložky, kolejové lože a matrace pod kolejový lože) při návrhu železničních mostů.

## Reference

- [1] ČSN EN 16730 - *Železniční aplikace - Kolej – Betonové příčné a výhybkové pražce s podpražcovými podložkami*, Praha: UNMZ, 2017
- [2] ČSN EN 17282 - *Železniční aplikace – Infrastruktura – Rohože pod šterkovým ložem*, Praha: UNMZ, 2021
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2 (ČSN 73 0002): *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Ed. 2. Praha: ČNI, 2021.
- [4] ČSN EN 1991-2 ed. 2 (ČSN 73 6203): *Eurokód: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Ed. 2. Praha: ČNI, 2018.
- [5] *IRS 60680 Design of a high speed railway - Infrastructure*, 1st edition, Paris – France: UIC, April 2022, ISBN 978-2-7461-3154-5
- [6] *IRS 70713-1 Railway Application - Track and structure - „Under Sleeper Pads(USP) - Recommendations for Use“*, 1st edition, Paris – France: UIC, April 2018, ISBN 978-2-7461-2697-8
- [7] *IRS 70719-1 Way and Works - Track and Structure - Recommendations for the use of Under Ballast Mats (UBM)*, 1st edition, Paris – France: UIC, August 2022, ISBN 978-2-7461-3198-9
- [8] *UIC Code 720 Laying and Maintenance of CWR Track*, 2nd edition, Paris – France: UIC, March 2005, ISBN 2-7461-0527-6
- [9] *UIC Code 774-3 R Track/bridge Interaction - Recommendations for calculations*, 2nd edition, Paris – France: UIC, October 2001, ISBN 2-7461-0257-9
- [10] *SŽDC S3 Železniční svršek*, Praha, SŽ, 2020
- [11] *Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR*. Praha, 2020.
- [12] *SŽ MP Metodický pokyn pro navrhování pražců s podpražcovými podložkami do konstrukce kolejí, výhybek a výhybkových konstrukcí*, Praha, SŽ, 2020
- [13] Lakušik S, Ahac M and Haladin I. Experimental investigation of railway track with under sleeper pad. *In.: 10th Slovenian Road and Transportation Congress*, Portorož, Slovinsko, říjen 2010.
- [14] Witt S, *Influence of under sleeper pads on railway track dynamics*. Linköping University, Švédsko, 2008
- [15] Insa R, Salvador P, Inarejos J and Medina L. Analysis of the performance of under-sleeper pads in high-speed line transition zones. *In.: Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport* [online]. 2014, ISSN 0965-092X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1680/tran.11.00033>
- [16] Mottahed J, Zakeri JA, Mohammadzadeh S. Field and numerical investigation of the effect of under-sleeper pads on the dynamic behavior of railway bridges. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2018;232(8):2126-2137. doi:[10.1177/0954409718764027](https://doi.org/10.1177/0954409718764027)