

# *TECHNICKO-PROVOZNÍ STUDIE*

## *TECHNICKÁ ŘEŠENÍ VRT*

05/2017

### *4.1*

## *TECHNICKÉ PARAMETRY VRT V EVROPĚ*

### *SUBSYSTÉM INF – SVRŠEK A SPODEK*

*Zpracovatel: Jan Bonev*





## 4.1

### SUBSYSTÉM INF

### ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK A SPODEK

---

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
1.1	OBSAH SEŠITU .....	5
1.2	RAKOUSKO.....	5
1.3	NĚMECKO .....	6
1.4	FRANCIE.....	7
1.5	ŠPANĚLSKO .....	8
1.6	ITÁLIE .....	9
<b>2</b>	<b>NÁVRH TRASY.....</b>	<b>9</b>
2.1	KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE .....	9
2.1.1	Rozchod koleje .....	9
2.1.2	Převýšení koleje.....	10
2.2	SMĚROVÉ POMĚRY.....	11
2.2.1	Rakousko .....	11
2.2.2	Německo.....	14
2.2.3	Francie .....	17
2.2.4	Španělsko.....	21
2.2.5	Itálie.....	23
2.3	SKLONOVÉ POMĚRY .....	25
2.3.1	Rakousko .....	25
2.3.2	Německo.....	27
2.3.3	Francie .....	28
2.3.4	Španělsko.....	29
2.3.5	Itálie.....	30
2.4	PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	30
2.4.1	Průjezdne průřezy a volné prostory .....	30
2.4.2	Osové vzdálenosti kolejí .....	34
2.4.3	Uspořádání tratí a dopraven .....	36
2.5	SVISLÁ PŘECHODNOST .....	43



<b>3</b>	<b>KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU .....</b>	<b>44</b>
3.1	KOLEJNICE A BEZSTYKOVÁ KOLEJ.....	44
3.1.1	Tvar a materiál kolejnic.....	44
3.1.2	Úklon kolejnic.....	47
3.1.3	Bezstyková kolej.....	48
3.2	KOLEJ S KOLEJOVÝM LOŽEM .....	50
3.2.1	Upevnění.....	50
3.2.2	Kolejnicové podpory .....	51
3.2.3	Kolejové lože .....	58
3.3	PEVNÁ JÍZDNÍ DRÁHA.....	69
3.3.1	Lineární brzda na principu vířivých proudů .....	74
3.4	VÝHYBKY A DILATAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....	75
3.4.1	Geometrie výhybek.....	75
3.4.2	Konstrukční uspořádání .....	82
3.4.3	Pokládka výhybek.....	97
3.4.4	Dilatační zařízení a bezstyková kolej na mostech .....	97
<b>4</b>	<b>KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍHO SPODKU .....</b>	<b>106</b>
4.1	PLÁŇ TĚLESA .....	106
4.2	KONSTRUKČNÍ VRSTVY.....	110
4.2.1	Rakousko.....	110
4.2.2	Německo .....	114
4.2.3	Francie.....	119
4.2.4	Španělsko .....	123
4.2.5	Itálie .....	127
4.3	TĚLESO .....	128
4.3.1	Rakousko.....	128
4.3.2	Německo .....	128
4.3.3	Francie.....	134
4.3.4	Španělsko .....	141
4.3.5	Itálie .....	145
4.4	ODVODNĚNÍ .....	146
4.4.1	Rakousko.....	146

4.4.2	Německo.....	150
4.4.3	Francie .....	155
4.4.4	Španělsko.....	161
4.4.5	Itálie .....	162
4.5	NÁSTUPIŠTĚ.....	165
<b>5</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>167</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM ZDROJŮ .....</b>	<b>169</b>

## 1 ÚVOD

---

### 1.1 OBSAH SEŠITU

---

Tento sešit se věnuje popisu parametrů vysokorychlostních tratí ve sledovaných zemích, jak na půdě návrhu trasy (směrového a výškového řešení, osových vzdáleností, převýšení koleje apod.), tak v tématech železničního svršku (kolejový rošt, pevná jízdní dráha apod.) a železničního spodku (pražcové podloží, odvodnění apod.).

Sledovanými zeměmi jsou:

- Rakousko /AT/,
- Německo /DE/,
- Francie /FR/,
- Španělsko /ES/,
- Itálie /IT/.

Text v následujících kapitolách se vztahuje k aktuální předpisové základně ve sledovaných zemích a k vysokorychlostním tratím aktuálně budovaným nebo v poslední době zprovozněným, příklady těchto tratí jsou uvedeny níže. Předchozí vývoj není popisován, provoz rychlostmi nad 200 km/h má v některých zemích velmi dlouhou tradici a není účelné se věnovat parametrům a prvkům používaným před desítkami let. Pouze okrajově jsou zmíněny postupy nebo prvky, od jejichž používání bylo na základě nabytých zkušeností upuštěno.

S budováním nových VRT došlo v některých zemích k oddělení předpisů i technických řešení pro čistě nové vysokorychlostní tratě s rychlostmi převážně 250 km/h a více a pro převážně modernizované konvenční tratě s rychlostmi do 230 km/h. Tato specifika jsou dále uvedena u jednotlivých zemí. Popsána jsou řešení pro rychlosti nad 160 km/h.

Parametry pro návrh geometrické polohy koleje jsou, pokud je to možné, uváděny pro lepší porovnání v podobě a veličinách, odpovídajících zvyklostem v ČR – tedy dle ČSN 73 6360-1. Shodná logika je použita pro rozměry a další údaje.

### 1.2 RAKOUSKO

---

V /AT/ dochází od konce osmdesátých let minulého století k rozsáhlé modernizaci stávajících hlavních tratí pro smíšenou dopravu s cílem zvýšení rychlosti a zajištění kapacity pro osobní i nákladní dopravu. Zaveden byl pojem vysoce výkonné tratě (Hochleistungsstrecken; HL). Maximální rychlost na modernizovaných tratích, které jsou většinou realizovány jako novostavby paralelní ke stávajícím tratím, byla stanovena na 200 km/h, ovšem s dimenzováním trasy i železničního svršku a spodku umožňujícím následné zvýšení na 230 a výhledově až 250 km/h. Modernizované, případně nově budované úseky zůstávají integrální součástí konvenční železniční sítě s přechodností běžných vozidel osobní i nákladní dopravy bez jakýchkoliv omezení. Síť modernizovaných tratí směřuje převážně radiálně k Vídni, resp. na doplňujících tratích bez vztahu k hlavnímu

městu probíhají obvykle úpravy v menším rozsahu a pro nižší rychlosti. V poslední době byly a jsou budovány zejména tyto tratě:

- **Westbahn**; Vídeň – Linec – Salzburg; délka cca 312 km; návrhová rychlost 200–250 km/h; modernizace stávající dvoukolejné a dostavba nové dvoukolejné tratě; dokončení úprav 2021,
- **Semmering Basistunnel**; 27 km; 230 km/h; novostavba tunelu; 2026,
- **Koralmbahn**; 127 km; 250 km/h; novostavba trati; 2023,
- **Brenner Basistunnel**; 64 km; 250 km/h; novostavba tunelu; 2025,
- **Neue Unterinntalbahn**; 40 km; 250 km/h; novostavba trati; 2012.

### 1.3 NĚMECKO

---

Po zotavení z válečných škod se železnice ve Spolkové republice Německo začala v 60. letech zabývat možnostmi zvyšování rychlostí. První vlaky s cestujícími jezdily rychlostí 200 km/h dočasně v roce 1965. Byl přijat plán modernizace stávajících tratí na tuto rychlost, která byla v pravidelném provozu zaváděna od roku 1977. V průběhu celých 70. let se ale intenzivně hledala cesta pro mnohem významnější zrychlení osobní dopravy a zajištění kapacity pro nákladní dopravu. Začala příprava na stavbu první VRT (Neubaustrecke; NBS; též Schnellfahrstrecke; SFS) Hannover – Würzburg pro rychlost 250–300 km/h, ale výzkum směřoval k rychlostem až 400 km/h a dokonce k využití magnetické levitace, která dala vzniknout vlakům Transrapid. V /DE/ se ale tato cesta ukázala pro enormní investiční náklady jako slepá a nadále tedy pokračuje rozvoj klasické železnice, který lze rozdělit do dvou cest:

- modernizace stávajících tratí na 200–230 km/h (tzv. Ausbaustrecke; ABS),
- novostavby tratí pro 250–300 km/h pro smíšenou nebo osobní dopravu (NBS).

ABS i NBS jsou integrální součástí železniční sítě a slouží osobní a s určitými omezeními i nákladní dopravě. Vybrané tratě s většími podélnými sklony jsou určeny pouze pro osobní dopravu. Nové tratě jsou zaústěny do center větších měst, což negativně ovlivňuje cestovní doby na větší vzdálenosti a pravidelnost provozu, ale umožňuje nabídnout kvalitní přestupní vazby a dobrou časovou dostupnost nádraží z center měst. Od dokončení první trati v roce 1991 bylo postaveno několik dalších úseků a v poslední době byly a jsou budovány zejména tyto tratě:

- **NBS Köln – Rhein/Main**; 177 km; 300 km/h; 2002,
- **NBS Nürnberg – Ingolstadt**; 77 km; 300 km/h; 2006,
- **NBS Erfurt – Leipzig / Halle**; 121 km; 300 km/h; 2015,
- **NBS Ebensfeld – Erfurt**; 107 km; 300 km/h; 2017,
- **NBS Stuttgart – Wendlingen – Ulm**; 85 km; 250 km/h; 2021.

V následujícím textu je kromě novostaveb věnována pozornost i výše zmíněným modernizovaným tratím.

## 1.4 FRANCIE

Tradice provozu rychlých osobních vlaků ve **/FR/** sahá daleko do minulosti, už na konci šedesátých let minulého století začaly jezdit klasické soupravy rychlostí 200 km/h. Postupně se provoz rychlostí nad 200 km/h vyvinul do dvou samostatných skupin:

- VRT pro rychlost 270–350 km/h,
- konvenční tratě pro rychlost do 220 km/h.

Budování VRT ve **/FR/** začalo v sedmdesátých letech minulého století a postupně se síť těchto tratí, označovaných jako tratě pro vysokou rychlost (Ligne à grande vitesse; LGV), rozvinula do té podoby, že sama tvoří páteř dálkové osobní železniční dopravy a rychlé vlaky TGV používají konvenční síť převážně jen v koncových úsecích v centru Paříže nebo naopak daleko od hlavního města. Charakter sítě VRT je silně radiální se vztahem k hlavnímu městu, tratě míjí veškerá mezilehlá města a jejich uspořádání podporuje provoz relačních spojů. VRT jsou určeny čistě pro rychlou osobní dopravu s rychlostmi kolem 300 km/h, výjimečně jsou některé úseky vybudovány pro rychlosti nižší kvůli geografickým omezením a na některých úsecích se rozvíjí též provoz rychlých příměstských vlaků pod názvem TER-GV, resp. SR-GV s rychlostí 200 km/h. V poslední době byly a jsou budovány zejména tyto tratě:

- **LGV Est européenne**; Paris – Baudrecourt – Strasbourg; délka 406 km; návrhová rychlost 350 km/h; zprovoznění 2007 a 2016,
- **LGV Rhin-Rhône**; Dijon – Belfort; 135 km; 350 km/h; 2011,
- **LGV Sud Europe Atlantique** (LGV SEA); Tours – Bordeaux; 302 km; 350 km/h; 2017,
- **LGV Bretagne-Pays de la Loire**; Le Mans – Rennes; 182 km; 2017,
- **Ligne de Perpignan à Figueras**; Perpignan – Figueras; 44 km; 300 km/h; 2010,
- **Contournement Nîmes – Montpellier** (CNM); Nîmes – Montpellier; 60 km; 300 km/h; 2017.

Poslední tři uvedené tratě jsou budovány pro smíšenou dopravu (LGV „Mixtes“), což je v síti LGV novinka z posledních let, kdy se budují úseky méně vytížené dálkovou osobní dopravou s perspektivou zachování dostatečné kapacity i pro nákladní dopravu. V prvním případě jde z celé trati pouze o severní obchvat Le Mans, u zbylých úseků jde o plnou délku. Po dobudování připravované LGV Montpellier – Perpignan (LNMP) budou součástí normálněrozchodné trati spojující jih Francie s Barcelonou a určené v celé nebo ve většině délky pro smíšenou dopravu, včetně provozu spojů TER-GV na francouzské straně. Technické odchylky oproti tratím určeným čistě osobní dopravě jsou popsány v příslušných kapitolách.

Na konvenčních tratích začal provoz rychlostí 220 km/h až po nástupu TGV a v zásadě jako doplněk k vysokorychlostní síti, kdy provoz touto rychlostí je zajišťován pouze jednotkami TGV, ať už jako spoji kategorie TGV po opuštění VRT, nebo samostatně jako vlaky kategorie IC. I když do budoucna SNCF uvažuje o zavedení rychlosti 220–250 km/h na konvenčních tratích, v současnosti jde o spíše okrajovou záležitost a chystá se rozšíření provozu rychlostí 220 km/h pouze v krátkém úseku do La Rochelle, odbočujícím z dokončované trati LGV

SEA. V dalším textu je konvenčním tratím pro tuto rychlost věnována pouze okrajová pozornost.

## 1.5 ŠPANĚLSKO

Konvenční železnice v rozlehlém /ES/ narážela ve druhé polovině minulého století na rychle rostoucí konkurenci silniční dopravy na kratší a střední vzdálenosti a letecké dopravy na dlouhých trasách. Snaha o zvýšení rychlosti využitím vlaků s naklápěcími skříněmi v 70. letech skončila neúspěchem, změnu tak přinesly až rozsáhlé investice do nové sítě vysokorychlostních tratí (Línea de alta velocidad; LAV) po vzoru Francie, které započaly ve druhé polovině 80. let. První LAV Madrid – Sevilla byla zprovozněna v roce 1992 a rychlý nárůst počtu cestujících inspiroval nebývalý rozvoj celé sítě nových tratí, který pokračuje i nadále a který /ES/ předstihlo v délce VRT všechny země s výjimkou Číny.

Zdejší specifikem je budování LAV izolovaných od konvenční sítě pro odlišný rozchod (1 435 mm místo 1 668 mm) i napájení trakčního vedení. Dílčí úseky VRT jsou budovány na „iberském“ rozchodu s přípravou na změnu rozchodu nebo dokonce jako splátky, používají se také vozidla s měnitelným rozchodem. Celá síť LAV má radiální charakter se středem v Madridu a až na výjimky je určena pouze pro osobní dopravu. Návrhová rychlost nově budovaných úseků je většinou 350 km/h, v pravidelném provozu je však omezena na 300–310 km/h. V poslední době byly a jsou budovány například tyto tratě:

- **LAV Madrid – Barcelona – Frontera Francesa:**
  - Barcelona – Figueres; délka 128 km; návrh. rychlost 290 km/h; zprovoznění 2013,
  - Figueres – Perpiñán; 44 km; 300 km/h; 2010,
- **LAV Levante:**
  - Madrid – Valencia; 363 km; 350 km/h; 2010,
  - Albacete – Alicante; 237 km; 350 km/h; 2010,
- **LAV Madrid – Valladolid;** Madrid – Valladolid; 180 km; 350 km/h; 2007,
- **LAV Valladolid – León;** Valladolid – León; 166 km; 350 km/h; 2013,
- **LAV Madrid – Galicia:**
  - Olmedo – Zamora; 99 km; 350 km/h; 2015,
  - Zamora – Lubián – Ourense; 241 km; 250–350 km/h; 2018,
  - Ourense – Santiago; 88 km; 2011,
- **LAV Venta de Baños – Burgos – Vitoria – Frontera Francesa;** Venta de Baños – Burgos; 87 km; 350 km/h; 2017,
- **LAV León – Asturias;** La Robla – Pola de Lena; 50 km; 250 km/h; 2017.

V méně zatížených úsecích dále od Madridu jsou v poslední době častěji budovány úseky pro smíšenou dopravu a jednokolejné úseky na dvoukolejném tělese. S využitím technických řešení používaných na VRT probíhá též rozvoj širokorozchodné sítě a zvyšování rychlostí na 200–220 km/h, čemuž v dalším textu není věnována pozornost.

## 1.6 ITÁLIE

---

Koncentrace hlavních přepravních toků do jednoho silného směru v ose „italské boty“ přímo vybízela k vysokým rychlostem na železnici. Pokusy s rychlostí 200 km/h byly prováděny už ve 30. letech minulého století, ale zvyšování rychlostí naráželo na omezení stávající infrastrukturou. Mezi lety 1977 a 1992 byla zprovozněna jedna z prvních VRT v Evropě pro rychlost 250 km/h (výhledově v části až 300 km/h) mezi Římem a Florencií, kde byla v letech 1986 a 1988 poprvé zaváděna rychlost 200 a 250 km/h. Na „direttissimu“ navázala mezi lety 1994 a 2009 mohutná stavební činnost, na jejímž konci byla dokončená páteřní vysokorychlostní trať Turín – Milán – Řím – Neapol a další práce probíhají již na méně zatížených úsecích.

Vysokorychlostní tratě jsou budovány podle standardů „vysoká rychlost/vysoká kapacita“ (Alta Velocità/Alta capacità; AV/AC), jsou určeny pro rychlost 250–300 km/h a navrženy pro smíšenou dopravu. V praxi ovšem nákladní doprava zcela absentuje, ať už pro odlišný napájecí systém a zabezpečovací zařízení oproti konvenční síti, tak pro kapacitní důvody. Zmíněnou hlavní trasu doplňují tratě pro rychlost 250–300 km/h na hustě osídleném severu země. Konvenční tratě jsou modernizovány do rychlosti 200 km/h. V posledních letech byly budovány tyto úseky:

- **AV/AC Torino – Milano;** Torino – Milano; délka 148 km; návrhová rychlost 300 km/h; zprovoznění 2006–9,
- **AV/AC Milano – Bologna;** Milano – Bologna; 215 km; 300 km/h; 2008,
- **AV/AC Bologna – Firenze;** Bologna – Firenze; 79 km (z toho 73 v tunelu); 300 km/h; 2009,
- **AV/AC Roma – Napoli;** Roma – Napoli; 205 km; 300 km/h; 2005–9,
- **AV/AC Milano – Verona;** Milano – Verona; 165 km; 300 km/h; 2007+2016+?,
- **Terzo Valico;** Tortona – Genova; 53 km; 250 km/h; 2020.

V poslední době uvažují italské dráhy o zvýšení maximální rychlosti až na 360 km/h, nově dodávané jednotky soukromého dopravce i státních drah jsou pro tuto provozní rychlost navrženy. Vše je ale ve stádiu testování a úvah a reálnost běžného provozu touto rychlostí po stávající infrastruktuře není potvrzena po technické ani ekonomické stránce. Dle posledních informací je reálné očekávat pouze nižší nárůst maximální rychlosti na úroveň cca 320 km/h za cenu významných úprav infrastruktury.

## 2 NÁVRH TRASY

---

### 2.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE

---

#### 2.1.1 ROZCHOD KOLEJE

---

Prakticky v celé Evropě je vysokorychlostní železnice rozvíjena tak, aby umožnila napojení na konvenční železniční systém, respektive železniční systém sousedních zemí. Ve sledovaných zemích jsou tak budovány a provozovány tratě se jmenovitým rozchodem

1 435 mm, a to včetně /ES/, kde je tím sledována možnost napojení na síť /FR/, zatímco konvenční síť používá rozchod 1 668 mm.

Pro vyšší rychlosti nabývá na významu hodnota tzv. ekvivalentní konicity, což je veličina charakterizující pohyb volného dvojkolí v přímé koleji a závisující z pohledu infrastruktury na tvaru hlavy kolejnic, úklonu kolejnic a rozchodu. Vyšší hodnota ekvivalentní konicity zkracuje vlnovou délku pohybu dvojkolí a se zvyšujícími se rychlostmi vede k větší náchylnosti vozidel k neklidnému chodu. Zásadní vliv přitom má hodnota rozchodu koleje – její zmenšování vede k výraznému nárůstu ekvivalentní konicity. Z tohoto důvodu se neosvědčily pokusy používat snížený rozchod koleje, které byly zkoušeny v počátcích budování tratí pro vyšší rychlosti například v /DE/. Proto naopak s cílem zajištění klidnějšího chodu vozidel dochází u některých železničních správ k broušení hlav kolejnic vedoucímu k drobnému rozšíření rozchodu koleje. V některých zemích /AT/ je používán větší návrhový rozchod 1 437 mm. Návrhový rozchod představuje reálnou hodnotu, na kterou jsou navrhovány pražce nebo podpory PJD, jmenovitý rozchod je přitom stále udáván 1 435 mm. K tématu viz též kapitulu 3.1.2.

Použití návrhového rozchodu koleje 1 437 mm v evropské železniční síti je požadováno v [1] s přechodným obdobím, kterým je tato povinnost uložena od června 2021. Vývoj nových pražců i v /CZ/ probíhá již se zohledněním tohoto požadavku, podrobněji v kapitole 3.2.2.

### 2.1.2 PŘEVÝŠENÍ KOLEJE

Používané rozpětí hodnot převýšení koleje ve sledovaných zemích závisí na skladbě dopravy (osobní / smíšená) a konstrukci železničního svršku (s kolejovým ložem / pevná jízdní dráha). Následující tabulka uvádí maximální možné hodnoty, na které se vztahují další omezení. Podrobněji viz následující kapitoly.

Tabulka: Převýšení koleje na VRT

Země	Konstrukce svršku	Maximální převýšení			Poznámka
		Osobní doprava	Smíšená doprava	Ve výhybce	
/AT/	Štěrka, PJD	-	160 mm	100 mm	
/DE/	Štěrka	*160 mm	160 mm	**120 mm	* Výjimečná hodnota 180 mm
	PJD	*170 mm	170 mm		** Výjimečná hodnota 150 mm
/FR/	Štěrka, PJD	180 mm	*100 mm	0 mm	* V případě kombinované dopravy
/ES/	Štěrka	160 mm		160 mm	
	PJD	180 mm	170 mm		
/IT/	Štěrka, PJD	-	*160 mm	0 mm	*Na většině VRT max. 105 mm
<i>Převýšení používané v ČR na konvenčních tratích</i>					
/CZ/	Štěrka, PJD	-	160 mm	120 mm	



Ve všech sledovaných zemích se hodnota převýšení udává pro teoretickou vzdálenost kolejnic 1 500 mm a převyšuje se vnější kolejnice s výjimkou inflexního bodu mezi dvěma lineárními vzestupnicemi, kdy je převýšena i vnitřní kolejnice shodně jak je obvyklé v ČR. Ve **/FR/** je pro zjednodušení řešení železničního spodku a minimalizaci nutného objemu kolejového lože prováděno v obloucích dvoukolejně trati převýšení se zapuštěním nepřevýšeného pásu vnitřní koleje a nadvýšením vnější koleje oproti teoretické výšce. Tato úprava se provádí obdobně jako podružné lomy sklonu na délku přechodnic. Podrobnosti jsou v kapitole 3.2.3.

## 2.2 SMĚROVÉ POMĚRY

### 2.2.1 RAKOUSKO

Navrhování směrového uspořádání kolejí v **/AT/** se řídí předpisem [10], který zahrnuje ustanovení z dřívějších vnitrostátních předpisů včetně předpisu zvlášť vytvořeného pro modernizované hlavní tratě [11] a zohledňuje též ve své době platné normy ÖNORM ENV 13803-1 a ÖNORM prENV 13803-2 a tehdy aktuální požadavky TSI. Uvedený předpis stanovuje požadavky na GPK pro rychlost do 280 km/h. V případě návrhu vysokorychlostních tratí (myšleny vysokorychlostní tratě mimo síť HL a pro vyšší rychlosti) umožňuje předpis u většiny hlavních parametrů využití volnějších požadavků TSI. Dovolené nedostatky a přebytky převýšení upravuje následující tabulka.

Tabulka: **/AT/**: Nedostatek a přebytek převýšení na HL tratích

Veličina	Rychlost	km/h	220	230	280
Nedostatek převýšení	Standardní	mm	100		
	Maximální	mm	130		
	V koleji s pevnými místy	mm	100		
	V místě dilatačního zařízení v oblouku	mm	100		
	V místě okraje pevné jízdní dráhy	mm	80		
Přebytek převýšení	Standardní	mm	80		
	Maximální	mm	110		
Náhlá změna nedostatku převýšení	Standardní	mm	25		0
	Maximální	mm	30		
	Standardní v kolejovém S	mm	20		
	Maximální v kolejovém S	mm	30		
	Ve výhybce v hlavní koleji	mm	(400–V <sub>max</sub> )/3	60	0
	Přípustná malá změna	mm	10		0

Pozn.: Použití pevných srdcovek pro rychlosti nad 200 km/h není přípustné.

Pro návrh směrového řešení je rozhodující rychlost rychlého osobního a pomalého nákladního vlaku, které ovlivňují možné rozpětí navrženého převýšení a v praxi zvyšují potřebné poloměry oblouků. Na HL tratích se pro nejpomalejší vlak uvažuje standardně

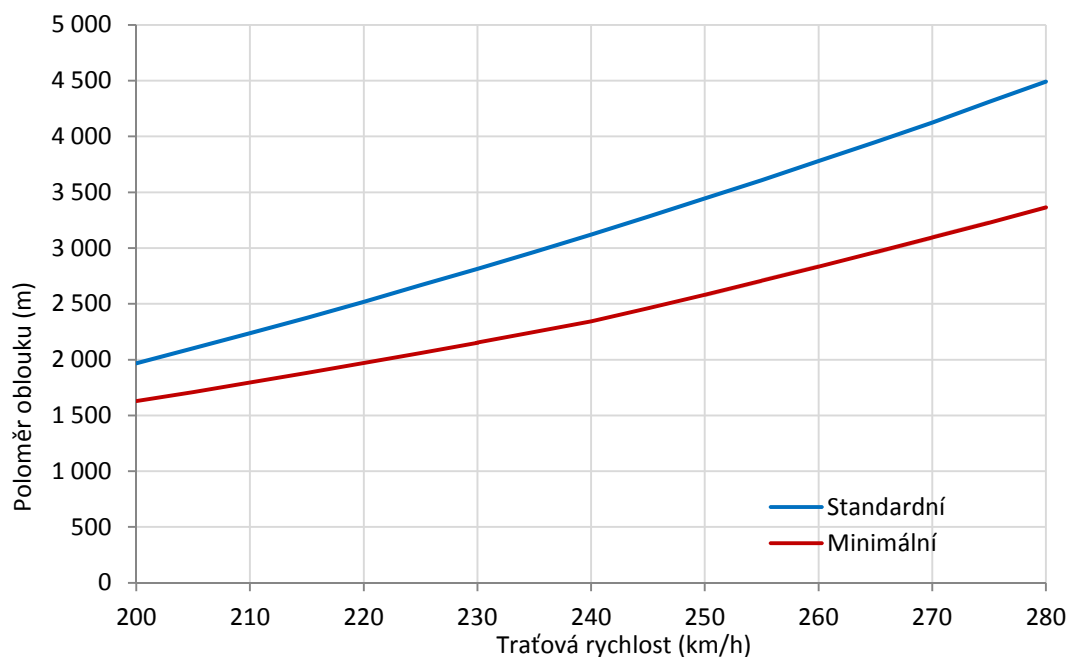
rychlost 100 km/h. Optimální převýšení předpis stanovuje jako takové, kdy pro konstantní poloměr s rostoucí návrhovou rychlostí osobního vlaku je postupně:

- 1) dosažen a udržován přebytek převýšení  $E_{n\acute{a}kl} = -20$  mm při lineárním nárůstu nedostatku převýšení až na  $l_{os} = 80$  mm,
- 2) lineárně zvyšován přebytek převýšení z  $E_{n\acute{a}kl} = -20$  mm na  $E_{n\acute{a}kl} = 80$  mm při kvadratickém nárůstu z  $l_{os} = 80$  mm na  $l_{os} = 100$  mm,
- 3) lineárně zvyšován přebytek převýšení z  $E_{n\acute{a}kl} = 80$  mm na  $E_{n\acute{a}kl} = 110$  mm při kvadratickém nárůstu z  $l_{os} = 100$  mm na  $l_{os} = 130$  mm.

Tabulka: /AT/: Minimální poloměry směrových oblouků na HL tratích

Traťová rychlost	km/h	200	230	250	280
Standardní D=160 mm, l=100 mm, E=80 mm	m	1 968	2 813	3 443	4 485
Minimální D=160 mm, l=130 mm, E=110 mm	m	1 628	2 153	2 582	3 364

Graf: /AT/: Minimální poloměry směrových oblouků na HL tratích



Standardní délka směrového prvku (včetně přechodnic) pro rychlost nad 160 km/h je stanovena na  $0,7 \times V$ , minimální pak  $0,4 \times V$ . Doporučená vzdálenost mezi výhybkou a vzešupnicí je na HL tratích  $0,35 \times V$ .

Přechodnice se používá tvaru klotoidy s lineární vzešupnicí a v posledních letech též tzv. Wiener Bogen typ HHMP7, patentovaná přechodnice ÖBB a Wiener Linien, vyvinutá v roce 2002 za účelem nalezení takového tvaru přechodnice se vzešupnicí, který minimalizuje síly

mezi kolem a kolejnicí a sníží požadavky na údržbu. Hlavní myšlenkou bylo zajištění otáčení vozidla ve vzestupnici kolem jeho těžiště, což oproti standardnímu řešení znamená vyloučení příčných sil působících vně oblouku na začátku přechodnice a dovnitř oblouku na jejím konci, kdy dochází k lineárnímu pohybu těžiště ke středu oblouku. Logickým důsledkem je směrové vyosení koleje vně oblouku na začátku přechodnice. Toto řešení zajišťuje plynulý průběh převýšení, sklonu vzestupnice i úhlového zrychlení kolem trasy těžiště.

Tabulka: /AT/: Délka přechodnic a vzestupnic

Veličina	Rychlost	km/h	200–280
Součinitel sklonu lineární vzestupnice	Standardní	-	10×V, min. 800
	Minimální	-	8×V; min. 600
Součinitel změny nedostatku převýšení klotoidické přechodnice	Standardní	-	5,56×V
	Minimální	-	3,70×V
Součinitel změny nedostatku převýšení pro přechodnici Wiener Bogen	-	-	1,455×n <sub>l,klotoida</sub>

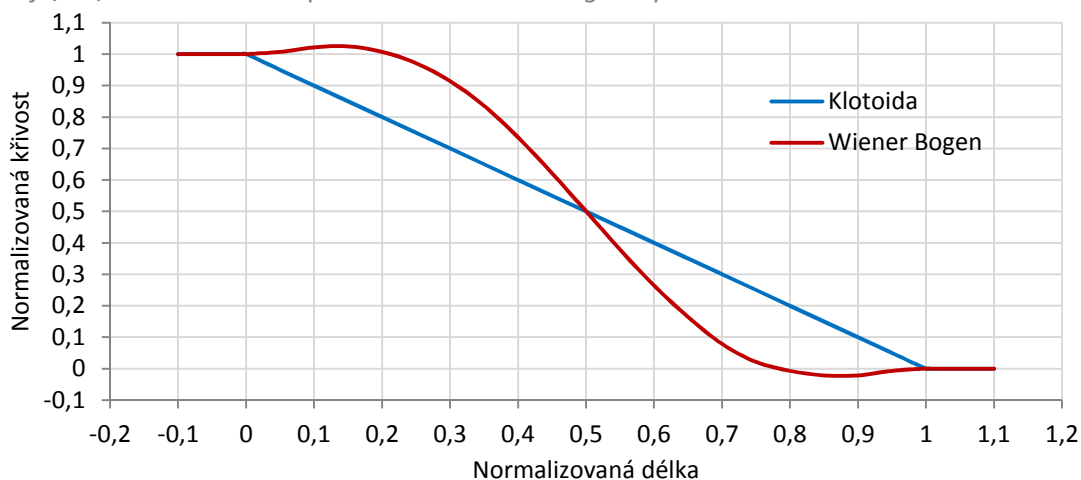
Pro návrh přechodnice se vzestupnicí Wiener Bogen dále platí následující vztahy:

$$L = 2,1875 \times \frac{D}{dD/dS}$$

$$L = \sqrt{\frac{V^2 \times D}{2587,45 \times |\alpha|_{\max}}}$$

kde změna převýšení po délce vzestupnice je limitována hodnotami  $dD/dS$  je limitována doporučenou hodnotou 1,25 mm/m a maximální 1,67 mm/m a dále hodnota úhlového zrychlení  $|\alpha|$  je omezena hodnotou 0,06667 rad/s<sup>2</sup>.

Graf: /AT/: Průběh křivosti přechodnice Wiener Bogen v porovnání s klotoidou



Dilatační zařízení může do vzestupnice a jejího zaoblení zasahovat jen ve výjimečných případech.

Při návrhu pevné jízdní dráhy je třeba navrhnout geometrii tak, aby bylo možné zvýšit bez zásahů do koleje rychlost o 25 % při dodržení předepsaných nedostatků převýšení [11].

### 2.2.2 NĚMECKO

Požadavky na směrové řešení kolejí specifikuje předpis [29], který je vnitřním předpisem DB Netz AG a upravuje návrh geometrie kolejí pro rychlost do 300 km/h včetně. S výhledovým zvýšením rychlosti nad tuto úroveň se neuvažuje. V předpisu jsou obvykle definovány hodnoty jednotlivých parametrů doporučené, mezní a maximální, ty mohou nabývat hodnot definovaných přímo v předpisu, případně ve vyhlášce [34], a v každém případě podléhají schválení správcem – ústředím DB Netz.

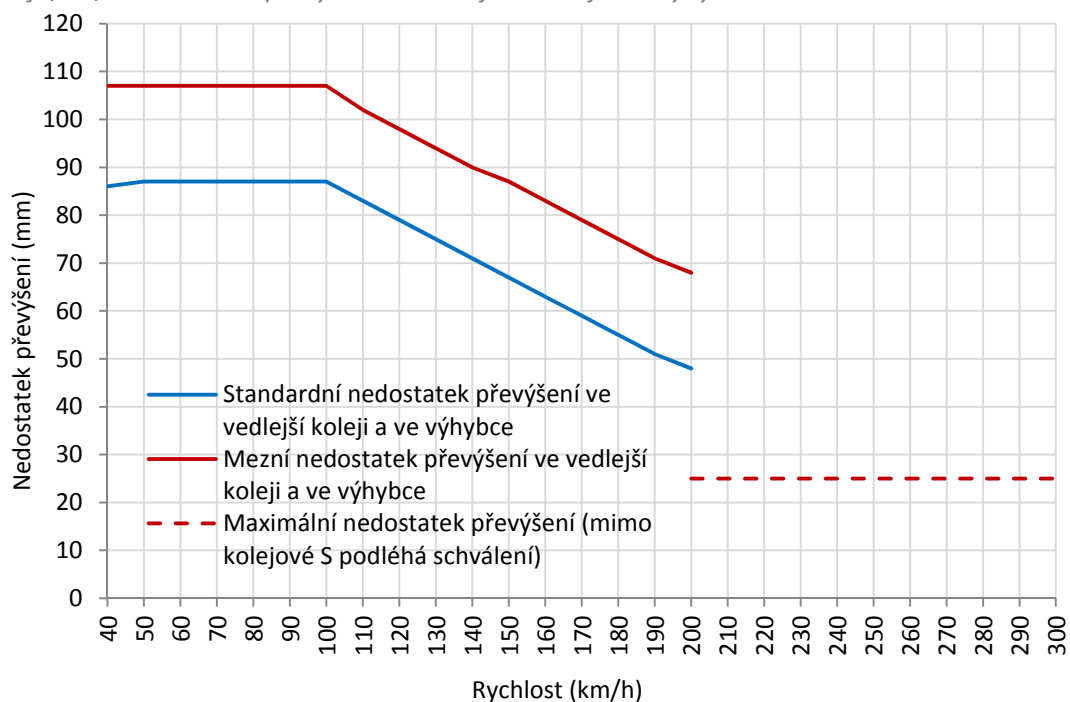
Tabulka: /DE/: Nedostatek převýšení

Veličina	Rychlost		km/h	200	230	250	300
Nedostatek převýšení	Mezní v hlavní koleji	R≥650 m	mm	150			
		R<650 m	mm	130			
	V místě výhybky s PHS	mezní	mm	130	100		*
		maxim.	mm	150	120		
	V místě KDZ v oblouku	mezní	mm	100	*		
		maxim.	mm	120			
	V místě výhybky s pevnou srdcovkou ve vnitřním pásu	mezní	mm	110	*	-	
		maxim.	mm	132			
	V místě výhybky s pevnou srdcovkou ve vnějším pásu	mezní	mm	90	*	-	
		maxim.	mm	108			
Náhlá změna ned. převýšení	Maximální v hlavní koleji		mm	40	*		
	V kolejovém S v hlavní koleji		mm	25			

\* Hodnotu je třeba pro konkrétní případy schválit správcem.

Pro kolejová rozvětvení a vedlejší koleje ve stanici jsou stanoveny do V=100 km/h doporučené hodnoty l=87 mm a mezní 107 mm, pro vyšší rychlosti jsou tabulkou definovány doporučené a mezní poloměry oblouků s nedostatkem převýšení klesajícím až do 200 km/h. Pro vyšší rychlost se používá standardně pouze kolejové S (v hlavní koleji při odsazení do cca 1,5 m) s poloměry oblouků  $R^2/2$ , což odpovídá nedostatku převýšení do 25 mm. V jiných případech je nezbytné schválení správcem.

Graf: /DE/: Nedostatek převýšení ve vedlejších kolejích a výhybkách

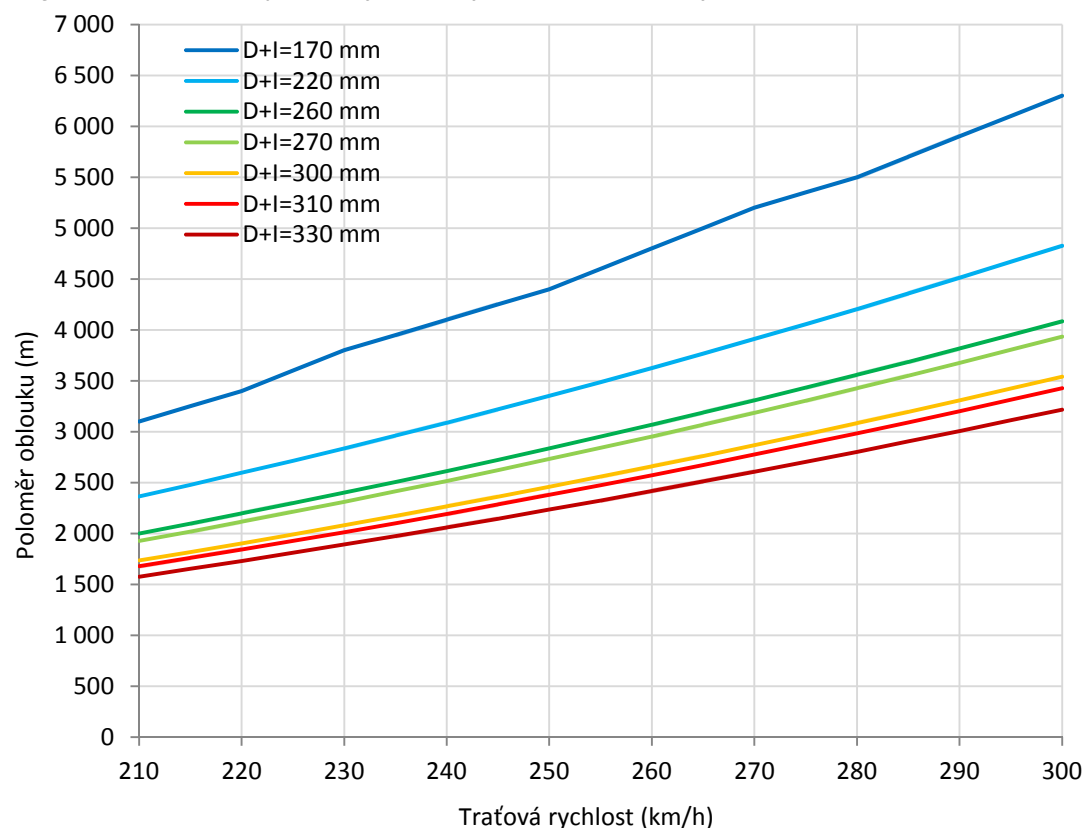


Předpis dále stanovuje jako doporučenou hodnotu převýšení v hlavní koleji  $6,5 \times V^2/R$  (starší vydání předpisu doporučovala  $7,1 \times V^2/R$ ) a nedefinuje povolený přebytek převýšení. Určitý návrhový postup pro stanovení vhodných poloměrů a převýšení v obloucích nabízí starší předpis [35], který doporučuje u novostaveb poloměr oblouku  $0,07 \times V^2$  pro součet proměnných  $D+I=170$  mm a pro vyšší hodnoty tohoto součtu definuje minimální poloměry. V případě pouze osobního provozu se zřídí převýšení větší než doporučené a nižší než teoretické. Hodnota poloměru nemá překračovat 25 000 m s výjimkou prostých oblouků pro změnu osové vzdálenosti.

Tabulka: /DE/: Minimální poloměry směrových oblouků na nových tratích

	Konstrukce svršku	Součet D+I mm	km/h	230	250	280	300
Doporučený		170	m	3 700	4 400	5 500	6 300
Mezní smíšená doprava	Štěrka	220	m	2 837	3 352	4 205	4 827
	PJD	260	m	2 401	2 837	3 558	4 085
Mezní osobní doprava	Štěrka	260	m	2 401	2 837	3 558	4 085
	PJD	270	m	2 312	2 731	3 426	3 933
Maximální smíšená doprava	Štěrka	260	m	2 401	2 837	3 558	4 085
	PJD	300	m	2 081	2 458	3 084	3 540
Maximální osobní doprava	Štěrka	310	m	2 014	2 379	2 984	3 426
	PJD	330	m	1 892	2 235	2 803	3 218

Graf: /DE/: Minimální poloměry směrových oblouků na nových tratích



Přechodnice se navrhují standardně klotoidické s lineární vzestupnicí, předpis dovoluje též přechodnici podle Blosse s Blossovou vzestupnicí. Na VRT jsou používány oba tvary přechodnic, převažující klotoidu nahrazuje přechodnice podle Blosse na VRT Köln – Rhein/Main. Sklon vzestupnic je omezen z důvodu údržby horní hranicí 1:3 000 pro lineární vzestupnici (neplatí na PJD) a 1:1 500 pro Blossovu vzestupnici, jejíž použití vyžaduje také minimální rozdíl převýšení 40 mm. Zaoblení začátků a konců lineárních vzestupnic předpis neřeší.

Tabulka: /DE/: Délka přechodnic a vzestupnic

Veličina	Případ	Hodnota
Součinitel sklonu lineární vzestupnice	Standardní	10×V, min. 600
	Mezní	8×V; min. 400
	Minimální	6×V; min. 400
Součinitel sklonu Blossovy vzestupnice	Standardní	5×V, min. 600
	Mezní	4×V; min. 400
	Minimální	3,67×V; min. 400
Součinitel změny nedostatku převýšení klotoidické přechodnice	Mezní	4×V
Součinitel změny nedostatku převýšení přechodnice podle Blossa	Mezní	3×V

Pozn.: Uvedené hodnoty pro nelineární přechodnici a vzestupnici jsou vztaženy k vzorcům dle ČSN 73 6360-1.

Standardní délka kruhových oblouků a přímých je uvedena v následující tabulce.

Tabulka: /DE/: Minimální délka směrových prvků v hlavní koleji

Traťová rychlost	km/h	70	100	>100
Standardní	m			0,40×V
Mezní	m	0,10×V	0,15×V	0,20×V

Pro umístění výhybek platí předchozí ustanovení pro směrové řešení vedlejších kolejí. Mezi koncem přechodnice a výměnovým stykem výhybky odbočující protisměrně vůči předchozímu oblouku má být zajištěna délka přímé 10 m (optimálně 20 m) a při rychlosti v odbočné větvi přes 70 km/h dle výše uvedené tabulky. Dilatační zařízení mohou být umístěna v oblouku o poloměru nejméně 1 000 m. Další požadavky na směrové řešení ve vztahu k umístění výhybek definuje předpis [30]. Mezi skupinami výhybek v hlavní koleji musí být úsek s délkou alespoň 0,4×V (včetně kolejí s PJD). Odstup výhybek vložených do hlavní koleje výměnovými styky k sobě má být přizpůsoben na hlavních tratích konstrukci trakčního vedení (soustavy Re 330). Pro rychlost nad 230 km/h jsou povinné srdcovky s pohyblivými hroty.

### 2.2.3 FRANCIE

Návrh GPK pro VRT ve Francii je výrazně ovlivněn skutečností, že jsou určeny výhradně pro provoz lehkých vysokorychlostních jednotek s rychlostí okolo 300 km/h, lokálně též rychlých příměstských jednotek s rychlostí 200 km/h. Zcela ovšem odpadá provoz pomalých vlaků. Odlišný návrh pro úseky se smíšenou dopravou (LGV Mixte) je popsán na konci kapitoly.

Základní předpisy pro návrh směrového řešení jsou [7] a [8]. Návrh minimálních poloměrů směrových oblouků vychází ze standardní (160 mm) a maximální (180 mm) hodnoty převýšení a z následující tabulky, specifikující dovolené nedostatky převýšení. Pro stanovení doporučených poloměrů oblouků se použije koeficientu K, který zajišťuje určitý poměr mezi převýšením a nedostatkem převýšení a nabývá různých hodnot pro různé rychlosti. S jeho pomocí se stanoví převýšení pro konkrétní poloměr.

$$K = n \times V^2; D = \frac{K}{R}$$

Tabulka: /FR/: Nedostatek převýšení na LGV

Traťová rychlost		km/h	230	270	300	320	350
Součinitel K**		-	$7,4 \times V^2$	$7,9 \times V^2$	$8 \times V^2$	$8,3 \times V^2$	$9 \times V^2$
Nedostatek převýšení	Standardní*	mm	95	79	76	67	50
	Mezní	mm	110	100	80	75	65
	Maximální	mm	140	130	100	90	80

\* Stanoveno na základě hodnot parametru K pro D=160 mm.

\*\* Jiné než uvedené návrhové rychlosti se v praxi nepoužívají, součinitel tedy nabývá dle předpisu absolutních hodnot pro uvedené rychlosti.

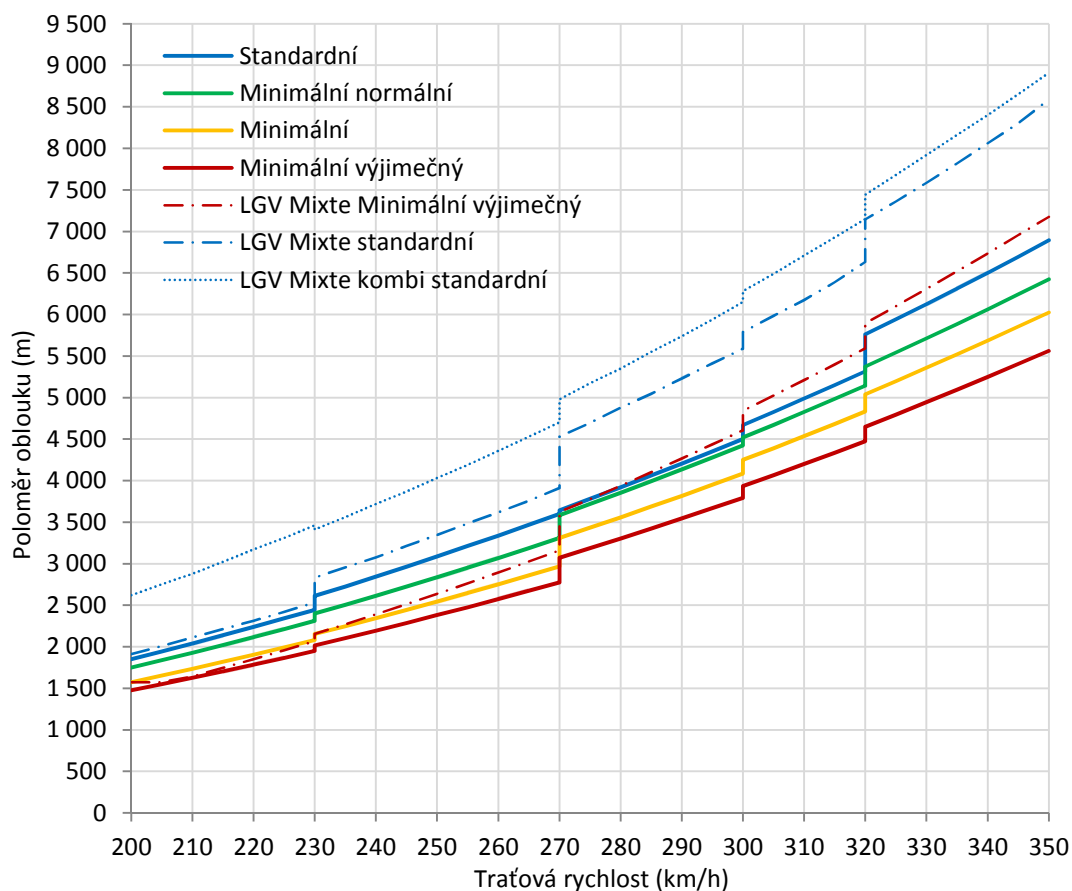
Na základě výše uvedených hodnot se stanoví poloměry směrových oblouků pro různé kombinace traťové rychlosti, převýšení a nedostatku převýšení. V následující tabulce jsou uvedeny rozhodující kombinace. V případě větších než standardních poloměrů se převýšení upraví podle součinitele K. Maximální poloměr směrového oblouku je 25 000 m.

Tabulka: /FR/: Minimální poloměry směrových oblouků na LGV

Traťová rychlost		km/h	230	270	300	320	350
Standardní D=160 mm, D=K/R		m	2 438	3 600	4 500	5 313	6 875
Minimální normální D=160 mm, I mezní		m	2 310	3 308	4 280	5 142	4 833
Minimální D=160 mm, I maximální		m	2 081	2 966	4 085	4 833	6 023
Minimální výjimečný D=180 mm, I maximální		m	1 951	2 775	3 793	4 476	5 560



Graf: /FR/: Minimální poloměry směrových oblouků na LGV a LGV Mixte



Přechodnice jsou navrhovány tvaru klotoidy, do začátku 90. let 20. století byla používána kubická parabola. Vzestupnice jsou navrhovány lineární se zaoblením na začátku a konci v délce 40 m (délka tečen zaoblení je 20 m).

Tabulka: /FR/: Délka přechodnic a vzestupnic

Veličina	Rychlost	km/h	230–350
Součinitel sklonu lineární vzestupnice	Standardní	-	5,56×V
	Minimální	-	4,63×V
Součinitel změny nedostatku převýšení klotoidické přechodnice	Standardní	-	9,26×V
	Minimální	-	5,56×V

Minimální délku směrového prvku (přímé a oblouku) stanovuje následující tabulka, minimální délka přechodnice je 50 m, v praxi však nabývají větších délek.

Tabulka: /FR/: Minimální délka směrových prvků

Rychlost	km/h	$230 \leq V \leq 300$	$300 < V \leq 350$
Standardní	m	$0,67 \times V$	250
Minimální	m	$0,50 \times V$	200

Výhybky musí být umístěny výhradně v přímé a v konstantním sklonu. Konec směrového nebo výškového zakřivení musí být minimálně ve vzdálenosti  $V_{\text{odbočka}}/2$  před začátkem výhybky, při rychlostech 300 km/h a více v hlavní koleji alespoň 100 m. Za výhybkou následuje v přímém směru začátek zakřivení ve vzdálenosti minimálně 50 m, resp. 100 m při rychlostech 300 km/h a více. Pro rychlost nad 230 km/h jsou povinné srdcovky s pohyblivými hroty. Nedostatek převýšení v odbočné větví výhybky je limitován hodnotou 120 mm do 70 km/h, 105 mm do 170 km/h a 85 mm do 230 km/h. Dilatační zařízení (KDZ) mohou být umístěna v přímé nebo oblouku o poloměru přes 3 000 m. Mají být umístěna v konstantním sklonu, v případě potřeby mohou být ve výškovém oblouku o minimálně standardním poloměru, směrově však v přímé. KDZ musí být minimálně 150 metrů od výhybky a 100 m od přechodnice nebo okraje výškového zaoblení.

V případě trati pro smíšenou dopravu (LGV Mixte) se uvažuje návrhová rychlost nákladního vlaku 100, 120 nebo 140 km/h, délka 1 000 m s jednou lokomotivou, resp. 1 500 m se dvěma lokomotivami (pro případ provozu vlaků kombinované dopravy s kamiony nebo silničními návěsy) a hmotnost 1 800 až 3 600 t. Pro osobní dopravu může být navržena rychlost až do 350 km/h, ale ve většině případů (v realizaci nebo ve fázi studií) byla dosud omezena na 300 km/h pro značný nárůst nezbytných poloměrů oblouků při velkém rozdílu rychlostí (viz dále). V případě předpokladu provozu kombinované dopravy s přepravou kamionů nebo silničních návěsů musí být převýšení omezeno na 100 mm.

Tabulka: /FR/: Přebytek převýšení na LGV Mixte

Traťová rychlost pro osobní dopravu		km/h	230	270	300	320	350
Součinitel $K^{**}$		-	$6,54 \times V^2$	$6,45 \times V^2$	$6,83 \times V^2$	$6,98 \times V^2$	$7,27 \times V^2$
Standardní nedostatek převýšení pro osobní vlak*		mm	110	83	53	46	32
Přebytek převýšení	Standardní*	mm	90				
	Mezní	mm	90				
	Maximální	mm	105				

\* Stanoveno na základě hodnot součinitele  $K$  při dodržení standardních hodnot  $I$ ,  $E$  a  $D$ .

\*\* Stanoven pro rychlost nákladních vlaků 100 km/h. Jiné než uvedené návrhové rychlosti se v praxi nepoužívají, součinitel tedy nabývá dle předpisu absolutních hodnot pro uvedené rychlosti.

Tabulka: /FR/: Minimální poloměry směrových oblouků na LGV Mixte

Traťová rychlost	km/h	230	270	300	320	350
Standardní I st., E st., $D=K/R \leq 137$ mm	m	2 534	3 912	5 588	6 634	8 589
Standardní kombin. doprava I st., E st., $D=K/R \leq 100$ mm	m	3 460	4 700	6 150	7 150	8 910
Minimální výjimečný I max., E max., D max.	m	2 067	3 158	4 605	5 592	7 176

Návrh směrového řešení konvenční tratě s rychlostí 220 km/h se řídí předpisem [9]. Převýšení je omezeno maximální hodnotou 160 mm a pro stanovení standardních poloměrů oblouku se využije součinitel  $K=6 \times V^2$ . Nedostatek převýšení je limitován až do rychlosti 220 km/h standardní hodnotou 160 mm, která přesahuje jinak povolenou hodnotu 153 mm dle [1]. Poloměr oblouku tak lze navrhnout 1 815 m při využití součinitele K, resp. 1 785 m při využití maximálního převýšení i nedostatku převýšení. Je třeba poznamenat, že rychlost přes 200 km/h na konvenčních tratích je povolena pouze jednotkám TGV a v budoucnu případně jiným lehkým jednotkám.

#### 2.2.4 ŠPANĚLSKO

Směrové řešení na síti VRT se navrhuje podle vnitřního předpisu ADIFu IGP 3.1 Parámetros de diseño del trazado (v poslední verzi z roku 2011), který španělský správce zpracovateli neposkytnul. Hlavní parametry jsou přeneseny a aktualizovány ve vyhlášce ministerstva veřejných prací [33], vydávané v roce 2016 pro zajištění souladu s [1]. Vyhláška je zatím k dispozici ve formě návrhu. Návrh GPK je upraven do rychlosti 350 km/h a níže uvedené informace se vztahují pouze k návrhu normálněrozchodné koleje. Hodnoty omezující přebytek převýšení jsou odvozeny z maximálních definovaných nevyrovnaných příčných zrychlení.

Tabulka: /ES/: Nedostatek a přebytek převýšení na novostavbách LAV

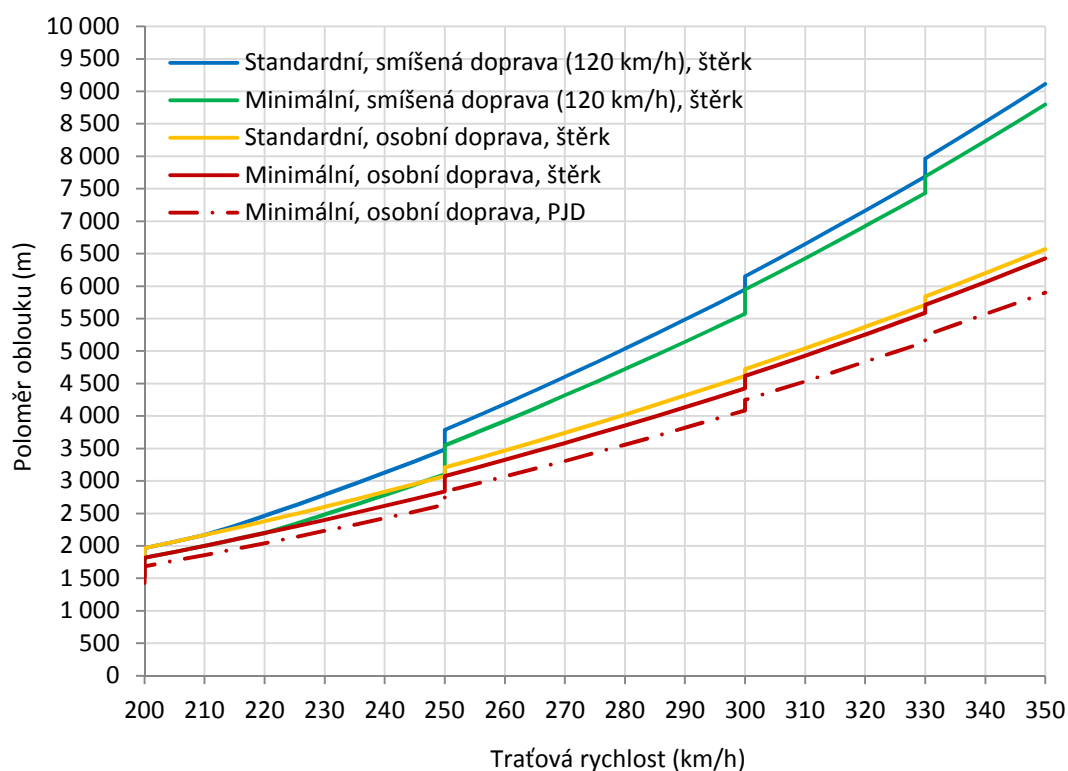
Traťová rychlost	km/h	140	160	200	250	300	330	350
Nedostatek převýšení	Standardní	mm	100	100	80	70	65	60
	Maximální	mm	130	150	100	80	70	65
Přebytek převýšení	Standardní	mm	86	83	80	80	80	80
	Maximální	mm	95	92	89	89	89	89

Stanovení poloměrů oblouků pak vychází zejména z uvažované skladby dopravy, resp. přítomnosti nákladní dopravy, pro niž je třeba respektovat uvedené přebytky převýšení pro nízké rychlosti. U posledních tratí probíhá návrh GPK v souvislých středních úsecích mezi velkými městy pro rychlost 350 km/h.

Tabulka: /ES/: Minimální poloměry směrových oblouků na LAV

Traťová rychlost	km/h	200	230	250	300	350
Standardní, smíšená doprava I st., E st., $D \leq \max$ , $V_n = 120$ km/h	m	1 816	2 788	3 483	5 948	9 112
Minimální, smíšená doprava I max., E max., $D \leq \max$ , $V_n = 120$ km/h	m	1 523	2 483	3 102	5 576	8 798
Standardní, osobní doprava I st., $D \leq \max$ .	m	1 816	2 601	3 073	4 618	6 571
Minimální, osobní doprava I max., E max., $D \leq \max$ .	m	1 523	2 401	2 837	4 425	6 425
Minimální, osobní doprava, PJD I max., E max., $D \leq \max$ .	m	1 430	2 230	2 634	4 085	5 900

Graf: /ES/: Minimální poloměry směrových oblouků na novostavbách LAV



Přechodnice se navrhují tvaru klotoidy s lineární vzestupnicí. Požadované parametry znázorňuje následující tabulka. Zaoblení okrajů vzestupnic není v předpisu definováno.

Tabulka: /ES/: Délka přechodnic a vzestupnic na novostavbách LAV

Veličina	Rychlost	km/h	140	200	250	300	350
Součinitel sklonu lineární vzestupnice	Standardní	-	9,26×V				
	Minimální	-	5,55×V				
Sklon lineární vzestupnice	Standardní	mm/m	0,80	0,80	0,70	0,60	0,50
	Minimální	mm/m	1,85	1,00			
Součinitel změny nedostatku převýšení klotoidické přechodnice	Standardní	-	9,26×V				
	Minimální	-	5,56×V				

Minimální délka přímých a kruhových oblouků je uvedena v následující tabulce. V hlavních kolejích na novostavbách je požadován návrh geometrie bez náhlých změn nedostatku převýšení, pro výjimečné případy lze použít  $\Delta l=40$  mm do 170 km/h a  $\Delta l=30$  mm do 230 km/h.

Tabulka: /ES/: Minimální délka směrových prvků

	Traťová rychlost	km/h	70	100	200	230	350
Bez náhlých změn nedostatku převýšení	Standardní	m	0,33×V		0,50×V	0,67×V	
	Mezní	m	0,25×V		0,33×V	0,50×V	
S náhlými změnami nedostatku převýšení	Standardní	m	0,20×V	0,25×V	0,30×V		-
	Mezní	m	0,10×V	0,15×V	0,20×V		-

Pro rychlost nad 250 km/h jsou povinné srdcovky s pohyblivými hroty, při rychlosti nad 200 km/h mohou být pevné srdcovky použity jen omezeně v souladu s [1].

### 2.2.5 ITÁLIE

Směrové řešení železničních tratí v /IT/ se navrhuje podle předpisu vnitřního předpisu RFI [12] pro konvenční i vysokorychlostní tratě do 300 km/h. Norma zahrnuje požadavky ENV 13803-1 (finálního návrhu z roku 2005) a tehdy platných TSI.

Poloměry směrových oblouků vycházejí z požadavku provozování smíšené dopravy, kdy je pro nákladní vlaky uvažována rychlost 80 km/h a z povolených nedostatků a přebytků převýšení. Nad rámec normových ustanovení RFI požaduje u dosud budovaných vysokorychlostních tratí dodržení určitých požadavků, které jsou v následující tabulce uvedeny jako standardní hodnoty.

Tabulka: /IT/: Nedostatek a přebytek převýšení na AV/AC tratích

Traťová rychlost		km/h	250	300
Nedostatek převýšení	Standardní*	mm	91,8	
	Mezní	mm	100	80
	Maximální	mm	150	130
Přebytek převýšení	Standardní*	mm	91,8	
	Mezní	mm	110	
	Maximální	mm		

\* Požadováno u dosud budovaných VRT.

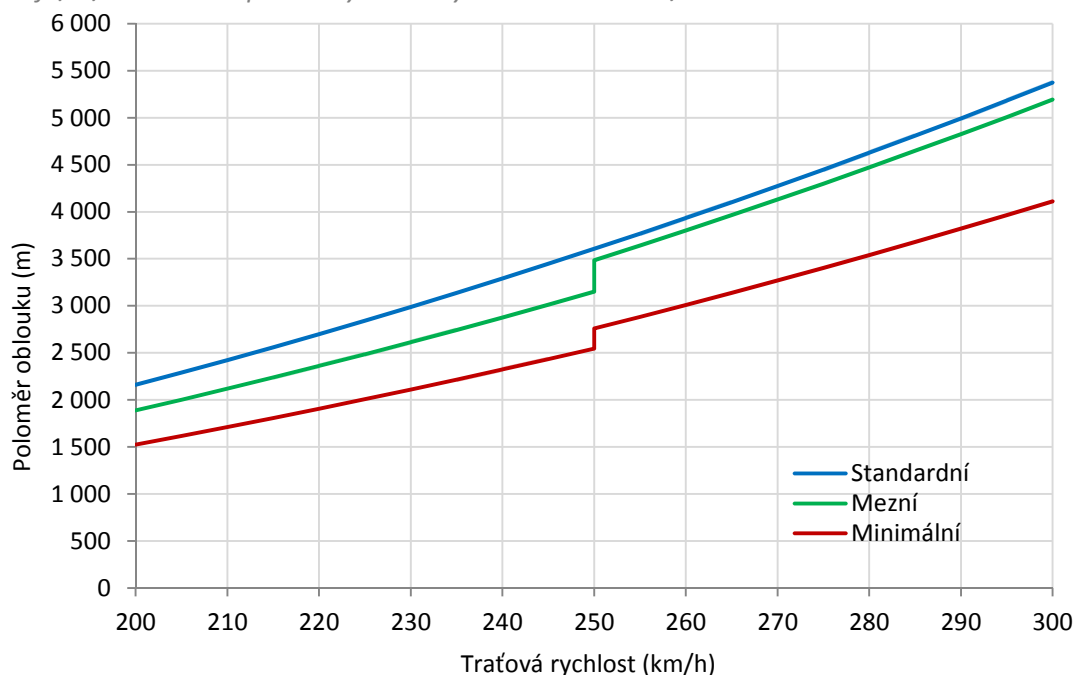
Převýšení je limitováno bez ohledu na rychlost hodnotou 160 mm. Na VRT však při standardních nedostatecích a přebytecích převýšení velmi omezuje nízká uvažovaná rychlost nákladního vlaku (80 km/h) možné převýšení až na 105 mm (pro rychlost osobní dopravy 300 km/h). Pro v budoucnu uvažovanou rychlost 360 km/h bývá udávána maximální hodnota převýšení 130 mm a limit nedostatku převýšení 75 mm, v předpisech však tyto hodnoty nejsou uvedeny. Při větším než minimálním poloměru oblouku má být převýšení sníženo dle následujícího vztahu.

$$D_x = \frac{D_{max} \times R_{min}}{R_x}$$

Tabulka: /IT/: Minimální poloměry směrových oblouků na AV/AC tratích

Traťová rychlost	km/h	250	300
Standardní I st., E st., D<max.	m	3 606	5 373
Mezní I mezní, E mezní, D<max.	m	3 152	5 192
Minimální I max., E max., D<max.	m	2 546	4 110

Graf: /IT/: Minimální poloměry směrových oblouků na AV/AC tratích



Jako přechodnice se tradičně používá kubická parabola, předpis umožňuje též použití klotoidy.

Tabulka: /IT/: Délka přechodnic a vzestupnic

Veličina	Rychlost	km/h	200–300
Součinitel sklonu lineární vzestupnice	Standardní	-	5,56×V
	Minimální	-	4,63×V
Součinitel změny nedostatku převýšení přechodnice	Standardní	-	5,56×V
	Minimální	-	3,70×V

Standardní délka směrového prvku (přímých a kruhových oblouků) pro rychlost do 300 km/h je  $V_{\max}/1,5$ , minimální pak  $V_{\max}/2,5$ .

## 2.3 SKLONOVÉ POMĚRY

### 2.3.1 RAKOUSKO

Návrh sklonových poměrů v /AT/ řeší předpis [10], stejně jako směrové řešení tratí. Používané sklony odpovídají řešení pro smíšenou dopravu.

Tabulka: /AT/: Podélné sklony kolejí

Typ trati	Případ	Podélný sklon		Poznámka
		Doporučená hodnota	Maximální hodnota	
VRT	Všechny	-	Stanoví TSI	V praxi se nepoužívá
HL	Traťová kolej	8 ‰	Stanoví provozovatel	V koleji s pevnými body max. 8 ‰
	Tunel	Snížený	Stanoví provozovatel	
	Stanice	1,5 ‰	2,5 ‰	V geograficky obtížných místech bez omezení
	Zastávka	1,5 ‰	8 ‰	V geograficky obtížných místech bez omezení
	Odstavná kolej	-	2,5 ‰	Pro interoperabilní vlaky

Lomy sklonu se nemají umísťovat do vzestupnic, výhybek, křižovatek ani dilatačních zařízení. Zaoblení lomů sklonu se provádí ve tvaru paraboly druhého stupně, standardně má být dodržena hodnota svislého zrychlení  $0,19 \text{ m/s}^2$ , minimálně pak  $0,31 \text{ m/s}^2$ . Standardní poloměr zaoblení tak má být  $R_v = 0,406 \times V^2$  (25 400 m pro 250 km/h), minimální  $R_v = 0,203 \times V^2$  (12 700 m pro 250 km/h), přičemž je nutno dodržet minimální hodnotu  $R_v = 10\,000 \text{ m}$  pro zaoblení vypuklých lomů sklonu ve výhybkách nebo vzestupnicích. Ostatní pevné limity nejsou pro rychlost nad 200 km/h relevantní. Lomů sklonu má být navrženo co nejméně, minimální délka sklonu však není předepsána.



## 2.3.2 NĚMECKO

Návrh sklonového řešení se řídí předpisem [29].

Tabulka: /DE/: Podélné sklony kolejí

Případ	Podélný sklon	Poznámka
Traťová kolej Hlavní trať, smíšená doprava	12,5 ‰	
Traťová kolej Hlavní trať, osobní doprava	35 ‰	U starších VRT až 40 ‰
Traťová kolej Vedlejší trať, smíšená doprava	40 ‰	
Staniční kolej pro zastavující vlaky a odstavování vozidel	2,5 ‰	
Tunel do 1 000 m délky	min. 2 ‰	Pro zajištění odvodnění
Tunel nad 1 000 m délky	min. 4 ‰	Pro usnadnění výjezdu vlaků z tunelu při poruše nebo přerušení dodávek energie
Traťová kolej	min. 1 ‰	Doporučený sklon kvůli odvodnění

Omezení sklonu v tunelech kvůli většímu odporu vzduchu se nenavrhuje. Minimální délka výškových prvků není obecně stanovena. Při rychlosti nad 160 km/h musí být délka konstantního sklonu mezi zaobleními s opačným smyslem alespoň  $0,25 \times V$  při doporučených poloměrech zaoblení a  $0,55 \times V$  při mezních poloměrech zaoblení.

Vlastní zaoblení se provádí parabolou druhého stupně a musí mít minimální délku 20 m. Nenavrhuje se u lomů sklonu s rozdílem do 1 ‰ (pro PJD jsou definovány maximální náhlé lomy sklonu s ohledem na konstrukci, řešení schvaluje správce). Maximální poloměr zaoblení lomů sklonu je omezen na 25 000 m (dříve 30 000 m). Vertikální zrychlení pro rychlost 300 km/h se pohybuje od  $0,25 \text{ m/s}^2$  u doporučeného poloměru zaoblení po  $0,48 \text{ m/s}^2$  pro vypuklý a  $0,59 \text{ m/s}^2$  pro vydutý oblouk při minimálních poloměrech. Výhybky při rychlostech nad 80 km/h v přímém směru nemohou být umístěny v zaoblení lomu sklonu. Zaoblení nesmí zasahovat do vzestupnic, ve výjimečných případech je to možné při dodržení alespoň standardního poloměru zaoblení.

Tabulka: /DE/: Poloměry výškových oblouků

Rychlost	Standardní	Mezní		Minimální	
		vypuklý	vydutý	vypuklý	vydutý
km/h	m	m	m	m	m
230	$0,4 \times V^2$	$0,25 \times V^2$		$0,16 \times V^2$	$0,13 \times V^2$
300	22 500	16 000	14 000		

### 2.3.3 FRANCIE

Návrh sklonového řešení je specifikován předpisy [7] a [8]. Maximální sklony definuje následující tabulka.

Tabulka: /FR/: Podélné sklony kolejí na LGV a LGV Mixte

Případ	Sklon koleje	Poznámka
Traťová kolej	35 ‰	Maximální délka sklonu 6 km
Plovoucí sklon na 10 km	25 ‰	
Plovoucí sklon na 5,2 km	30–35 ‰	Snížení rychlosti v klesání na 230 km/h*
	22–30 ‰	Snížení rychlosti v klesání na 270 km/h*
	16–22 ‰	Snížení rychlosti v klesání na 300 km/h*
	0–16 ‰	Bez omezení rychlosti
Minimální sklon v zářezu	3 ‰	Doporučená hodnota
Místo bez napájení TV	6 ‰	Do vzdálenosti 600 m na každou stranu
Standardní sklon ve stanici	1 ‰	Hlavní koleje i koleje u nástupišť
Maximální sklon ve stanici	5 ‰	
	1 ‰	Koleje pro údržbu
Plovoucí sklon LGV Mixte na 350 m	10 ‰	Doporučená hodnota

\* Doporučené hodnoty snížení rychlosti ve strmých klesáních s ohledem na přípustné tepelné zatížení brzd vozidel a prodloužení následných mezidobí

Minimální délka výškového prvku (konstantního sklonu nebo kruhového zaoblení) je  $V/2,5$ , doporučuje se na plovoucí délku 1 000 m umístit maximálně 4 výškové prvky. Kruhová výšková zaoblení nemají zasahovat do přechodnic, minimální odstup od nich je 30 m. Pokud to situace vyžaduje, je možné umístit přechodnici nebo její část do výškového zaoblení. Okraj výškového zaoblení v přechodnici musí být minimálně 60 m od jejího okraje. Lomy se nezaoblují při rozdílu sklonů do 2 ‰ pro rychlost do 230 km/h, resp. 1 ‰ pro vyšší rychlost. Maximální poloměr výškového zaoblení je z údržbových důvodů omezen na 40 000 m. Minimální hodnoty ukazuje následující tabulka. Vertikální zrychlení nabývá hodnot do cca  $0,38 \text{ m/s}^2$  u doporučených poloměrů,  $0,53 \text{ m/s}^2$  u minimálních vypuklých a  $0,58 \text{ m/s}^2$  u minimálních vydatých oblouků.

Tabulka: /FR/: Poloměry výškových oblouků na LGV

Rychlost	Standardní	Mezní	Minimální	
			vypuklý	vydutý
km/h	m	m	m	m
230	16 000	10 000	8 000	7 500
270	19 000	12 500	11 000	10 000
300	25 000	15 500	13 000	12 000
320		18 000	15 000	14 000
350		21 000	18 000	16 500

#### 2.3.4 ŠPANĚLSKO

Níže uvedené informace vycházejí z aktuálního návrhu vyhlášky [33]. Při návrhu koleje v tunelu se neomezuje nejvyšší sklon kvůli odporu vzduchu.

Tabulka: /ES/: Podélné sklony kolejí na novostavbách LAV

Případ	Sklon koleje	Poznámka
Traťová kolej pro smíšenou dopravu	12,5 ‰	
	15 ‰	Při komplikovaném terénu
	18 ‰	Výjimečně; dopravní kód F1; schválení ministerstvem
	20 ‰	Výjimečně; dopravní kód F2 a F3; schválení minister.
Traťová kolej pro osobní dopravu	30 ‰	Maximální délka sklonu 3 km
	25 ‰	Průměrný sklon na plovoucí délce 10 km
Kolej v tunelu	min. 5 ‰	Standardní sklon
	min. 2 ‰	Minimální sklon
Staniční kolej	2 ‰	Kolej u nástupiště
	2,5 ‰	Odstavná kolej
	5 ‰	Ostatní vedlejší koleje

Požadované délky výškových prvků (konstantních sklonů i zaoblení) jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka: /ES/: Minimální délka výškových prvků

Traťová rychlost	km/h	100	200	350
Standardní	m	0,33×V	0,50×V	0,67×V
Minimální	m	0,25×V	0,33×V	0,50×V

Pro zaoblení lomů sklonu se používá parabola druhého stupně. Minimální délka zaoblení je 20 m. Vertikální zrychlení je doporučené  $0,22 \text{ m/s}^2$ , maximální hodnoty jsou  $0,31$  a  $0,44 \text{ m/s}^2$  podle rychlosti. Při lomech s rozdílem sklonu do 2 ‰ do 230 km/h, resp. do 1 ‰ nad 230 km/h není třeba navrhovat zakružovací oblouk. Výhybky mohou být umístěny v zaoblení lomů sklonu ( $R_v \geq 2000 \text{ m}$ ) jen ve výjimečných případech, které ovšem v praxi existují (zaoblení prochází přes celá zhlaví).

Tabulka: /ES/: Poloměry výškových oblouků

Traťová rychlost	km/h	250	350
Standardní	m		$0,35 \times V^2$
Minimální	m	$0,25 \times V^2$	$0,175 \times V^2$

### 2.3.5 ITÁLIE

Požadavky na sklonové řešení kolejí uvádí předpis [12]. Minimální požadované sklony uvádí následující tabulka.

Tabulka: /IT/: Podélné sklony kolejí na AV/AC tratích

Případ	Sklon koleje	Poznámka
Traťová kolej pro smíšenou dopravu	12 ‰	Výjimečně více, v praxi až 12,5; 15; 18 a v krátkých úsecích až 21 ‰
Traťová kolej pro osobní dopravu	35 ‰	
Sklon kolejí ve stanici	1,2 ‰	Výjimečně více

Minimální délka přímkového sklonu je  $V/1,8$ . Kruhové výškové zaoblení má standardní poloměr  $0,35 \times V_{\max}^2$  (31 500 m pro 300 km/h;  $a_v = 0,22 \text{ m/s}^2$ ), minimální pak  $0,175 \times V_{\max}^2$  s navýšením o 10 % pro konvexní a 30 % pro konkávní oblouky (17 350 m,  $a_v = 0,40 \text{ m/s}^2$ ; resp. 20 500 m,  $a_v = 0,34 \text{ m/s}^2$  pro 300 km/h).

## 2.4 PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ

### 2.4.1 PRŮJEZDNÉ PRŮŘEZY A VOLNÉ PROSTORY

Ve sledovaných zemích jsou pro VRT stanoveny národní průjezdné průřezy (průjezdné průřezy tratí), které dříve vycházely z národních zvyklostí, ale postupně byly nahrazeny novými, vycházejícími ve všech případech ze vztažného kinematického obrysu GC, definovaného v [25], což je i požadavkem [1]. V této kapitole jsou uváděny pouze informace týkající se základních průjezdných průřezů (ve smyslu ČSN 73 6320; ve smyslu normy [25] se jedná o jednotný průjezdný průřez) vztahující se k hlavním kolejím, i když v jednotlivých zemích jsou vždy součástí předpisů i možné úlevy, použitelné ve stísněných místech nebo na stávajících tratích. Stanovení základních průjezdných průřezů nemá jednotnou metodiku

a probíhá na národní úrovni dle národních předpisů. Určitou snahou o zjednodušení je základní (jednotný) průjezdný průřez GUC vytvořený rovněž na základě vztažného obrysu GC, který však zatím není zakotven v národních předpisech sledovaných zemí. Spodní část průjezdného průřezu v blízkosti kol je definována kinematickým obrysem GI2 [25]. Základní průjezdné průřezy se používají u novostaveb VRT při splnění minimálních návrhových parametrů, které jsou v naprosté většině úseků dodrženy (jsou uvedeny v následující tabulce). Minimální poloměr zakružovacích oblouků lomů nivelety je pro základní průjezdné průřezy 2 000–2 500 m.

Tabulka: Průjezdné průřezy na VRT

Země	Základní průjezdný průřez	Minimální parametry GPK			Rozměry průjezdného průřezu			Poznámka
		R <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	Šířka od osy	Přirážky	Výška od TK	
		m	mm	mm	m	m	m	
/AT/	LPR1	250	160	150	2,00	0,20 0,50	4,90	
/DE/	GC	250	-	-	2,20	0,30	4,90	
/FR/	TGV+Fret	250	160	150	2,00		4,85	Osobní doprava
	AF				2,12		5,44	Smíšená doprava AF
/ES/	GC	250	160	150	2,14		5,03	
	GC14				2,35		5,50	Starší; výška drátu 5,3 m
/IT/	PMO5	250	160	153	1,96		4,85	
-	GUC	250	150	150	1,94		4,90	Dle [25]
<i>Průřez používaný na konvenčních tratích v ČR</i>								
/CZ/	Z-GC	250	160	*130	2,00	0,20 0,50	4,85	* Pro l>130 mm individuálně.

V /AT/ je vyhláškou [27] definována šířka (0,6 m; v některých situacích 0,5 m) a výška (2,0 m nad pochozí plochou) drážní stezky, která je umístěna vně hlavních kolejí. Do stezky nesmí zasahovat stožáry ani žádná zařízení. V předpisu [28] je stanovena minimální vzdálenost stezky od koleje, která pro rychlost nad 160 a do 250 km/h nabývá hodnoty 3,0 m (2,0 m pro 80 km/h; 2,1 m pro 100 km/h; 2,2 m pro 120 km/h; 2,3 m pro 140 km/h; 2,5 m pro 160 km/h). Při rychlosti nad 160 km/h se ve stanicích (mezi hlavní a předjízdou kolejí) mezi hlavní kolej a stezku umístí 1 m vysoké zábradlí, které je každé 3 m přerušeno na délku 1 m.

Při umístění kolejí mezi zárubními zdmi (nebo obdobnými konstrukcemi) je třeba vedle každé koleje situovat přístupový a evakuační chodník šířky 1,20 m a výšky 2,20 m ve vzdálenosti minimálně 1,65 m od osy koleje. Líc zdi pak může být ve vzdálenosti 3,00 m od osy koleje při zřízení záchranných výklenků šířky 1,10 m, resp. 3,60 m od osy koleje bez výklenků (zahrnuje též drážní stezku mimo nebezpečnou zónu). Na straně koleje bez stezek

je minimální vzdálenost líce zdi 2,60 m a zvětšuje se dle převýšení na 2,70 m. Tato ustanovení platí do rychlosti 200 km/h.

V **/DE/** je šířka drážní stezky 0,80 m [31] a musí být v minimální vzdálenosti 3,0 m od osy hlavní koleje poježděné rychlostí přes 160 km/h (2,5 m při rychlosti do 160 km/h). Pohyb pracovníků po stezce na VRT předpisy povolují při omezení rychlosti na 160 km/h v přilehlé koleji, resp. bez omezení ve vzdálenější koleji. Mezi hlavní a předjízdnu kolejí se předpokládá pohyb vlaku vždy jen v jedné koleji a teoretická poloha stezky je pak buď mezi základním průjezdným průřezem hlavní koleje a současně 2,5 m od předjízdny koleje, nebo mezi jmenovitým průřezem předjízdny koleje a současně alespoň 3,0 m od hlavní koleje (výsledná šířka stezky je 1,2 m). Jsou-li mezi hlavní a předjízdnu kolejí stožáry TV, umístí se základní šířka stezky tak, aby vyhovovala pro obě koleje. Stožáry pak do stezky mohou částečně zasahovat, což je přípustné i v širé trati. Pro polohu krátkých pevných překážek, jako jsou stožáry TV, pilíře mostů, návěstidla nebo výstroj trati, je definována minimální vzdálenost od osy koleje pro rychlost nad 160 km/h 3,65 m. Na vnější straně oblouku s převýšením se tato vzdálenost zvyšuje o 0,10 m ( $25 \text{ mm} \leq D < 50 \text{ mm}$ ), 0,25 m ( $D \leq 100 \text{ mm}$ ) nebo 0,40 m ( $D > 100 \text{ mm}$ ). Při souběhu se zárubní zdí může u PJD klesnout tato vzdálenost až na 3,00 m bez ohledu na převýšení. Na mostech pak může být líc stožáru TV umístěn bezprostředně k průjezdnému průřezu, tj. 2,50–2,85 m od osy koleje podle převýšení.

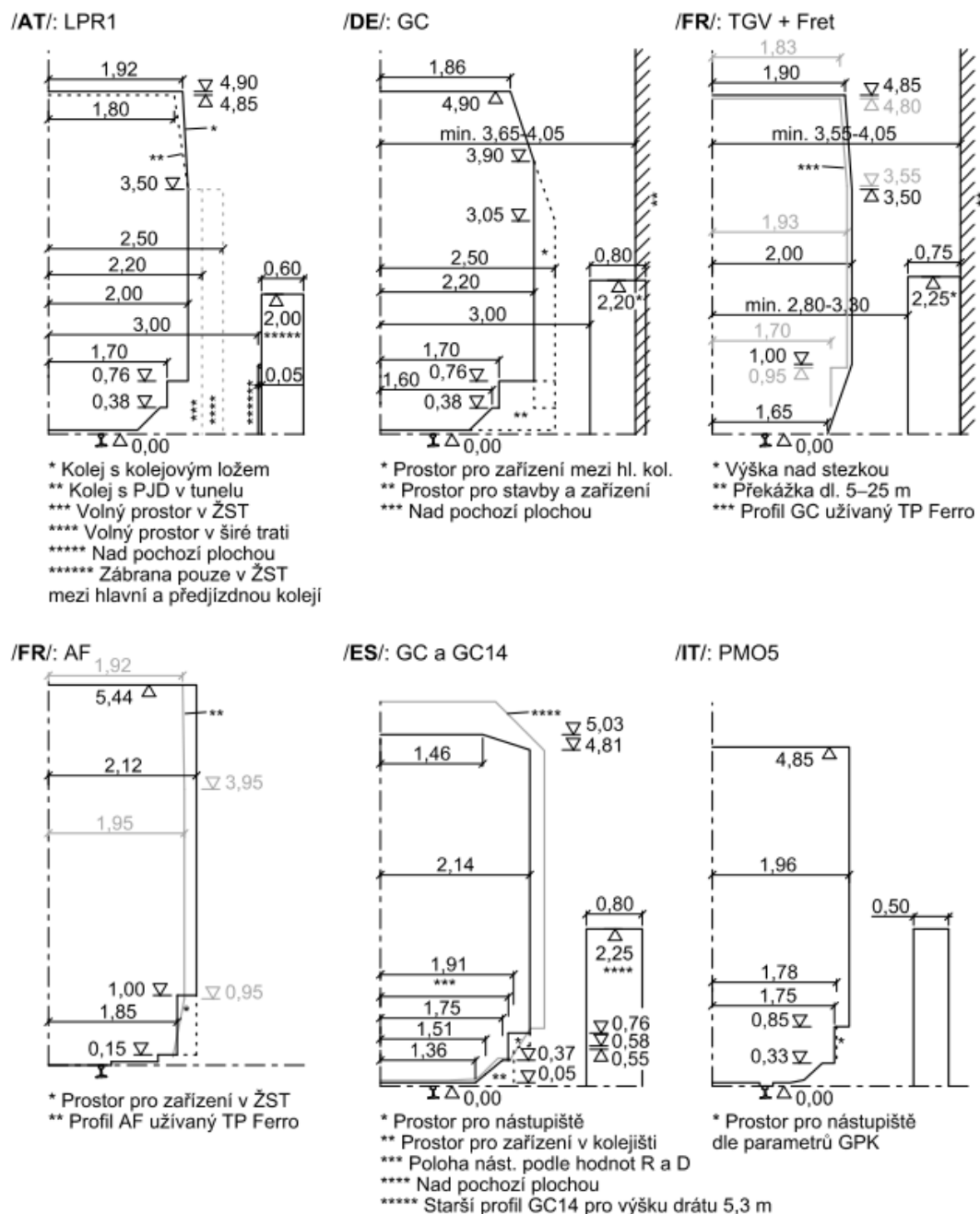
První dvě generace jednotek ICE byly konstruovány se širší skříní a pro jejich provoz je nezbytné zajištění průjezdného průřezu dle vztažného kinematického obrysu DE1 [25] s maximální šířkou 1 709,2 mm (oproti hodnotě 1 645 mm u obrysu GC). Tento obrys se použije pouze při poloměrech pod 500 m. Profil je používán v **/DE/**, **/AT/** a ve Švýcarsku. Výše uvedené nemá praktický dopad na novostavbách VRT, kde jsou dodržovány základní průjezdné průřezy, ale pouze při sjezdu na konvenční síť mimo uvedené země.

Ve **/FR/** jsou definovány průřezy pro kombinaci rychlé osobní a standardní nákladní dopravy a pro kombinovanou dopravu silničních návěsů (Autoroute Ferroviaire; AF). S ohledem na proudění vzduchu jsou definovány minimální odstupy překážek v závislosti na jejich délce a rychlosti vlaku [7]. Překážky délky 5–25 m musí být ve vzdálenosti od osy koleje minimálně 3,55 m (230–300 km/h), 3,85 m (320 km/h) a 4,05 m (350 km/h). Překážky kratší mohou být umístěny dle průjezdného průřezu a pro překážky delší se požaduje posouzení s ohledem na aerodynamiku podobně jako v tunelu. U každé traťové koleje musí být stezka šířky 0,75 m bez jakýchkoliv překážek. Stezka musí být umístěna vně tzv. nebezpečné zóny, vymezené vzdáleností od osy koleje 2,80 m pro rychlost 230–300 km/h, 3,10 m pro rychlost 320 km/h a 3,30 m pro rychlost 350 km/h (při běžném uspořádání je stezka 3,80 m od osy koleje). Pohyb pracovníků po standardně umístěné stezce je možný do traťové rychlosti (provozní a bezpečnostní předpisy existují do rychlosti 320 km/h [26]), při pohybu v prostoru blíže ke koleji až po hranici nebezpečného pásma (např. údržbě prvků zabezpečovacího zařízení) je nezbytné pracovníkovi zajistit informaci o blížících se vlacích nebo prostor vymezit pevnou zábranou. Při rozsáhlejších pracích na půdorysu pláň tělesa se rychlost omezuje na 300 km/h. V tunelech je při pohybu zaměstnanců podél koleje nezbytné omezit rychlost na 170 km/h a pokud není stezka umístěna alespoň 3,50 m od osy koleje, je nezbytné tunel vybavit výklenky. Ve stanicích je umožněn pohyb obsluhy stojícího

vlaku mezi ním a hlavní kolejí jen při omezení rychlosti v hlavní koleji na 170 km/h (není zřízeno zapuštěné kolejové lože a poloha teoretické stezky je blízko hlavní koleje). Pro případ souběhu koleje s pevnými překážkami (zdi, tunely) je definována minimální vzdálenost stěny od osy koleje, při níž je v závislosti na rychlosti nutno osadit pro bezpečnost pracovníků madla. Vzdálenost stoupá nejen s rychlostí, ale i s výškou stěny.

V **/IT/** se používá základní průjezdný průřez PMO5 odvozený z obrysu GC. Drážní stezka musí mít v úrovni terénu minimální šířku 0,50 m. Pohyb na stezce je možný do rychlosti provozu 250 km/h, pohyb pěších v tunelu je za provozu vyloučený.

V **/ES/** je používán základní průřez odvozený ze vztažného kinematického obrysu GC se standardní šířkou 1,645 m [32]. Donedávna byl pro realizaci VRT vyžadován starší obrys GC14, vycházející ze vztažného obrysu GE14 se šířkou 1,920 m. Průřez GC14 byl závislý na výšce trolejového drátu. Stezka pro údržbu a evakuaci může být používána za běžného provozu pouze do rychlosti 160 km/h při minimální vzdálenosti od osy 3,00 m.



Obrázek 1: Průjezdny průřezy a volné prostory na VRT

## 2.4.2 OSOVÉ VZDÁLENOSTI KOLEJÍ

Osové vzdálenosti kolejí v jednotlivých zemích vycházejí ze skladby provozu (přítomnosti nákladní dopravy), maximální rychlosti a národních zvyklostí. Oproti konvenčním tratím pro nízké rychlosti není v mezilehlých dopravních uvažován pohyb zaměstnanců mezi hlavními kolejemi ani zvětšována jejich osová vzdálenost.



Tabulka: Osově vzdálenosti hlavních kolejí na VRT

Země	Maxi- mální rychlost	Osová vzdálenost mezi			Poznámka
		hlavními kolejemi		hlavní a předjízd- nou kolejí	
		osobní doprava	smíšená doprava		
	km/h	m	m	m	
/AT/	250	-	4,70	*5,90	* Nutné zábradlí mezi kolejemi
/DE/	200	***4,00		**6,80 5,50	* U prvních VRT 4,70 m ** Se stožáry TV *** Pouze při rekonstrukcích
	300	4,50	*4,50		
/FR/	220	4,00	*4,20	***7,50 6,50	* Pro tratě s kombin. dopravou ** Zpočátku používáno 4,20 m, dnes výjimečná hodnota *** Se stožáry TV
	250		4,80		
	300	**4,50			
	350	4,50			
/ES/	200	-	4,00	***6,35	* Výjimečně 4,00 m ** Výjimečně 4,30 m do 300 km/h (používáno dříve) a 4,50 m do 350 km/h *** Bez stožárů TV
	250	-	*4,30		
	350	-	**4,70		
/IT/	250	-	4,20	**7,50	* Předpis stanovuje min. 4,50 m ** Se stožáry TV
	300	-	*5,00		
Osové vzdálenosti používané v ČR na konvenčních tratích					
/CZ/	200	-	4,00	4,75	

Důležitým parametrem pro stanovení osových vzdáleností je požadavek na pravidelné míjení vlaků osobní a nákladní dopravy. Aktuální situaci v jednotlivých zemích popisuje následující tabulka, ve které ale nejsou zahrnuty případné další požadavky na způsob upevnění nákladu na nákladních vozech, konstrukci vozů a různá další opatření, v některých zemích definovaná či chystaná.

Ze všech sledovaných zemí je pouze v /AT/ celá síť budovaných HL tratí pravidelně a celodenně pojížděna běžnými nákladními vlaky, i když zatím je rychlost vlaků osobní dopravy omezena na 200–230 km/h. Při přípravě nových staveb se ale prověřují dopady míjení vlaků až do návrhové rychlosti 250 km/h. V /DE/ byla původně trať Hannover – Würzburg navržena pro celodenní smíšený provoz při osově vzdálenosti 4,70 m a provozu ve dvoukolejných tunelech (ve stádiu příprav bylo zvažováno i zvětšení osově vzdálenosti na 5,00 m a ve dvoukolejných tunelech až na 6,00 m). V současnosti je ale na této trati nákladní doprava provozována převážně v noci a při nepravidelném míjení osobních a nákladních vlaků v tunelech je omezena rychlost na 160 km/h. Podobně bude provoz omezen i na dokončované trati Ebensfeld – Erfurt rovněž s dvoukolejnými tunely. V posledních letech budované tratě pro smíšenou dopravu již mají pouze jednokolejné tunely (například Erturt – Lipsko) a potkávání vlaků není nijak omezeno až do traťové rychlosti 250 nebo 300 km/h. Podobně ve /FR/, kde je realizace tratí pro smíšenou dopravu

v počátcích, se navrhují pouze jednokolejné tunely. V /ES/ je smíšená doprava zatím provozována pouze na trati Barcelona – Figueres – Perpignan s rychlostí omezenou aktuálně na 250 km/h (návrhová rychlost je 290 km/h). V přeshraničním úseku provozovaném TP Ferro je povoleno míjení vlaků při rychlostech 300 km/h (osobní) a 100 km/h (nákladní) [36], a to včetně úseků s kratšími dvoukolejnými tunely do cca 2 km délky. Dočasná omezení rychlostí mohou být zavedena z důvodu silného bočního větru.

Tabulka: Potkávání osobních a nákladních vlaků na VRT

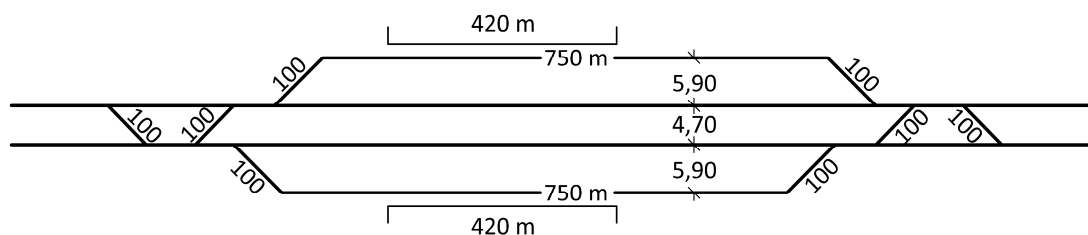
Země	Maximální rychlost	Osová vzdálenost kolejí	Potkávání osobních a nákladních vlaků		Poznámka
			na širé trati	ve dvoukolejném tunelu	
	km/h	m			
/AT/	250	4,70	ANO	ANO	
/DE/	200	4,00	ANO	*NE	* Maximální rychlost 160 km/h
	300	4,50			
/FR/	220	4,20	**ANO	*NE	* Předpokládají se pouze jednokolejné tunely ** Zatím navrhováno pouze do 300 km/h
	**350	**4,80			
/ES/	200	4,00	ANO		Omezení na rozchodu 1 667 mm
	*250	4,70	ANO	ANO	* Více dosud nezavedeno
	350		*NE	*NE	* Není přesně stanoveno
	300	4,80	ANO	ANO	Provozovatelem TP Ferro
/IT/	300	5,00	ANO	*ANO	* Nákladní doprava není dosud provozována

#### 2.4.3 USPOŘÁDÁNÍ TRATÍ A DOPRAVEN

##### RAKOUSKO

Tratě Hochleistungsstrecke jsou v /AT/ budovány jako samostatné nové tratě (například Koralmbahn) nebo jako nové tratě rozšiřující stávající dvoukolejné tratě.

V prvním případě jsou na nové dvoukolejné trati budovány klasické železniční stanice s předjízdny kolejiemi s nástupišti pro osobní i nákladní vlaky (užitečná délka kolejí 750 m) a kolejovými spojkami mezi hlavními kolejiemi na zhlavích. Odvratné výhybky nejsou zřizovány. Rychlost ve spojkách i odbočných kolejích je převážně 100 km/h, ve vybraných spojkách 130 km/h. Tyto stanice jsou doplněny krátkými dopravnami pro osobní vlaky s nástupišti u předjízdny kolejí, které jsou jen omezeně vybaveny spojkami v hlavních kolejích. Rychlost v předjízdny kolejích je rovněž 100 km/h.



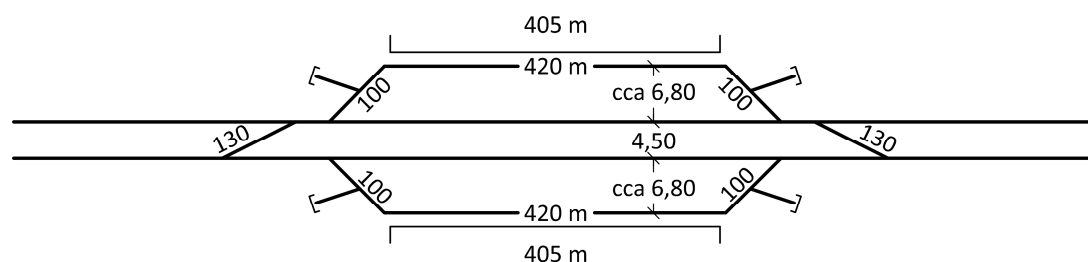
Obrázek 2: /AT/: Schéma typické mezilehlé stanice pro zastavení dálkových vlaků na dvoukolejně HL trati

Ve druhém uvedeném případě (zejména Westbahn) je výsledná čtyřkolejná trať rozdělena na dvoukolejnou trať pro dálkovou a regionální osobní dopravu (nástupiště na zastávkách jsou pak situována pouze na jedné trati). Nákladní doprava může být provozována na obou tratích, předjízdny koleje jsou ovšem umístěny primárně na „pomalé trati“. Některé stanice jsou umístěny pouze na jedné trati, ve větších uzlech prochází obě tratě stanicí souběžně. Nástupiště nejsou umístěna u kolejí s rychlostí nad 200 km/h.

### NĚMECKO

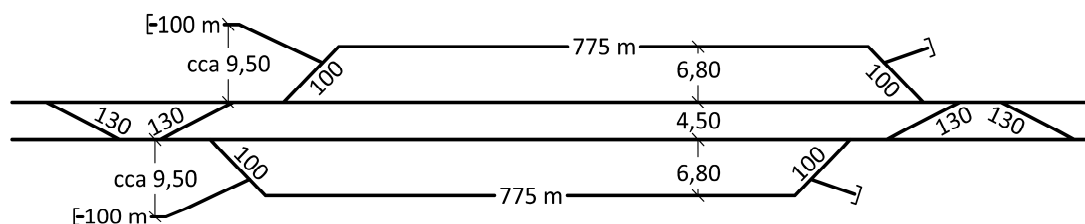
Vysokorychlostní tratě v /DE/ jsou budovány zásadně dvoukolejně. Mezilehlé stanice, výhybny, odbočky a spojky jsou situovány v přímé, v některých případech jsou střední části stanic a výhyben umístěny v oblouku.

Mezilehlé železniční stanice pro osobní dopravu jsou relativně výjimečné, ty novější na tratích pro osobní dopravu jsou budovány se dvěma předjízdny koleji užitné délky 420–430 m s nástupištěm délky 405 m, které na koncích zasahuje do směrového oblouku. Rychlost v předjízdny kolejích je 100 km/h. Koleje jsou vybaveny krátkými odvratnými koleji. Spojky jsou převážně po jedné na každém zhlaví pro rychlost 130 km/h. Starší stanice na tratích pro smíšenou dopravu mají mezi hlavní kolej a kolej u nástupiště situovanou předjízdny kolej pro nákladní dopravu s dostatečnou užitnou délkou. Spojky jsou pak standardně po dvou na každém zhlaví.



Obrázek 3: /DE/: Schéma typické stanice na VRT pro osobní dopravu

Výhybny pro řízení sledu vlaků jsou budovány na tratích pro smíšenou dopravu, obvykle mají po jedné předjízdny koleji v každém směru délky alespoň 775 m a dvě kolejové spojky na každém zhlaví. Předjízdny koleje jsou umístěny ne zcela vstřícně podle polohy spojek, což umožňuje zkrátit celou výhybnu. Rychlosti v kolejích a spojkách jsou shodné s železniční stanicí. Nouzová nástupiště nejsou zřizována.



Obrázek 4: /DE/: Schéma typické výhybny při řízení sledu vlaků na VRT pro smíšenou dopravu

Odvratné koleje ve stanicích i výhybnách jsou v některých případech navrženy jako manipulační, pak mívají užitečnou délku kolem 100 m a jsou ukončeny dynamickým zarážděm. Nejsou-li určeny pro dopravní účely, mají délku cca 4–30 m a jsou ukončeny kolejnicovým zarážděm (umožňujícím při nárazu smykový posun po koleji) nebo volným prostorem. U dřívějších staveb s využitím PJD byly odvrtné výhybky v přímé co nejbližší k hlavní koleji na PJD a přechodová oblast byla těsně před jejich výměnovým stykem. Na posledních stavbách je preferováno řešení s obloukovou odvrtnou výhybkou v kolejovém loži a přechodovou oblastí až těsně u hlavní koleje (v závislosti na poloze odjezdových návěstidel to nemusí vést k nárůstu délky stanice).

Údržbové zázemí přímo na VRT bylo realizováno v rámci stanic nebo výhyben na dřívějších stavbách s klasickou konstrukcí koleje, na novějších stavbách s PJD nejsou žádné údržbové základny budovány – pouze ve vybraných výhybnách nebo stanicích bývají umístěny kusé manipulační koleje v odvrtech nebo zapojené do předjízdnych kolejí.

Samostatné kolejové spojky jsou budovány pro rychlost 130 km/h, mezipřímá mezi výhybkami je v délce  $0,40 \times V_{\text{odbočka}}$ . Předpisy doporučují pro rychlost ve spojkách volit cca  $\frac{1}{2}$  traťové rychlosti. Na odbočkách jsou používány výhybky pro rychlost 160 km/h, výjimečně 200 km/h (konstruované až pro 220 km/h).

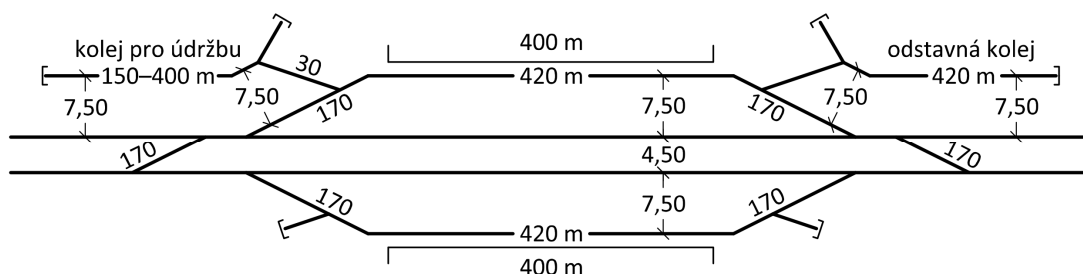
Na novějších tratích pro smíšenou dopravu jsou obvykle budovány výhybny ve vzdálenosti 16–30 km, při vzdálenosti blízké horní hranici a větší koncentraci údržbové náročných objektů jsou úseky děleny kolejovými spojkami na polovinu. U dříve zprovozněných tratí byly traťové úseky mezi výhybnami v délce kolem 20 km děleny spojkami na dvě i tři části. S ohledem na reálný provoz nákladní dopravy převážně v nočních hodinách probíhá v současnosti rušení některých kolejových spojek v širé trati. Na novějších tratích pro osobní dopravu zajišťují samostatné spojky maximální vzdálenost propojení hlavních kolejí 20–35 km, výhybny zde zřizovány nejsou.

## FRANCIE

VRT ve Francii jsou budovány jako dvoukolejné, i když předpisy pamatují pro případy menšího zatížení i na jednokolejné tratě. Jako jednokolejná pro rychlost 320 km/h byla dosud navržena pouze trať Poitiers – Limoges, projekt je ale toho času pozastaven. Železniční stanice, výhybny, kolejové spojky a odbočky jsou situovány v přímé. Výjimečně jsou realizovány stanice v oblouku (např. Avignon TGV), ovšem se zhlavím vždy v přímé. V takovém případě má být převýšení kolejí ve stanici do 60 mm, více jen v nezbytných

případech. Obloukové výhybky byly v hlavních kolejích použity pouze u nejstarších tratí (např. ve stanici Mâcon Loché TGV).

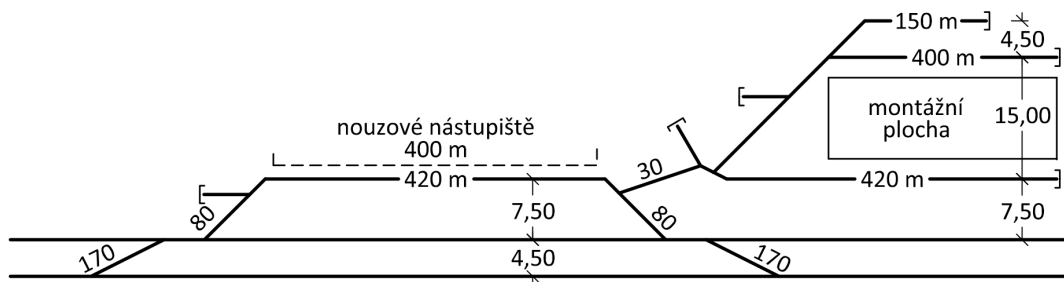
Mezilehlé stanice pro cestující jsou standardně koncipovány s hlavními kolejemi pro traťovou rychlost a předjízdny s nástupišti pro rychlost 170 km/h. Předjízdné koleje jsou vybaveny odvratnými výhybkami s odvratnou kolejí o délce 15 m bez zarážedla, pouze s volným prostorem za kolejí. Na tratích budovaných cca do roku 1990 byly odvratné výhybky používány pouze omezeně. Kolejové spojky jsou situovány obvykle po jedné na každém zhlaví, rovněž pro rychlost 170 km/h. Užitečná délka kolejí jen mírně přesahuje délku nástupišť 400 m (475 m pro TGV Atlantique). Mezi hlavní a předjízdnou kolejí v prostoru nástupišť byly na některých tratích vybudovány zdi, převážně však nejsou zřizovány žádné zábrany. Stanice bývají doplněny o odstavné koleje a koleje pro potřebu údržby, zapojené do předjízdných kolejí. Standardní vzdálenost mezi výhybkami pro rychlost 170 km/h řazenými k sobě výměnovými styky je 98,8 m a je ovlivněna řešením trakčního vedení. Oblouky v předjízdných kolejích mají poloměr 10 000 m a 50m přechodnice.



Obrázek 5: /FR/: Schéma typické mezilehlé stanice na LGV pro osobní dopravu

Ve výhybnách pro nákladní dopravu se navrhují předjízdné koleje pro rychlost 80 km/h a příslušnou délku vlaků 1 000 nebo 1 500 m s rezervou 30 m.

Samostatné kolejové spojky v širé trati jsou navrhovány pro zajištění dostatečné kapacity při výlukách a mimořádnostech, používají se také výhybky pro rychlost 170 km/h. Délka dvou spojek při osové vzdálenosti kolejí 4,50 m činí 675 m, mezipřímá mezi výhybkami má 98,8 m. V některých případech jsou spojky doplněny o odbočné koleje pro údržbu, případně o jednu předjízdnou kolej s rychlostí 80 km/h pro nouzové zastavení vlaku osobní dopravy a vystoupení cestujících. Standardní vzdálenost mezi dvěma výhybkami pro rychlost 80 a 170 km/h řazenými k sobě výměnovými styky je 130,4 m a je ovlivněna řešením trakčního vedení. Výsledná vzdálenost kolejových spojek nebo jiných rozvětvení mezi hlavními kolejemi je kolem 20–30 km.



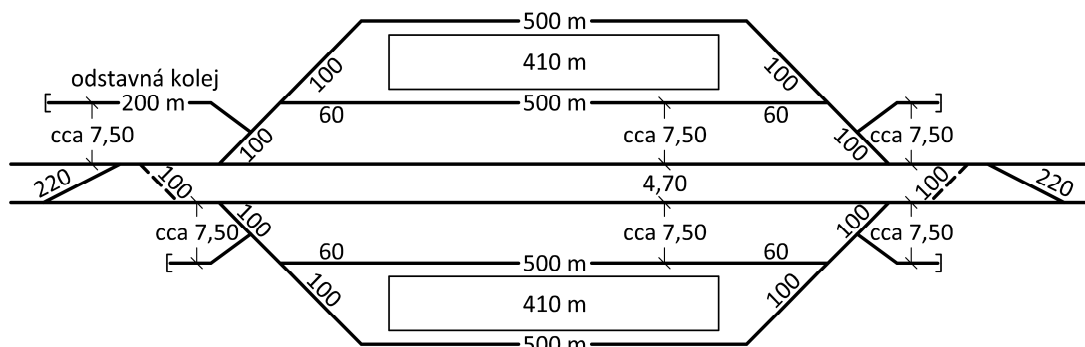
Obrázek 6: /FR/: Schéma typické výhybny s nouzovým nástupištěm a údržbovým zázemím

Odbočky na konvenční tratě nebo jiné VRT jsou navrhovány na rychlosti 80, 170 a 230 km/h a nejsou vybaveny odvratnými výhybkami. Pro minimalizaci dopadů na kapacitu VRT může rychlost odbočení převyšovat rychlost návazné konvenční trati. Pro odbočení na konvenční trať předpis [7] stanovuje minimální délky spojovacích kolejí v závislosti na průměrném podélném sklonu a rozdílu rychlostí v místě odbočky a na navazující trati. Například při odbočení z LGV rychlostí 230 km/h, rychlosti na konvenční trati 160 km/h a průměrném sklonu spojovací koleje 15–20 % musí být délka této koleje minimálně 3 920 m.

ŠPANĚLSKO

Vysokorychlostní tratě (LAV) jsou v **/ES/** budovány jako dvoukolejné nebo jako jednokolejné s výhledem na zdvoukolejnění po dobudování navazujících úseků. Kolejové rozvětvení je situováno v přímé.

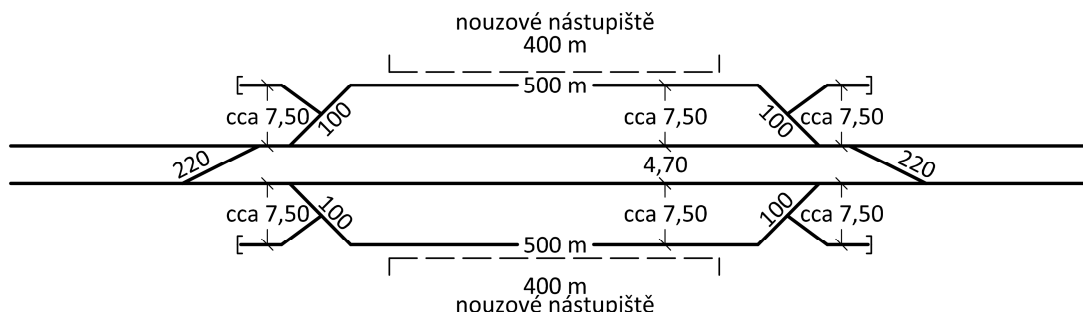
Mezilehlé stanice pro cestující jsou budovány převážně se dvěma ostrovními nástupišti, pouze u méně zatížených stanic se dvěma vnějšími nástupišti. Rychlost v předjízdě koleji je 100 km/h, v druhé předjízdě koleji obvykle 60 km/h. Užitečná délka kolejí je 500 m a délka nástupišť 400–410 m. Vně stanice jsou situovány vždy po jedné kolejové spojce pro rychlost 220 km/h (u tratí pro rychlost 350 km/h), v některých případech doplněné o „pomalé“ spojky pro 100 km/h. Odvratné koleje mají délku 50 m a v některých případech jsou prodlouženy jako odstavné nebo manipulační koleje (bez dalších odvrátů), končí pískovou kolejí délky 20–40 m.



Obrázek 7: /ES/: Schéma typické větší mezilehlé stanice pro osobní dopravu

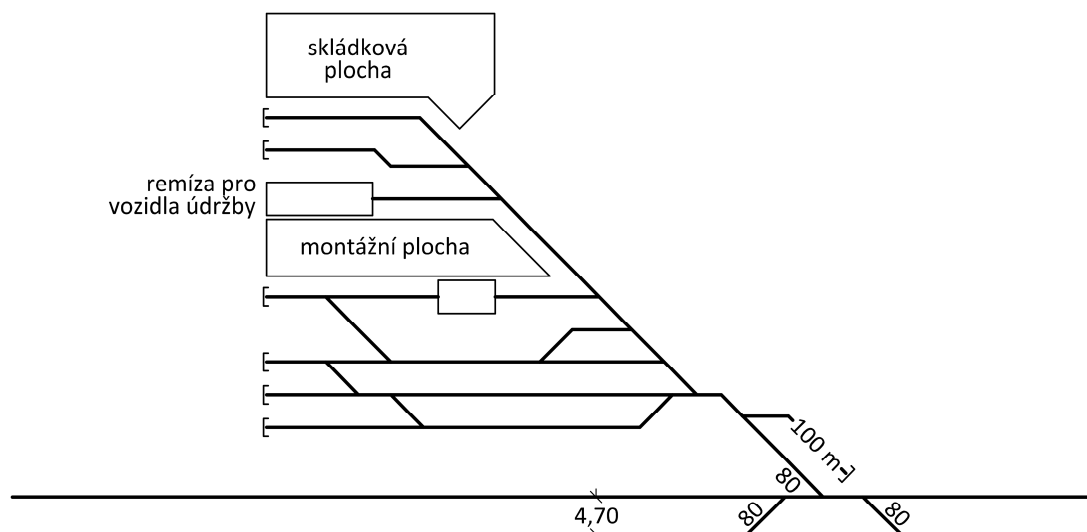
Mezilehlé výhybny na převažujících tratích pro osobní dopravu mají užitečnou délku předjízdňných kolejí 500 m a jsou vybaveny nouzovými nástupišti délky 400 m. Rychlost

v předjízdňích kolejích je 100 km/h a jsou vybaveny odvratnými kolejemi. Kolejové spojky pro rychlost 220 km/h jsou obvykle po jedné na každém zhlaví. Užitečná délka kolejí na tratích určených pro smíšenou dopravu se navrhuje v rozpětí 750 až 1 050 m pro dopravní kód F1.



Obrázek 8: /ES/: Schéma typické mezilehlé výhybny na trati pro osobní dopravu

Údržbové zázemí bývá připojeno ve stanici nebo výhybně, v některých případech je též situováno v širé trati dle příkladu na následujícím obrázku.



Obrázek 9: /ES/: Příklad údržbového zázemí situovaného na širé trati

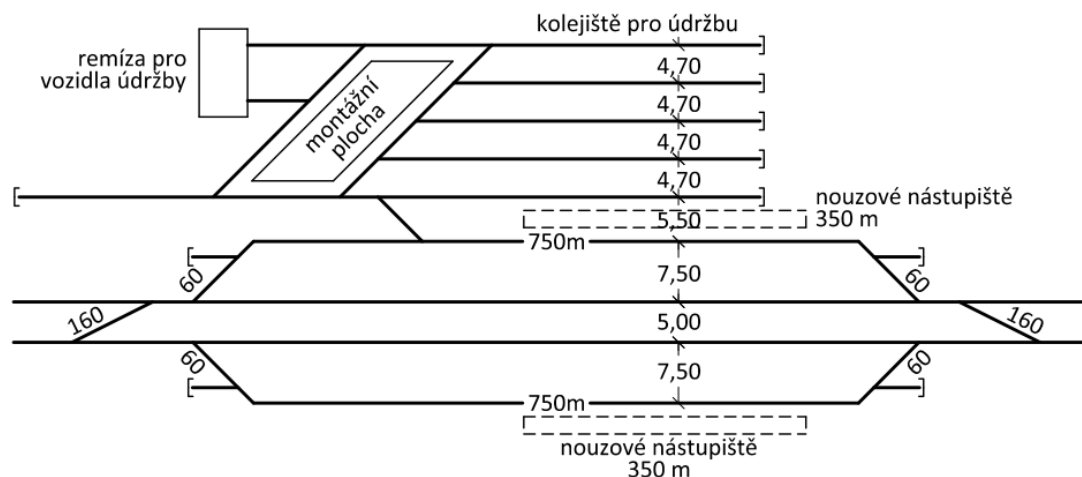
Mezilehlé výhybny (nejsou-li nahrazeny stanicí) bývají na dvoukolejných tratích umístěny po cca 33–65 km. Dvojice kolejových spojek pro rychlost 220 km/h dělí traťové úseky na cca 15–39 km. Mezi kolejovými spojkami bývá ponechána dlouhá mezilehlá přímá délky přes 400 m.

## ITÁLIE

VRT jsou budovány jako dvoukolejné, veškeré kolejové rozvětvení je situováno v přímé.

Mezilehlé výhybny jsou budovány obvykle s předjízdňími kolejemi pro řízení sledu vlaků a nouzový výstup cestujících a s kolejištěm pro údržbu (P. M.), případně jsou propojeny s konvenční sítí. Předjízdňí koleje pro rychlost 60 km/h mají užitnou délku 750 m a jsou

vybaveny odvratnými výhybkami s odvratnou kolejí délky 30–40 m zakončenou zarážedlem. Nouzové nástupiště je zřízeno u jedné nebo obou předjízdných kolejí. Kolejové spojky mezi hlavními kolejemi jsou převážně po jedné na každém zhlaví pro rychlost 160 km/h. Vzdálenost mezi výhybkou spojky a odbočné koleje je minimálně cca 95 m. Na hlavních tratích jsou výhybny situovány po cca 40–50 km.



Obrázek 10: /IT/: Schéma typické mezilehlé stanice s nouzovými nástupišti

Mezilehlé stanice pro osobní dopravu jsou budovány ojediněle, například Reggio Emilia AV Mediopadana. Užitečná délka předjízdných kolejí s rychlostí 60 km/h je 450 m a jsou vybaveny odvratnými výhybkami.

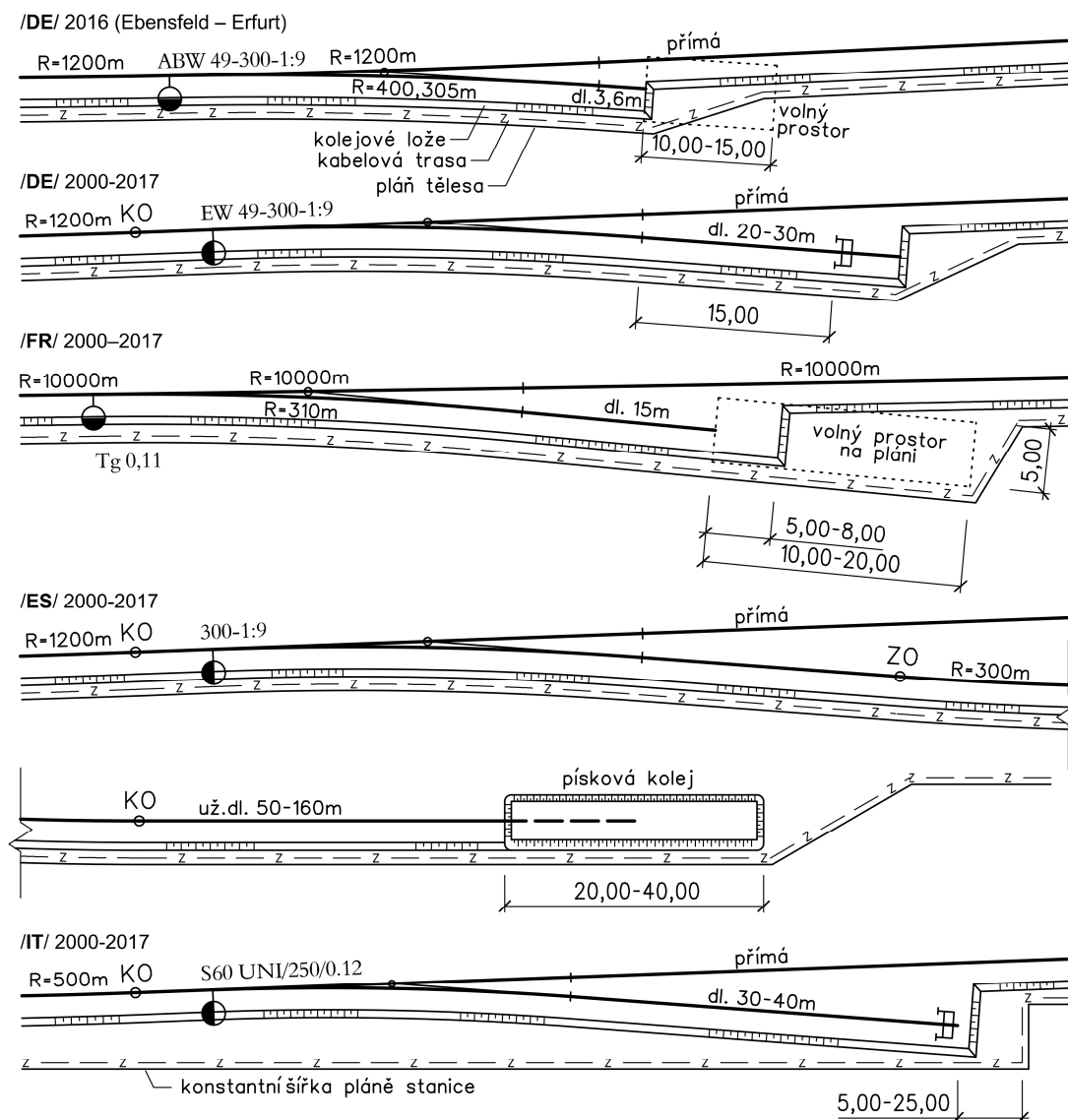
Kolejové spojky mez traťovými kolejemi (P. C.) doplňují stanice a jsou umístěny po cca 20–25 km, umožňují rychlost 160 km/h. Vzdálenost mezi vnitřními výhybkami je cca 70 m.

Odbočky na konvenční síť nejsou vybaveny odvratnými výhybkami.

#### USPOŘÁDÁNÍ ODVRATNÝCH KOLEJÍ

Základní informace k uspořádání odvratných kolejí ve sledovaných zemích včetně zákresů do schémat jsou uvedeny výše. Konkrétní řešení se v jednotlivých zemích liší nejen v průběhu času, ale i na různých tratích budovaných ve stejnou dobu. Níže uvedený obrázek zachycuje převažující uspořádání používané na posledních stavbách.





Obrázek 11: Porovnání uspořádání odvratných kolejí ve sledovaných zemích

## 2.5 SVISLÁ PŘECHODNOST

Omezení svislé přechodnosti na VRT ve sledovaných zemích je poplatné charakteru provozu a národním zvyklostem. V některých zemích jsou požadavky jednotné (/DE/), jinde jsou požadavky odlišné dle přítomnosti nákladní dopravy (/FR/) s dopadem například i do konstrukce pražcového podloží. Vysoké hmotnosti na nápravu (22,5 t) povolené až do rychlosti 300 km/h jsou pouze teoretickou záležitostí, vozidla těchto parametrů dosahující v praxi neexistují. Požadované aktuální nebo výhledové hodnoty povolené hmotnosti na nápravu se promítají například do dimenzování pražců. Traťová třída zatížení je u novostaveb ve všech sledovaných zemích D4 (22,5 t na nápravu; 8,0 t/m) a ve většině zemí je výhledově až E4 (25,0 t na nápravu; 8,0 t/m).

Tabulka: Svislá přechodnost ve sledovaných zemích

Země	Povolená hmotnost na nápravu do rychlosti (km/h)								
	100	120	140	160	220	230	250	300	350
	t								
/AT/	25,0*		22,5				18,0	-	
/DE/	25,0*		22,5						-
/FR/	25,0*	22,5		17,0					
/ES/	22,5				20,0	17,0			
/IT/	25,0*		22,5						-
Omezení používané v ČR na konvenčních tratích									
/CZ/	22,5				-				

\* Novostavby VRT jsou navrhovány pro nápravové zatížení 25,0 t, v současnosti je obvykle povoleno 22,5 t. Ve /FR/ neplatí pro tratě určené pouze osobní dopravě.

### 3 KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

#### 3.1 KOLEJNICE A BEZSTYKOVÁ KOLEJ

##### 3.1.1 TVAR A MATERIÁL KOLEJNIC

Pro potřeby vysokorychlostních tratí jsou ve sledovaných zemích používány kolejnice vycházející z tvaru UIC 60, v aktuálním značení tedy 60 E1 a 60 E2. Obě kolejnice se liší tvarem hlavy, který má společně s úklonem kolejnic podstatný vliv na chování systému kolo-kolejnice. Tvar kolejnice 60 E2 byly vyvinut v /DE/ v 90. letech pro zajištění optimálních chodových vlastností vozidel při rychlosti 300 km/h a úklonu kolejnic 1:40 a později se rozšířil i do dalších zemí včetně ČR.

Pro rychlosti nad 200 km/h je ve sledovaných zemích shodně vyžadována u kolejnic nelegovaná a tepelně nezpracovaná ocel standardní třídy R260 s tvrdostí v ose pojížděné plochy 260–300 HBW a tažností min. 880 MPa, jak je definována v [3]. Pro použití na VRT jsou vyžadovány kolejnice třídy profilu X a třídy přímosti A dle definice téže normy, které se vyrábí i v tuzemsku. Shodné požadavky pro rychlost nad 160 km/h jsou v současných předpisech v ČR [4]. Historicky byly na prvních evropských VRT (např. ve /FR/) používány kolejnice třídy UIC 700, které jsou již nahrazeny vyšší třídou R260 přibližně odpovídající dřívějšímu značení UIC 900 A.

Správci infrastruktury v Evropě čelí u silně zatížených tratí požadavkům na maximální dostupnost infrastruktury při minimalizaci výluk. Narůstající rychlost a hmotnost vlaků přitom vede k opačnému trendu. Úspěšně se proto rozšiřuje využití kolejnic vyšších tříd, které lépe odolávají bočnímu a svislému ojetí, vzniku dlouhých vln a podobně i tzv. head checking, tedy vzniku drobných šikmých trhlin na hlavě kolejnice blízko pojížděné hrany,

a tím výrazně oddalují nutné intervaly broušení kolejnic a zejména jejich výměny. U většiny železničních správ jsou používány kolejnice z nelegované tepelně zpracované oceli s perlitickou strukturou třídy R350HT pro silně zatížené koleje (cca 20–30 mil. hrtkm ročně a více) v souladu s doporučením UIC [5] do poloměru 300 m, v některých případech až 1 500 m /DE/ nebo dokonce 3 000 m /AT/. Další třídy ještě odolnějších perlitických (R400HT) nebo bainitických ocelí se používají v obloucích o velmi malých poloměrech, které se na VRT nepředpokládají. Provedené studie na základě zkušebních úseků a posouzení nákladů životního cyklu kolejnic včetně nutnosti broušení a výměny referují o vhodnosti použití kolejnic vyšších tříd do poloměrů 850 m bez ohledu na zatížení až 3 000 m nebo dokonce 5 000 m pro zatížení 20 a více mil. hrtkm ročně [6].

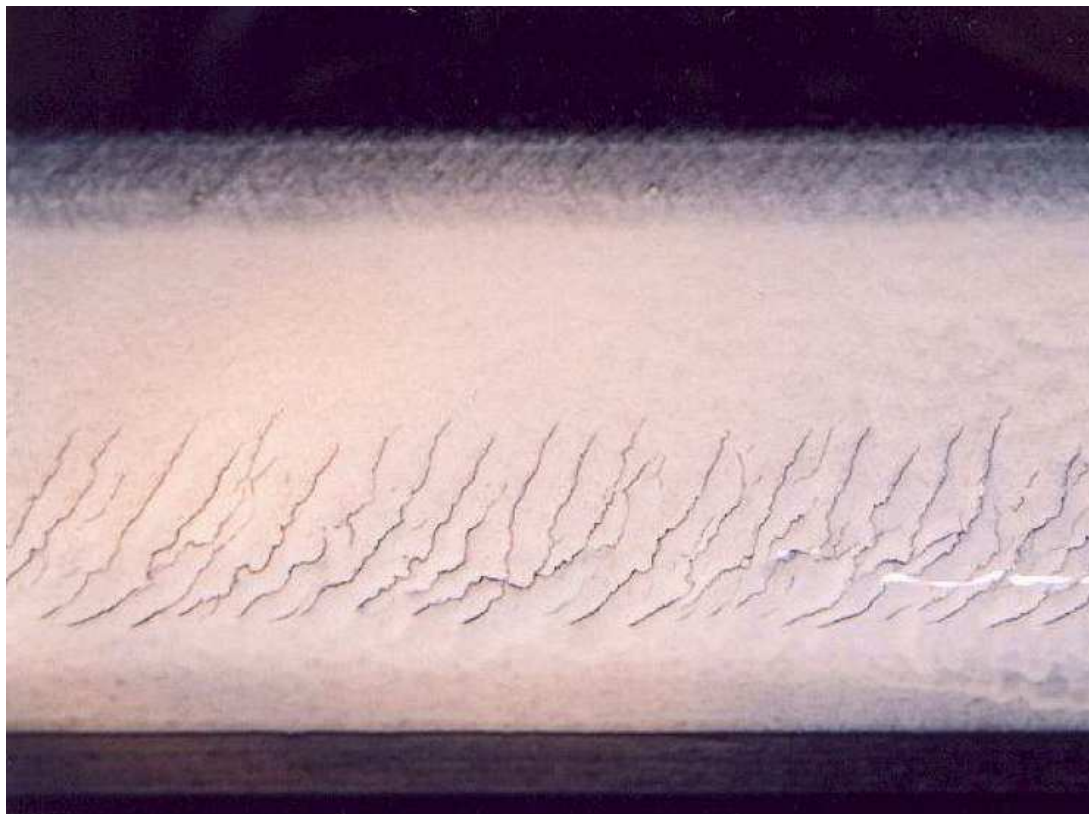
Tabulka: Tvar a úklon kolejnic na VRT

Země	Tvar kolejnic	Úklon kolejnic	Poznámka
/AT/	60 E1	1:40	
/DE/	60 E2	1:40	
/FR/	60 E1	1:20	
/ES/	60 E1	1:20	
/IT/	60 E1	1:20	
<i>Kolejnice používané v ČR na konvenčních tratích</i>			
/CZ/	60 E2	1:40	

Životnost kolejnic na VRT, resp. míra a charakter projevujících se vad, vedoucích ke zkrácení jejich životnosti, je závislá na mnoha faktorech: vliv má intenzita provozu, rychlost, nápravová hmotnost, ale i konstrukční uspořádání vozidel a jejich pohonu, směrové poměry (velikost nedostatků a přebytků převýšení), podélné sklony (s ohledem na přenos brzdných a tažných sil), uspořádání a pružnost železničního svršku a vlastnosti železničního spodku. V různých zemích se pro odlišné prvky z výše uvedeného výčtu projevují na VRT jiné vady kolejnic. Co je však společné, je ústup tradičních vad kolejnic z konvenčních tratí, souvisejících například s malými poloměry, závadami v GPK, nekvalitními svary apod. a do popředí se dostává vlnovitost kolejnic a zejména vady související s únavovým kontaktním namáháním. To je (pod anglickou zkratkou RCF) předmětem výzkumu po celém světě a tvoří velký problém pro kolejnice jak na konvenčních tratích s vysokým zatížením, tak na tratích vysokorychlostních. Obdobný problém se vyskytuje též kolech vozidel, což ale není předmětem tohoto textu. Na VRT ve sledovaných zemích se projevují zejména níže uvedené vady kolejnic.

**Šikmé trhliny pojížděné hrany** (head checks; gauge corner cracking) se projevují převážně na vnější kolejnici v obloucích nebo v přímé, kde převážně postihují části výhybek a dilatačních zařízení. Rozvojem vady může dojít až k vylamování materiálu kolejnice. Na VRT jsou zaznamenávány například v /DE/, /FR/, /IT/ a dalších zemích. Pravidelná měření na NBS Köln – Rhein/Main s extrémním trasováním a PJD zjistila rozvoj těchto vad po 14 měsících od zahájení provozu (po projetí cca 12 milionů tun) a jejich následný

exponenciální rozvoj. Po 2,5–3 letech (28 milionů tun) proběhlo první preventivní broušení a následovala další. Výměna kolejnic v některých lokalitách byla zahájena už po 9 letech (viz dále). Zdroje uvádí, že rozvoj této vady je významnější právě při kombinaci velkých nedostatků převýšení s přenosem tažných a brzdných sil v témže místě. Podle DB přestává být hlavním problémem opotřebení kolejnic kolem poloměru oblouků 3 000 m, kde jej střídá právě vada head checks, která se významně projevuje až do poloměru 5 000 m.



Obrázek 12: Šikmé trhliny pojížděné hrany kolejnice na VRT (zdroj: [57]).

**Šikmé trhliny pojížděné plochy (squats)** se rovněž projevují ve většině sledovaných zemí, jsou též nejčastější vadou kolejnic na japonských VRT. Projevují se bez ohledu na směrové vedení kolejí, zejména v místech přenosu velkých tažných a brzdných sil, a to jako drobné trhlinky na hlavě kolejnice, které přecházejí do mírné prohlubně, charakteristické tmavou skvrnou na kolejnici. Mohou vést až ke křehkému lomu kolejnice.

**Shluky trhlinek na pojížděné ploše (Belgrospis)** vedoucí po jejich spojení k odlupování malých plošek byly identifikovány na nových VRT v /DE/ ve vrcholcích vlnek ve vnějších kolejnicích oblouků o velkém poloměru nebo v přímé.

**Odlupování materiálu z pojížděné hrany (shelling)** způsobené podélnými trhlinami zejména na vnější kolejnici v obloucích. Vznik je výrazně ovlivněn materiálovými vadami kolejnic. Na VRT se projevuje nejvíce v Číně, kde jsou jako řešení vkládány kolejnice vyšší třídy oceli.

Hlavní strategií proti vzniku a rozvoji výše uvedených vad je ve všech sledovaných zemích preventivní broušení kolejnic (podrobněji viz sešit 7.3), případně broušení v raném stádiu rozvoje trhlin, než dojde k jejich rychlé a významné propagaci. Japonský správce uvádí, že zavedení broušení v 90. letech minulého století a jeho nastavení na odbroušení tloušťky 0,08 m vždy po projetí 40 milionů tun zásadně omezilo výskyt vad kolejnic. Dále jsou zkoušeny oceli vyšších tříd, které dle studií zpracovaných jejich producenty mají snížit výskyt head checks i některých dalších vad souvisejících s únavovým kontaktním namáháním na 30 až 15 % oproti kolejnicím standardní třídy oceli. Na konvenčních tratích se ale v některých případech projevil na tvrdších kolejnicích naopak rychlejší rozvoj trhlin nebo snížení rozsahu únavových vad za současného nárůstu opotřebení (například u některých bainitických ocelí) a dále použití těchto ocelí přináší potíže s technologií svařování. Celá tato problematika ve vztahu k VRT není uzavřená a žádá si další výzkum na poli materiálovém, styku kolo-kolejnice i na úrovni celého systému, stejně jako praktické testování.

Ve **/FR/** již došlo k výměně kolejnic jednak na trati Paříž – Lyon po 15–19 letech provozu (zde byly kolejnice třídy UIC 700 nahrazeny třídou R260), v současnosti probíhá výměna kolejnic na trati Paříž – Lille, která dle plánu bude dokončena po 22–28 letech od zahájení provozu. V **/DE/** byla v roce 2011 zahájena výměna kolejnic v některých úsecích trati Köln – Rhein/Main, tedy již po 9 letech provozu, zatímco při přípravě stavby byla očekávána životnost kolejnic v nejzatíženějších úsecích 12–15 let. Práce pokračovaly i v následujících letech. Trať provozovaná rychlostí 300 km/h je specifická svým trasováním s využitím kombinace maximálních parametrů ( $D=170$  mm,  $l=148$  mm, podélný sklon až 40 ‰). Náklady na výměnu kolejnic v celé 177 km dlouhé trati byly odhadnuty v přepočtu na cca 2 mld. Kč. Na nejstarší německé VRT Hannover – Würzburg začala souvislá výměna kolejnic v roce 2016 a v úseku Hannover – Kassel má být rekonstrukce svršku dokončena po 25–28 letech provozu. Na tratích s klasickým svrškem a velkorysejším trasováním se kontaktně únavové vady projevují v menším měřítku, běžná životnost kolejnic (informace jsou zatím k dispozici jenom z nejstarších VRT) dosahuje cca 22 až 30 let v závislosti na dalších faktorech. Informace o rozvoji těchto vad na úsecích s PJD a většími poloměry oblouků či menšími sklony dosud nejsou k dispozici. Některé zdroje předpokládají na VRT s PJD a poloměry oblouků do 5 000 m o 1/3 menší životnost kolejnic, než na tratích s klasickou konstrukcí svršku.

---

### 3.1.2 ÚKLON KOLEJNIC

---

Používaný úklon kolejnic ve sledovaných zemích obvykle vychází z národních zvyklostí a používaného úklonu na konvenčních tratích a je uveden v tabulce v kapitole 3.1.1. Potřebných vlastností koleje pro dosažení optimálního chování systému kolo-kolejnice se pak dosahuje užitím vhodného tvaru kolejnice a vhodného návrhového rozchodu. Dle požadavků [1] musí být navržený úklon koleje v rozmezí 1:40 až 1:20.

Ve výhybkách a mezilehlých krátkých úsecích jsou na konvenční železnici obvykle kolejnice uloženy svisle. Při rychlostech nad 200 km/h jsou pro zajištění klidného chodu vozidel používány výhybky s úklonem identickým jako v navazující koleji, kterého bývá dosaženo různými způsoby, blíže viz kapitolu 3.4. Dle [1] je umožněno krátké úseky ve výhybkách do 50 m ponechat bez úklonu až do rychlosti 250 km/h.

Tabulka: Úklon kolejnic a ekvivalentní konicita

Tvar kolejnic	Návrhový rozchod	Úklon kolejnic vyhovující požadavkům [1]	
		$V \leq 280 \text{ km/h}$	$V > 280 \text{ km/h}$
60 E1	1 435 mm	1:20, 1:30, 1:40	1:20
	1 437 mm	1:20, 1:30, 1:40	1:20, 1:30
60 E2	1 435 mm	1:20, 1:30, 1:40	1:20, 1:30, 1:40
	1 437 mm	1:20, 1:30, 1:40	1:20, 1:30, 1:40

### 3.1.3 BEZSTYKOVÁ KOLEJ

Každé přerušení pojižděné hrany kolejnic vede ke vzniku dynamických rázů, negativně ovlivňuje klidný chod vozidel a zvedají se nároky na údržbu infrastruktury. Se stoupající rychlostí vozidel se tyto efekty zvyšují, proto je u VRT ve všech sledovaných zemích automaticky požadována bezстыková kolej (BK) a minimalizován počet přerušení kolejnic. Zcela vyloučeny jsou izolované styky pro potřeby fungování zabezpečovacího zařízení v hlavních kolejích pro vysoké rychlosti (používají se neohraničené kolejové obvody), minimalizován je počet dilatačních zařízení na mostech a v jejich blízkosti.

Pro budování železničního svršku jsou obvykle používány kolejnice v délkách lehce přes 100 m, v některých zemích /FR, ES/ je rozšířena montáž kolejnicových pásů svařených ve výrobně pomocí odtavovacího stykového svařování do délek blížících se až 500 m. V tomto případě bývají kolejnicové pásy v koleji svařovány obvykle aluminotermicky. V jiných sledovaných zemích se převážně do koleje pokládají kolejnice uvedených základních délek a svařování je preferováno odtavovací stykové pomocí mobilních zařízení, která jsou součástí dvoucestných vozidel nebo speciálních vlaků. Obecně je odtavovací stykové svařování, které vykazuje nejvyšší kvalitu materiálovou i geometrickou, požadováno v případě silně zatížených tratí. V posledních letech se tato technologie šíří na VRT i do zbylých zemí /FR, ES/. Například ve /FR/ je pro výměnu kolejnic na provozovaných VRT tratích od roku 2011 používán svařovací vlak BOA 811+821 švýcarské provenience, kde svou roli hraje i maximální automatizace a omezení pohybu pracovníků v koleji při zachování provozu po sousední koleji již provozované trati vysokou rychlostí (až 170 km/h). Doménou aluminotermické technologie zůstává svařování výhybkových konstrukcí v koleji, dílenské svařování pojižděných částí výhybek se provádí odtavovacím stykovým svařováním. Svařování elektrickým obloukem se nepoužívá.

Geometrická přesnost svarů (bez ohledu na technologii jejich provádění) je obvykle požadována vyšší pro vysoké rychlosti. Zjištěné hodnoty pro dovolené stavební odchylky z jednotlivých zemí uvádí následující tabulka.

Tabulka: Mezní hodnoty geometrie svarů

Země	Rychlost	Svislá odchylka		Vodorovná odchylka na pojížděné hraně		Poznámka
		záporná	kladná	záporná	kladná	
	km/h	mm	mm	mm	mm	
/AT/	140	-0,30	+0,30	-0,30	+0,30	* Při realizaci se preferují záporné odchylky
	250	-0,20	*+0,20	-0,20	+0,20	
/DE/	230	-0,30	+0,20	-0,20	+0,30	* Ve vvestupnicích pouze se souhlasem provozovatele
	300	*-0,20	*+0,10	-0,10	+0,10	
/FR/						
/ES/	350	-0,30	+0,15	0,00	+0,30	Neověřené údaje
/IT/	200	-0,30	+0,30	-0,30	+0,30	
	300	0,00	+0,20	-0,25	+0,25	

Požadavky používané v ČR na konvenčních tratích

/CZ/	160	0,00	+0,50	-0,20	+0,30	
------	-----	------	-------	-------	-------	--

Pozn.: Ve všech případech jde o hodnoty měřené 1m latí. Kladné odchylky (vzepětí) jsou měřeny v místě svaru, záporné na okrajích měřidla.

Dovolená upínací teplota (UT) bezstykové koleje v jednotlivých zemích odpovídá klimatu v dané lokalitě. V /ES/ je upínací teplota stanovena výpočtem pro konkrétní oblast, kdy je průměr mezi nejnižší a nejvyšší teplotou zvýšen o 5 °C. Tolerance je pak stanovena na ±3 °C. Dále je u některých správ zohledněno pro VRT riziko vybočení koleje při vysokých teplotách, jehož případné důsledky s rostoucí rychlostí vlaků stoupají: v /IT/ je na VRT požadována upínací teplota o 5° C vyšší, než na konvenční síti pro rychlosti do 200 km/h. Obdobně jako v tuzemských předpisech jsou v dlouhých tunelech ve sledovaných zemích požadována méně přísná rozpětí upínacích teplot.

Tabulka: Požadavky na bezstykovou kolej

Země	Upínací teplota	Preferované technologie	Délky kolejnic (kolejnice / dlouhé pásy)	Poznámka
/AT/	20–25 °C	OS	120 m	
/DE/	20–26 °C	OS	*120–180 m	* Min. 80 m nad 230 km/h
/FR/	20–25 °C	AT, OS	108–121 m / 404–484 m	
/ES/	25–38 °C	AT, OS	72–90 m / 270–288 m	UT se stanoví pro konkrétní oblast s tolerancí ±3 °C.
/IT/	30–35 °C	OS	108 m	

Požadavky používané v ČR na konvenčních tratích

/CZ/	17–23 °C	OS	60–120 m	
------	----------	----	----------	--

AT = aluminotermické svařování

OS = odtavovací stykové svařování

## 3.2 KOLEJ S KOLEJOVÝM LOŽEM

### 3.2.1 UPEVNĚNÍ

Použité upevnění na VRT obvykle zpočátku vycházelo v jednotlivých zemích z národních zvyklostí z konvenční železnice, v poslední době se převážně sjednocuje na několik málo typů hlavních výrobců. Společným rysem používaných systémů ve sledovaných zemích je bezpodkladnicové upevnění. Přehled nyní i dříve používaných typů uvádí následující tabulka, kde jsou uvedeny i údaje o pryžových podložkách pod patou kolejnice.

Tabulka: Upevnění kolejnic na VRT (kolej s kolejovým ložem)

Země	Upevnění používané na posledních stavbách	Tloušťka pružné podložky pod patou kolejnice mm	Statická sečná tuhost pružné podložky kN/mm	Dříve používaná upevnění (od roku 2000)	Poznámka
/AT/	W 14	7	60	W 14	Zw 700
/DE/	W 14	9	57	W 14	Zw 900, $V \leq 230$ km/h
	W 21	10	40		Zw 1000, $V > 230$ km/h
/FR/	W 14, Fastclip, Nabla Evolution	*9	*100	Nabla	* Pravděpodobně starší hodnoty. Různé tuhosti podložek se používají pro osobní a smíšenou dopravu.
/ES/	W 14	7	100	W 14	* Použito na první VRT společně se svěrkami Skl 1.
		*6	*400–500		
/IT/	e-Clip	10	*75	e-Clip	* 200 kN/mm pro $V \leq 250$ km/h
	W 14				

*Upevnění používaná v ČR na konvenčních tratích*

/CZ/	W 14	7	55-75	W 14, Fastclip	
------	------	---	-------	----------------	--

*Upevnění W 14 a W 21 je produktem skupiny Vossloh, ostatní skupiny Pandrol.*

*Uvedené hodnoty tuhostí jsou pouze orientační, ne všechny jsou stanoveny dle předpisu EN 13146-9.*

U většiny správ je zřejmý u vysokých rychlostí příklon ke zvyšování pružnosti uložení kolejnic za účelem omezení vibrací (zejména vyšších frekvencí) a vlnovitosti kolejnic, lepšího roznášení zatížení (přes větší počet pražců) do kolejového lože a prodloužení jeho životnosti. Tenké podložky pod paty kolejnic z etylenvinylacetátu (EVA) obvyklé v mnoha zemích na konvenční železnici jsou tak často nahrazovány tlustšími podložkami z termoplastického polyuretanu (TPU), ethylen-propylen pryže (EPDM) nebo jiných materiálů. U vyvíjených materiálů je sledována jako důležitý parametr životnost podložek



v praktickém nasazení, tedy jejich odolnost vůči mechanickému namáhání, ale i účinkům prostředí, ať už jde o teplotu, vodu v různých skupenstvích nebo případné chemické působení. Elasticita železničního svršku však závisí též na tloušťce kolejového lože a případném použití podpražcových podložek.

### 3.2.2 KOLEJNICOVÉ PODPORY

Ve všech sledovaných zemích jsou pro kolej ve šterku používány jako podpory kolejnic monoblokové předpjaté betonové pražce. Pražce z jiných materiálů jsou na VRT používány pouze ve výhybkách. Podrobnosti jsou uvedeny v kap. 3.4.2. Základní parametry používaných pražců shrnuje následující tabulka.

Tabulka: Příčné pražce na VRT

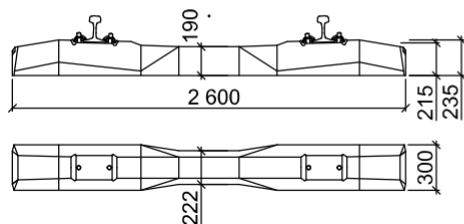
Země	Název pražce	Hmot- nost*	Dél- ka	Výška **	Šířka	Rychlost – Hmotnost na nápravu	Třída betonu	Výztuž	Předpětí
		kg	mm	mm	mm	km×h <sup>-1</sup> /t			
/AT/	L2	320	2,60	215	300	250/25,0	C 50/60	Dráty	Předem
	K1	280		cca 210		250/ /25,0			
/DE/	B 70	280	2,60	214	300	250/25,0 300/	C 50/60	Tyče	Předem
	B 07								
	B 90	339			320				
/FR/	M450	280	2,41	220	290	350/		Tyče	Předem / Dodateč.
/ES/	AI-99	315	2,60	239	300	>220/17,0	C 45/55	Tyče / dráty	Předem / Dodateč.
	AI-04			235		220/20,0	C 45/55		
	AI-AE					160/22,5	C 45/55		
/IT/	RFI 260	380	2,60	225	300	>250/25,0	C 50/60	Tyče / dráty	Předem / Dodateč.
Pražce používané v ČR na konvenčních tratích									
/CZ/	B 91 T	308	2,60	220	300	300/18,0 220/22,5 160/25,0	C 45/55	Tyče	Předem
	BC 12	380		245		350/25,0	C 50/60		

Pozn.: Uvedeny jsou hodnoty obvyklé, v závislosti na výrobcích a u starších výrobků se mohou mírně lišit.

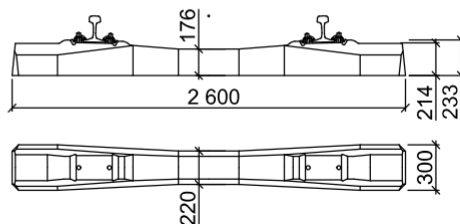
\* Uvedena hmotnost nevystrojeného pražce, hodnoty jsou orientační.

\*\* Uvedena výška pod kolejnicí.

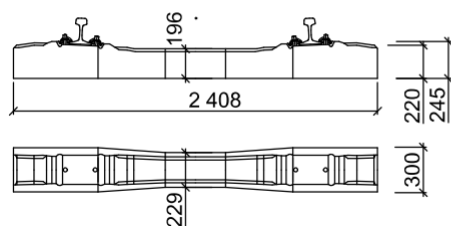
/AT/: L2  
(MABA Fertigteilindustrie GmbH)



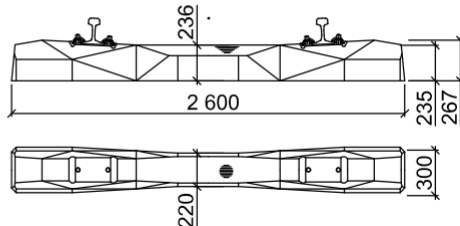
/DE/: B 70 W 60  
(Leonhard Moll Betonwerke GmbH & Co KG)



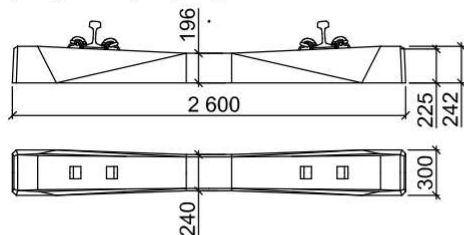
/FR/: M450  
(STADAL Ferroviaire)



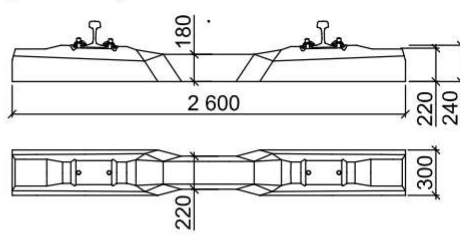
/ES/: AI-AE  
(patentovaný tvar ADIF a společnosti)



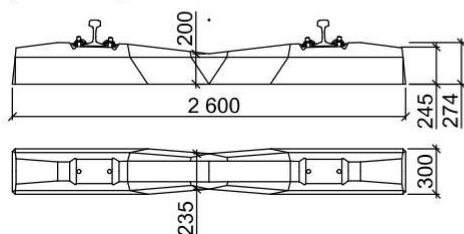
/IT/: RFI 260 P AV  
(Wegh Group S.p.A.)



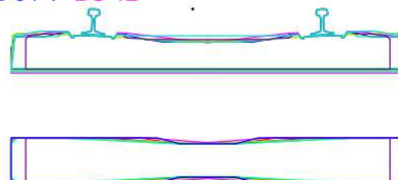
/CZ/: B 91 T  
(ŽPSV a.s.)



/CZ/: BC 12  
(ŽPSV a.s.)



L2 B 70 W 60 M450 AI-AE RFI 260 P AV  
B 91 T BC 12



Obrázek 13: Porovnání pražců používaných na VRT včetně pražců používaných v ČR na konvenčních tratích.

Jako předpínací výztuž slouží buď dráty používané na dlouhých výrobních linkách pro předem předpjatý beton, resp. tyče používané pro předem nebo dodatečně předpjatý beton na krátkých linkách a v jednotlivých formách při tzv. karuselovém postupu výroby. V předem předpjatých pražcích (produkovaných i v ČR) se přenáší předpětí do betonu především spolupůsobením výztuže s betonem, některé pražce mají též zabetonované kotvící prvky. U pražců dodatečně předpínaných jsou nutností kotvy v čelech pražců. Výztuž je v tomto případě buď vkládána do připravených otvorů, předepnuta a injektována až po vyjmutí pražců z formy, nebo (italský systém Margaplan) je již při betonáži výztuž osazena v chrániče z PVC a pouze předepnutí a injektáž se provede až po vyjmutí pražce z formy. Ve

většině zemí převažuje výroba předem předpjatých pražců., dodatečně předpínané jsou produkovány v /ES/, /IT/ a /FR/. Kromě předpínací výztuže někteří výrobci používají též příčné třmínky, resp. spirály kolem hmoždinek.



Obrázek 14: Dodatečné předpínání pražců u výrobce PRECON ve Španělsku (Zdroj: Asociación Nacional de Fabricantes de Traviesas para Ferrocarril).

V /DE/ byly vyvíjeny a používány pražce s délkou 2,80 m (B 75; hmotnost cca 440 kg), určené primárně pro silně zatížené a vysokorychlostní tratě s použitím lineární vířivé brzdy pro provozní brždění. S podobným záměrem byl například vyvinut a patentován zvlněný povrch svislých ploch pražců, který měl bez použití pražcových kotev nebo těžších pražců a většího profilu lože vést ke zvýšení příčného odporu až o 15 % a v důsledku umožnit zkrácení intervalu vlaků brzdících lineární brzdou (viz kapitolu 3.3 sešitu 8). Po rozšíření pevné jízdní dráhy (PJD) se vývoj pražců pro vysoké rychlosti utlumil a pro úseky s rychlostí do 230–250 km/h se používají v tabulce výše uvedené typy. Na provozovaných tratích jsou pojížděny vyššími rychlostmi až do 300 km/h (předpisy to povolují i pro novostavby). U starších předpjatých pražců bez příčných třmínků jsou v /DE/ zaznamenávány potíže s rozvojem podélných trhlin.

Ve /FR/ byly tradičně na konvenční železnici i VRT používány dvoublokové pražce, od jejich dalšího užívání pro VRT od roku 2007 RFF, resp. SNCF upouští ve prospěch pražců monoblokových, které byly již dříve testovány na kratších úsecích. Od změny si správce slibuje lepší roznášení zatížení do kolejového lože na větší ložné ploše pražce (zejména s ohledem na výhledové zvyšování rychlosti, resp. provoz nákladní dopravy v některých

úsecích; viz kap. 3.2.3) a vyšší hmotnost pražců, vedoucí k větší stabilitě roštu a snížení potřeby úpravy GPK, dále předpokládá mírně vyšší životnost těchto pražců. Na druhé straně u monoblokových pražců dochází oproti dvoublokovým ke snížení příčného odporu vůči posunu v kolejovém loži, nicméně pouze v míře, která nemá vliv na jejich praktické použití. V tabulce uvedené pražce M450 jsou používány i na tratích LGV Mixte. Na mostech (vždy s průběžným kolejovým ložem) jsou v některých případech používány pojistné profily (obvykle nižší kolejnice), pro něž jsou uzpůsobeny speciální pražce.

V /ES/ byl v posledních letech vývoj pražců směřován k řešení problematiky odlétávajícího štěrku (tzv. „ballast pick-up“), která je zaznamenávána zejména při rychlostech nad 300 km/h. Výsledkem vývoje byl pražec Aerotraviesa se zaobleným povrchem ve střední části, který má dle správce snížit tlak vzduchu na povrchu kolejového lože o 21 % a umožnit tak bezproblémový provoz vlaků při rychlosti vyšší o 12 %. Tvar pražce je patentovaný ADIFem společně s dalšími institucemi, které se podílely na jeho vývoji.



Obrázek 15: /ES/: Povrch pražce AI-AE „Aerotraviesa“ (Zdroj: ADIF)

V některých zemích definuje základní tvar a parametry pražců správce infrastruktury a výrobu jednotných nebo shodné parametry splňujících pražců pak zajišťují různí certifikovaní výrobci, například v /DE/, /ES/ [14] a /IT/ [15]. Španělský a italský předpis definují pro pražce základní rozměry (v přesných hodnotách, rozpětí hodnot nebo minimálních hodnotách), minimální hmotnost, návrhové momenty v hlavních průřezích, materiálové požadavky na cement, kamenivo, příměsi a vodu, stanovují minimální krytí výztuže a povolené rozměrové odchylky. Předpisy dále zavádí pravidla pro kontrolu výroby a zkoušení betonu i hotových výrobků. Naopak návrh předpínací výztuže a způsob předpínání není podrobněji definován a je ponechán na výrobcích.

Používané rozdělení pražců je v současnosti ve všech sledovaných zemích 600 mm.

#### PODPRAŽCOVÉ PODLOŽKY

Podpražcové podložky (USP) jsou pružné desky připevněné na ložné ploše pražce, které svým pružným nebo pružno-plastickým chováním pomáhají prodloužit životnost prvků železničního spodku, omezit nezbytnou míru údržby, případně omezit šíření vibrací. USP jsou předmětem výzkumu již od 80. let minulého století, jejich praktické nasazení se rozšiřuje zejména v posledních letech. Hlavní princip jejich fungování spočívá ve významném zvětšení kontaktní plochy mezi kolejovým ložem a pražcem, což v důsledku



vede k lepšímu přenosu zatížení od projíždějícího vlaku, ochraně zrn kameniva před drcením a stabilizaci kolejového lože. Zatlačení pražce zároveň vede k roznesení zatížení od kol na větší počet pražců a při vhodně zvolené tuhosti vede použití USP k tlumení vibrací a omezení tvorby vlnkovitosti. Přínosy podložek jsou však jen omezeně kombinovatelné, protože se projevují při různých tuhostech. Na VRT se převážně používají tužší podložky a cílem jejich nasazení je zejména:

- **prodloužení intervalů podbíjení;** v různých zkouškách na cca dvoj- až trojnásobek,
- **stabilizace GPK v kritických oblastech;** jako jsou výhybky nebo přechodové oblasti,
- **prodloužení životnosti kolejového lože;** omezením drcení kameniva a
- **snížení tloušťky kolejového lože;** v kritických oblastech nebo globálně.

Podložky o nižší tuhosti pak nacházejí na VRT uplatnění především ve výhybkách, kde mají za cíl vhodně snížit svislou tuhost koleje.

Tabulka: Funkce podpražcových podložek

Typ	Statický svislý modul uložení dle DBS 918 145-1  N/mm <sup>3</sup>	Přínosy			
		Stabilita GPK	Ochrana lože	Vlnkovitost	Vibrace
tuhé	0,25–0,35	++	+	=	=
středně tuhé	0,15–0,25	+	=	=	=
poddajné	0,10–0,15	+	=	+	+
velmi poddajné	≤ 0,10	+	–	++	++

Podpražcové podložky jsou zhotoveny standardně z etylenvinylacetátu (EVA), pryže nebo polyuretanu (PUR). Zejména poddajnější podložky bývají vybaveny též ochrannou vrstvou. Životnost USP se navrhuje shodná s životností pražce, bývá udáváno minimálně 40 let. Pro zajištění správné funkce je nezbytné dokonalé spojení s pražcem. Dosud byly používány varianty spojení pomocí:

- výstupků zabetonovaných do pražce při jeho výrobě,
- drátěné sítě zabetonované do pražce při jeho výrobě,
- lepení USP na hotový pražec,
- nástřik materiálu USP na hotový pražec.

USP jsou prováděny buď přes celou plochu pražce, nebo pouze pod kolejnicemi v místech největšího přenosu zatížení. Podložky jsou ukončeny několik cm od kraje pražce za účelem jejich ochrany před poškozením při podbíjení.

V /AT/ jsou podpražcové podložky používány na základě předchozích teoretických i praktických zkoušek s velmi dobrými výsledky za účelem zpomalení rozpadu GPK a prodloužení intervalů podbíjení, omezení výskytu vlnkovitosti kolejnic, prodloužení

životnosti kolejového lože a snížení jeho tloušťky. Podložky jsou používány globálně v kolejích s provozním zatížením přes 30 000 t denně nebo rychlostí přes 160 km/h nebo v poloměrech 600 m a méně [40]. Ve výhybkách se USP používají při provozním zatížení přes 30 000 t nebo rychlosti přes 160 km/h [41]. Kromě standardních tuhých podložek s modulem kolem  $0,30 \text{ N/mm}^3$  jsou ve výhybkách používány též poddajnější podložky s moduly  $0,22$  a  $0,15 \text{ N/mm}^3$ . Dále viz kap. 3.4.2.

Při současném použití podpražcových podložek a asfaltobetonové konstrukční vrstvy se snižuje tloušťka kolejového lože z 32 na 22 cm, což přináší úsporu objemu kolejového lože v řádu 25 %. Podle výpočtů a zkoušek vede použití USP k poklesu napětí na pláni tělesa o cca 5 % při tloušťce lože 32 cm a cca 24 % při tloušťce 22 cm [46]. Podle teoretického výzkumu má v horizontu cca 10 let použití podpražcových podložek mít pozitivní dopad na omezení sedání jak kolejového lože, tak konstrukčních vrstev pražcového podloží. Celkové sedání (není zahrnuta případná konsolidace zemního tělesa) by se mělo pohybovat kolem 50–70 % hodnot pro případ bez podpražcových podložek. Praktické pozorování ve zkušebních úsecích dokonce vedlo k poklesu sedání na 30–25 % oproti stavu bez USP s velmi příznivým dopadem na omezení míry podbíjení. Zároveň použitím USP došlo k minimalizaci nerovnoměrného sedání středů a okrajů pražců a zůstal tak zachován celoplošný kontakt mezi pražcem a ložem [47].

ÖBB předpokládají na silně zatížených tratích snížení celkových nákladů vynaložených na pořízení a údržbu železničního svršku během životního cyklu při použití USP o zhruba 30 % (při provozním zatížení přes 70 000 tun denně). Náklady na vybavení jednoho pražce USP jsou udávány kolem 20 EUR.



Obrázek 16: Rozdíl ve stavu kolejového lože po 10 letech provozu při ročním zatížení 10 mil. tun; vlevo bez USP; vpravo s USP (zdroj: ÖBB).

Ve **/FR/** probíhá vývoj a zkoušení USP již od roku 1989. V posledních letech byly používány především pro snížení požadované tloušťky kolejového lože na mostech a v tunelech, kde předpisy dovolují při použití podložek úsporu 5 cm (do 230 km/h) až 10 cm (do 350 km/h), a dále pod výhybkami a v přechodových oblastech. Na trati LGV Méditerranée byl proveden 10km zkušební úsek s různými podložkami a s různou tloušťkou kolejového lože (35, 30 a 25 cm). Zpětné vyhodnocení po 10 letech provozu ukázalo, že opotřebení štěrku a frekvence podbíjení klesla oproti úsekům bez USP na cca 1/3, a to téměř shodně i v úseku se sníženou tloušťkou lože z 35 až na 25 cm.

Zkušenosti s vysokou údržbovou náročností na první části trati LGV Est européenne vedly k vybavení celého druhého úseku podpražcovými podložkami, standardní tloušťka kolejového lože zůstává zachována (i když se udává možnost snížení tloušťky lože o 5–10 cm). Podle výpočtů SNCF i výrobců podložek dojde v dlouhodobém horizontu k dosažení ekonomické efektivity použití USP po zhruba 6–25 letech v závislosti na hustotě provozu a inflaci. Jejich přínos má v dalších letech ještě dramaticky růst oddálením obnovy kolejového lože. Náklady na vybavení jednoho pražce USP jsou udávány na úrovni 20–40 EUR.

Ve **/FR/** se používají tuhé podložky PRA (Patins Réducteurs d'Attrition) s modulem  $c_{stat} > 0,30 \text{ N/mm}^3$  a tloušťkou kolem 5 mm s hlavním cílem v podobě prodloužení intervalů úpravy GPK a životnosti kolejového lože.



Obrázek 17: Tuhé podpražcové podložky pro použití ve **/FR/** (zdroj: FIMOR INDUSTRIES).



Obrázek 18: Výstupky na podpražcové podložce pro zabetonování do pražce (zdroj: FIMOR INDUSTRIES).

Výzkum v Belgii neprokázal pozitivní vliv USP na emitovaný hluk, naopak dílčím oddělením kmitajících pražců od kolejového lože došlo k jeho navýšení, maximálně však do 1 dB [48].

V **/ES/** jsou podpražcové podložky používány standardně pod výhybkami a v přilehlých přechodových polích a na mostech.

---

### 3.2.3 KOLEJOVÉ LOŽE

---

#### MATERIÁL KOLEJOVÉHO LOŽE

---

Materiál pro kolejové lože je ve sledovaných zemích používán s velmi podobnými požadavky jako u konvenčních tratí v ČR. Většina požadavků vychází z předpisu [19] a jsou doplněny o některá národní specifika nebo přísnější hodnoty. Základem je přírodní drcené kamenivo z nezvětrávajícího materiálu, v současnosti jsou zkoumány možnosti použití umělého kamenivo (viz dále). Frakce kameniva vychází z národních zvyklostí, v současnosti se však sjednocují na frakcích 31,5/50 a 31,5/63, které definuje norma [19]. Požadované tloušťky kolejového lože definuje následující tabulka. Ve **/FR/** je k požadované nominální hodnotě tloušťky lože připočtena rezerva 5 cm, která i při povolených tolerancích polohy GPK a stavebních odchylkách výšky pláňe zajistí dodržení nominální hodnoty. Takto vzniklá návrhová hodnota je uváděna v tabulce.



Tabulka: Kolejové lože na VRT

Země	Rychlost	Tloušťka lože pod betonovým pražcem v průřezu pod kolejnicí		Frakce kameniva	Maximální součinitel Los Angeles	Poznámka
		minimální	maximální			
	km/h	mm	mm	mm	%	
/AT/	250	*220		31,5/63	22	* S podpražcovými podložkami a asfalt.konstr. vrstvou
		320				
/DE/	300	350 (400*)		31,5/63 ** 22,4/63	12	* Na mostech ** Dříve používaná frakce
	230				14	
	200	300 (350*)				
/FR/	350	350 (450*)	600	31,5/50 **25/50		* Na mostech a v tunelech bez podpražc. podložek ** Dosud používaná frakce
	270	300 (400*)				
	230	300 (350*)				
/ES/	350	350 (400*)		31,5/50	15	* Na mostech
/IT/	300	350		31,5/50	16	
<i>Kolejové lože používané v ČR na konvenčních tratích</i>						
/CZ/	200	350	cca 685	32/63	16	

Použití umělého kameniva bylo opakovaně zkoumáno v /ES/, kde studie Balasto Artificial mezi lety 2008 a 2011 prověřovala výrobu z betonových bloků (jako součást recyklace starších konstrukcí), případně výrobu betonových prvků ve formách. Obě technologie se ukázaly být jako nepříznivé z energetického, ale především ekonomického hlediska (odhadovaná cena takto vyráběného materiálu by činila deseti až padesátinásobek ceny přírodního kamene) [20]. Další z výzkumů probíhá od roku 2012 a pod názvem Neoballast [21] vyvíjí stejnojmenný materiál tvořený přírodním kamenivem s jednotlivými zrny potaženým tenkou pryžovou vrstvou. Materiál pro povlak by měl být primárně získáván ze starých pneumatik. Za cíl si klade zásadní zvýšení životnosti kolejového lože, které se u klasické konstrukce koleje jeví pro použití na VRT jako nejslabší článek. Pryžová vrstva má zvětšit kontaktní plochu mezi zrny a tím (podobně jako podpražcové podložky, avšak v celém rozsahu lože) snížit namáhání kameniva a zlepšit roznášení zatížení s pozitivním dopadem na rozsah údržby a životnost lože. Koeficient Los Angeles reprezentující odolnost kameniva proti drcení podle dosavadních výsledků klesá povlečením kameniva z 15 na 1 až 7 podle konkrétního povlaku. Oproti přírodnímu kamenivu výrazně klesá statická i dynamická tuhost, při zatěžování modelu kolejového lože s frekvencí 2–5 Hz odpovídající provozu vlaků rychlostí 160–400 km/h dochází k poklesu dynamické tuhosti z 230–250 na 30–35 kN/mm a nárůstu zatlačení kolejnic vlivem pružnosti lože z cca 4 na 10 mm při tloušťce lože 400 mm. Dále by měla být výrazně navýšena stabilita kolejového lože

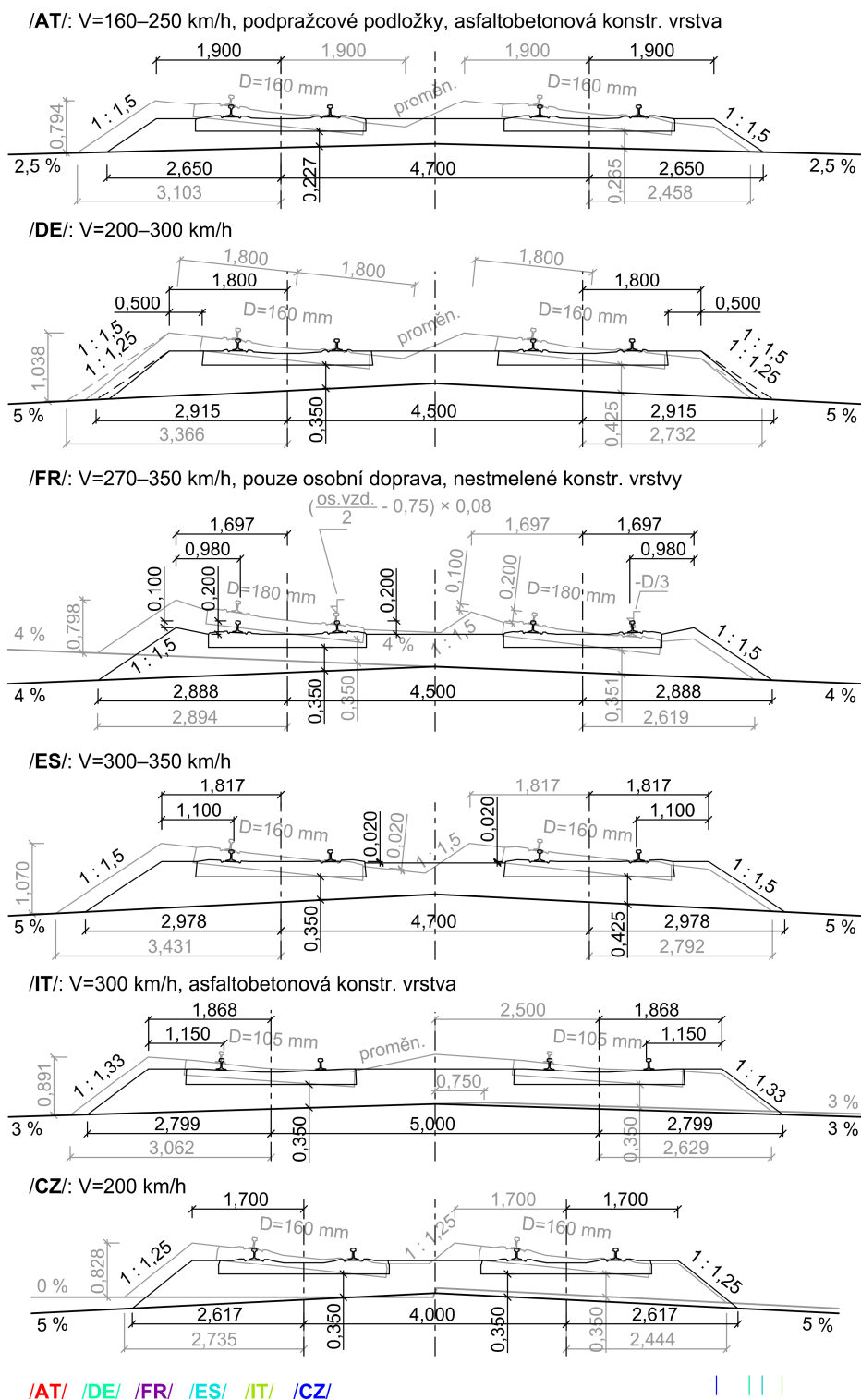
a tlumení vibrací vyšších frekvencí nad cca 50 Hz, což může mít pozitivní efekt zejména při provozu velmi vysokými rychlostmi. Výzkum dotovaný Evropskou komisí má pokračovat do roku 2019 včetně realizace zkušebního úseku v trati, kde bude nezbytné vhodně nastavit tloušťku lože, stejně jako pružnost ostatních prvků železničního svršku. Jednou z hlavních otázek samozřejmě zůstává ekonomická reálnost takového řešení.

Výzkumem podobného řešení ve formě kolejového lože stabilizovaného asfaltovou emulzí se zabývá jiný projekt ve Velké Británii [39]. Navrženo je prolití celé tloušťky kolejového lože emulzí, která svým viskoelastickým chováním přebere část zatížení a omezí dlouhodobé deformace lože. Otázkou zůstává ovlivnění možností údržby.

#### TVAR KOLEJOVÉHO LOŽE A ZKUŠENOSTI

---

Tvar otevřeného kolejového lože pro VRT ve sledovaných zemích znázorňuje následující obrázek. Sklony svahů kolejového lože jsou převážně mírnější než přirozený sypaný úhel 1 : 1,25 používaný v **/CZ/** a **/DE/**. V **/DE/** je však uvažován návrhový sklon (s ohledem na šířku stezky a výhledové podbíjení) 1 : 1,5. V **/IT/** je používán sklon 1 : 1,33, v ostatních sledovaných zemích 1 : 1,5. Maximální výška lože je v některých zemích omezena v profilu pod kolejnicí, maximální výška jeho svahu není na rozdíl od **/CZ/** definována. Odlišný je v jednotlivých zemích přístup k tloušťce kolejového lože u dvoukolejné trati v převýšení. V **/AT/**, **/DE/** a **/ES/** se zvětšuje tloušťka lože pod vnitřní kolejí při zachování shodné nivelety kolejí a vrcholu skloněné pláně v ose os, v **/IT/** se navrhuje posun vrcholu pláně při zachování standardní tloušťky lože i nivelety obou kolejí a ve **/FR/** se v obloucích s převýšením kolejí do 100 mm provádí u vnitřní koleje zahloubení vnitřního kolejnicového pásu o D/3 při zachování standardní tloušťky lože a vrcholu pláně v ose os. Při převýšení větším se provádí pláň jednostranně skloněná (v případě použití nestmelených vrstev v pražcovém podloží) se standardní tloušťkou lože pod oběma kolejemi, se shodným zahloubením vnitřní koleje jako v předchozím případě a s nadvýšením vnější koleje.



Obrázek 19: Tvar kolejového lože na VRT včetně porovnání s konvenční tratí v /CZ/.

Během návrhu prvních VRT v Evropě byly sledovány i zkušenosti z Japonska, kde poddimenzovaná konstrukce železničního svršku (kolejnice o hmotnosti 54 kg/m, pražce délky 2,40 m a kolejové lože tloušťky 20–25 cm) vedla i při nízké nápravové hmotnosti k neúměrným nárokům na údržbu a následnému přechodu na PJD u nově realizovaných tratí.

Při zřizování kolejového lože je ve sledovaných zemích požadováno v hlavních kolejích provedení dynamické stabilizace lože a jsou specifikovány různé přísné požadavky na maximální zdvih roštu při zřizování koleje. Například ve **/FR/** byly při obnově svršku na trati Paříž – Lyon v roce 2000 prováděny v koleji s převýšením maximální zdvihy od 100 mm u zemní pláně po 30 mm při šestém průjezdu ASP. Dynamická stabilizace lože byla prováděna při 3.–6. podbití. Na nově budovaných LGV probíhá ve větší míře tzv. „pré-ballastage“, tedy předštěrkování finišerem v tloušťce až 23 cm včetně provedení procesu podobnému dynamické stabilizaci.



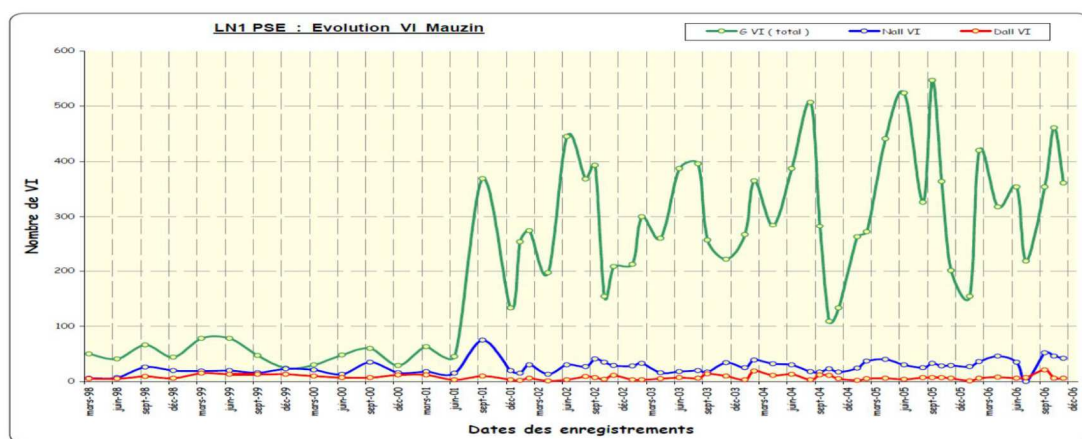
Obrázek 20: Strojní předštěrkování na trati LGV SEA ve **/FR/** (zdroj: LISEA).

Očekávaná životnost kolejového lože na VRT je ovlivněna provozním zatížením, vyšší frekvencí úpravy směrové a výškové polohy koleje a přísnými požadavky na povolené odchylky v GPK oproti konvenčním železnicím pro nižší rychlosti. Předpokládaná životnost lože je v jednotlivých zemích očekávána v rozmezí 15 až 40 let. Reálné zkušenosti ve sledovaných zemích jsou k dispozici především z **/FR/**, kde již proběhla výměna kolejového lože na trati LGV Sud-Est Paříž – Lyon mezi lety 1996 a 2000, tj. po 15 až 19 letech od zahájení provozu. Na trati LGV Nord z Paříže do Lille probíhá obnova kolejového lože mezi lety 2015 a 2021, tedy po 22 až 28 letech od zprovoznění trati. V **/DE/** byla v roce 2016 zahájena rekonstrukce železničního svršku včetně výměny lože v úseku Hannover – Kassel, který má být obnoven do roku 2019, tedy po 25–28 letech od zahájení provozu.

Ve **/FR/** došlo po zvýšení rychlosti na trati Paříž – Lyon z 270 na 300 km/h v roce 2000 k významnému urychlení rozpadu GPK (svršek byl přitom mezi lety 1996 a 2000 obnoven). Následný výzkum si kladl za cíl identifikovat příčiny problémů a přijmout opatření pro nově budované tratě, zejména s ohledem na zvyšování rychlostí na 320 a výhledově až na 350

km/h. Hlavním původcem problémů byly identifikovány vyšší frekvence vibrací, které vznikají při vyšší rychlosti vlaků a negativně působí na železniční svršek i spodek. Dle měření došlo ve frekvenčním spektru k nárůstu vibrací o frekvencích nad 28 Hz, konkrétně kolem 30–35 Hz. Při překročení 25 Hz přitom dochází ke změně chování kameniva a do této úrovně v zásadě nehybné lože začíná vykazovat známky nižšího odporu při zatížení a viskózního chování. Doporučení pro konstrukci nově budovaných tratí spočívala v:

- použití pružnějších podložek pod patu kolejnice pro zajištění roznosu zatížení na větší počet pražců a snížení frekvence vibrací,
- zvětšení kontaktní plochy mezi pražcem a kolejovým ložem,
- zvýšení únosnosti a stability železničního spodku (zejména použitím stmelených vrstev a antivibračních rohoží),
- zajištění co nejvyšší stability kolejového lože (prováděním dynamické stabilizace).



Obrázek 21: Graf zachycující počty měřícím vlakem zjištěných závad v GPK vyžadujících zásah (Valeur d'intervention) na trati Paříž – Lyon mezi březnem 1998 a prosincem 2006. Nárůst přichází těsně po zvýšení traťové rychlosti z 270 na 300 km/h (Zdroj: SNCF INFRA).

Jiné výzkumné práce se věnovaly zjištění maximálních vertikálních zrychlení, která se v kolejovém loži vyskytují při průjezdu vlaku. Při simulaci s jednotkou TGV a parametry železničního svršku a spodku obvyklými v síti LGV bylo pomocí výpočetního modelu zjištěno, že při nárůstu maximální rychlosti z 270 na 320 km/h dojde k nárůstu maximálních vertikálních zrychlení v polovině výšky kolejového lože o 72 % [18].

Po zahájení pravidelného provozu rychlostí 320 km/h na první části trati LGV Est européenne, kde již část výše uvedených opatření byla uvedena do praxe, bylo i tak zjištěno, že nutná frekvence úpravy GPK je výrazně vyšší, než u jiných novějších úseků s rychlostí 300 km/h. Se zvyšováním provozní rychlosti nad 320 km/h se mimo jiné kvůli údržbové náročnosti aktuálně neuvažuje.

## ODLÉTAVAJÍCÍ ŠTĚRK

Problematika odlétavajícího štěrku (anglicky „flying ballast“, též „ballast pick-up“) je dosud řešena pouze na národní bázi v jednotlivých zemích. Ve větší míře se tímto jevem začaly železniční správy zabývat až po roce 2000, kdy se zvýšil počet incidentů v souvislosti s rozšiřováním sítě VRT a provozem při vyšších rychlostech. První problémy byly zaznamenány u jednotek ICE 3, ETR 500 a řady 102 RENFE, v menší míře též u souprav TGV. Při rychlostech nad 230–300 km/h dochází za provozu v kolejích s kolejovým ložem k pohybu jednotlivých zrn kameniva převážně na základě tlaku vzduchu vyvozeného projíždějícím vozidlem. V praxi tímto způsobem dochází k poškození pražců, kolejnic (zejména hlav kolejnic při drcení zrn kameniva), kol a náprav vozidel i celé jejich spodní části. Odlétavající kamenivo ohrožuje též protijedoucí vlaky a osoby a majetek v okolí dráhy.

Problému se již věnovala celá řada výzkumných prací na bázi teoretických počítačových modelů, pravděpodobnostních výpočtů i praktických zkoušek v laboratorním i skutečném prostředí. Na podstatě vzniku problému se obvykle výzkumy shodují, ale zcela spolehlivé a obecně platné a přijímané řešení problému zatím neexistuje. Většina dosud prováděných opatření si klade za cíl tento jev spíše omezit. Vliv na výskyt odlétavajícího štěrku má především:

- **provozní rychlost;** jev byl zaznamenán už při rychlosti kolem 230 km/h, výskyt však významně roste hlavně nad 250 km/h v relaci k nárůstu aerodynamických sil s druhou mocninou rychlosti,
- **tvar a materiál kolejového lože;** podle výzkumů jsou nejrizikovější zrna kameniva ležící na horním povrchu pražců, kterým v pohybu nebrání ostatní zrna a podporuje jej vibrující povrch pražce a zároveň nejlehčí zrna o hmotnosti do 100 g, význam má úroveň povrchu lože vůči povrchu pražců a tvar zrn: plochá zrna s větším povrchem a nižší hmotností jsou náchylnější k pohybu,
- **tvar spodní části vozidel;** aerodynamické zakrytování všech zařízení pod skříní snižuje aerodynamický tlak a omezuje výskyt létajícího štěrku, různá vzdálenost podvozků vede k různé frekvenci zatěžování lože,
- **délka vlaků;** podle některých studií má zásadní vliv na výskyt jevu – vlak délky 400 m vyvoluje větší zatížení kolejového lože než dva 200m vlaky,
- **tvar čela vozidel,**
- **osová vzdálenost kolejí;** při míjení vlaků v malé osové vzdálenosti dochází k výskytu jevu i při nižších rychlostech,
- **provoz v tunelech;** pohyb vzduchu vyvolaný průjezdem vlaku může vést k vyvolání efektu u výrazně nižších rychlostí i pod 200 km/h,
- **tvar povrchu pražců;** velikost aerodynamického tlaku může snížit zaoblený povrch pražců (viz dále), nižší pravděpodobnost výskytu jevu je u dvoublokových pražců,
- **kvalita železničního svršku;** jev je častější v okolí nepodepřených pražců, u nichž dochází při průjezdu vlaku k větším poklesům a vibracím,
- **kvalita železničního spodku;** podobná situace je v úsecích s méně únosným podložím: větší svislé pohyby a vysoká svislá zrychlení v železničním svršku vedou k častějšímu výskytu jevu a odlehčování zrn kameniva při průjezdu vlaku. Vliv má podle některých studií též případná interference vibrací od projíždějícího vlaku



a tzv. Rayleighových vln, šířících se zeminou (při tzv. kritické rychlosti vlaku odpovídající rychlosti šíření vln),

- **sníh a led na vozidlech;** pád kusů ledu a sněhu ze spodní části vozidel bývá v zemích na sever od Alp jedním z nejčastějších zdrojů odražených zrn kameniva i při nižších rychlostech. Jev se nejčastěji projevuje v místě svislých otřesů (výhybky, LIS), vliv na uvolňování ledu a sněhu má údajně i ohřev výhybek,
- **boční vítr;** podle některých výzkumů má rovněž podpurný vliv na výskyt odlétávajícího kameniva.

Nejčastější dochází k poškození vozidel při situacích, kdy horizontálně se pohybující zrno kameniva narazí do stabilních zrn nebo okraje pražce a odrazí se do výšky nebo vymrští jiná zrna. Při dopadu takového zrna dochází k řetězovému efektu. Větší úhel odrazu vede k větším škodám a silnější řetězové reakci.

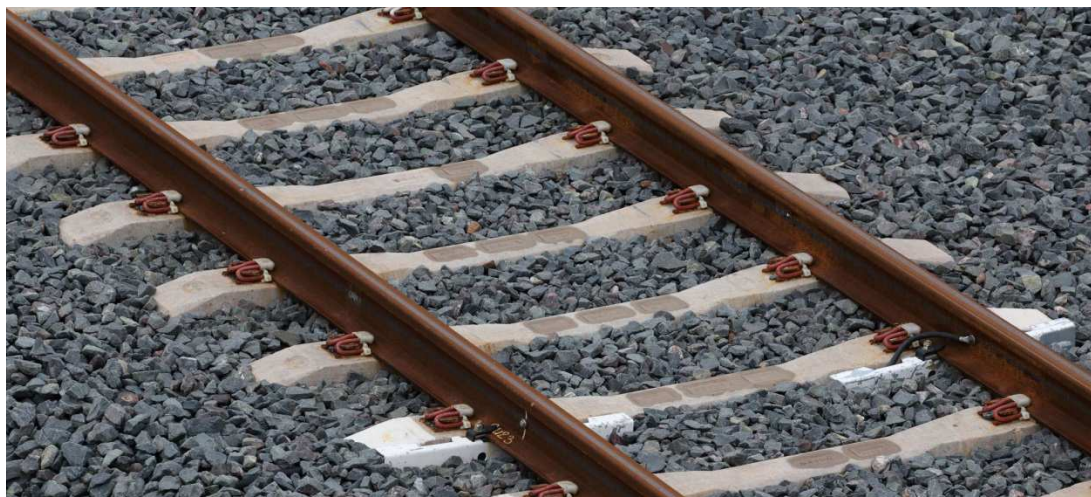
V **/AT/** bývají hlavní příčinou odlétávajícího kameniva padající kusy sněhu a ledu. Pro konstrukci železničního svršku bylo přijato řešení se zapuštěním povrchu kolejového lože o 4 cm pod povrch pražců mezi kolejnicemi i vně kolejnic po okraj pražců.

V **/DE/** bylo na základě výzkumu a praktických zkoušek přijato a do předpisů zaneseno řešení se snížením povrchu kolejového lože o 4–6 cm pro rychlost nad 140 km/h, a to v širé trati a tunelech do 120 m mezi kolejnicemi a v dlouhých tunelech i vně kolejnic až po okraj pražců.

Ve **/FR/** byl výskyt tohoto jevu zaznamenáván v nižší míře ovlivněné dosud prakticky výhradním použitím dvoublokových pražců i designem spodní části vozidel. Přesto byla zkoumána různá řešení a zkoušeno snížení povrchu kolejového lože. V kombinaci s krátkými a lehkými pražci to vedlo k rychlejšímu rozpadu GPK a potřebě častějšího podbíjení. Na posledních stavbách pro rychlost 350 km/h se prosazují monoblokové pražce v některých případech se zkoseným povrchem ve střední části a kolejové lože je standardně zřízeno až po povrch pražců.

Společnosti ze skupiny Colas vyvinuly materiál Aqua-Rail pro slepení svrchní vrstvy kolejového lože, který kromě dalších využití (dočasná stabilizace lože, využití v přechodových oblastech) má sloužit i k omezení nebo eliminaci jevu odlétávajícího štěrku. Materiál na bázi minerálního pojiva s organickými přísadami se nanáší postřikem a nemá významným způsobem ovlivnit vlastnosti kameniva ani po opakovaném nanášení, stejně jako nemá omezit možnosti podbíjení. Materiál byl dosud zkoušen mimo hlavní tratě, SNCF ale chystá provedení zkušebního úseku na VRT v délce několika kilometrů. Předpokládá se použití v množství 0,7 l/m<sup>2</sup> a rychlost nanášení až 1,5 km/h, která by umožnila při širším nasazení zakomponování do řady strojů pro úpravu GPK.

Při praktických zkouškách až do rychlosti 360 km/h byl zjištěn mírný nárůst výskytu odlétávajícího štěrku [38], který byl ale mnohem menší, než u vlaků projíždějících rychlostí 300 km/h záhy po podbíjení, kdy se ještě nacházejí samostatná zrna kameniva na povrchu pražců.



Obrázek 22: /FR/: Povrch kolejového lože a pražců na druhé části trati LGV est européenne.

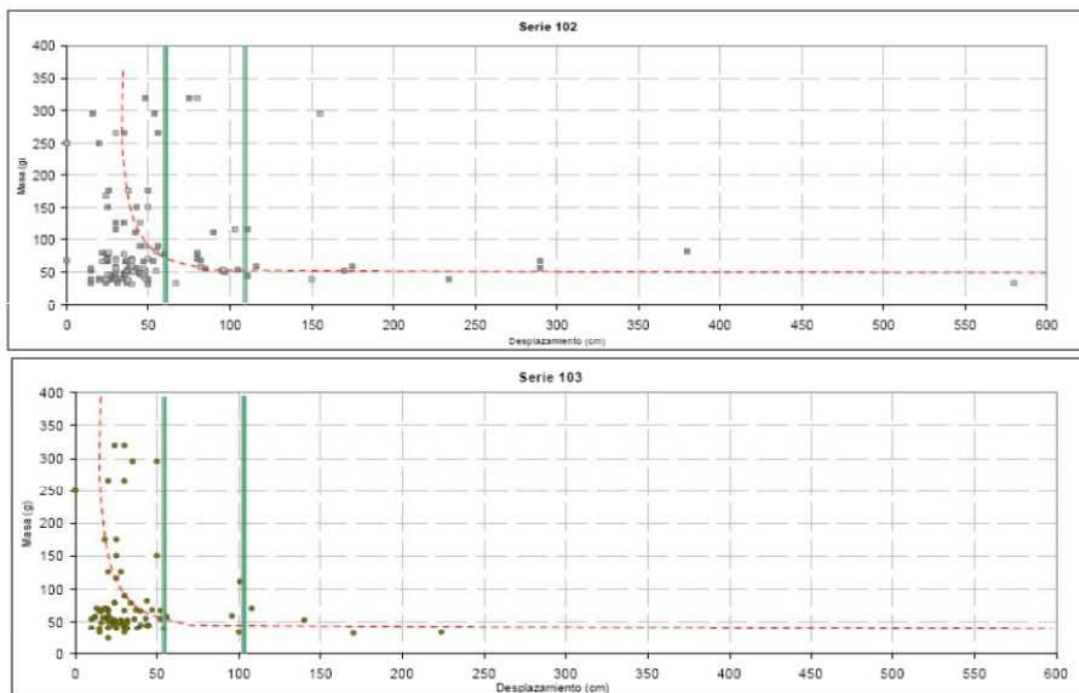


Obrázek 23: /FR/: Provádění postřiku materiálem Aqua-Rail (zdroj: Colas).

V /ES/ byl prováděn rozsáhlý teoretický i praktický výzkum, zkoušely se různé tvary kolejového lože, pražců a průjezdy různých vozidel za různých rychlostí. Výsledkem bylo doporučení provádět povrch kolejového lože mezi kolejnicemi snížený o 4 cm, což má omezit aerodynamický tlak na povrch lože a omezit posun zrn kameniva na prostor mezi jednotlivými pražci. Snížení má být prováděno i pod kolejnicemi, což vede k poklesu aerodynamického tlaku v kritickém prostoru mezi kolejnicemi, kdy stlačený vzduch může lépe unikat právě pod patami kolejnic. Dále byl vyvinut nový pražec Aerotraviesa (viz kap. 3.2.2) se zaobleným povrchem ve střední části, který má dle správce snížit tlak vzduchu na



povrchu kolejového lože o 21 % a umožnit tak bezproblémový provoz vlaků při rychlosti vyšší o 12 %. Ten však zatím nebyl ve větším měřítku využit, patentován byl teprve v roce 2014.



Obrázek 24: Grafy znázorňují posuny zrn kameniva po třech průjezdech vlaků rychlostí mezi 290 a 300 km/h; na vodorovné ose je vzdálenost (cm), na svislé hmotnost zrn (g). Na horním grafu byl pokus proveden s jednotkou řady 102 RENFE, na spodním řady 103 RENFE (Zdroj: ADIF).

V /IT/ byla tato problematika řešena po zahájení provozu rychlostí 300 km/h jednotkami ETR 500 a následně bylo přijato řešení v podobě snížení povrchu kolejového lože mezi kolejnicemi i vně kolejnic až po okraj pražců o cca 3 cm. V poslední době jsou používány pražce se zkosenými horními hranami.



Obrázek 25: Snížený povrch kolejové lože v /IT/.

V Japonsku sice převládá využití PJD, ale v úsecích s kolejovým ložem jsou již delší dobu používány plastové rohože, v poslední době plastové sítě, kterými je zakryt celý povrch kolejového lože mezi pražci a v úzkém pruhu též vně pražců. Toto řešení poskytuje 100% efekt, ale vyžaduje velmi pracnou demontáž a montáž prvků při podbíjení koleje. Prakticky je tedy použitelné jenom na krátké úseky, kde PJD nemůže být z různých důvodů navržena.



Obrázek 26: Plastové síť na povrchu kolejového lože v Japonsku (zdroj [37]).

### 3.3 PEVNÁ JÍZDNÍ DRÁHA

Problematika chování kolejového lože při provozu vysokorychlostních vlaků popsaná v předchozí kapitole vede všechny správce (investory) VRT k úvahám o použití pevné jízdní dráhy (PJD). V poslední době se PJD prosazuje především v /DE/ a dále v Číně a v Japonsku, kde je shodně používána na VRT prakticky globálně. V ostatních zemích je většinou používána na VRT v dlouhých a městských tunelech.

Tabulka: Použití PJD na VRT

Země	Případy			
	Městské tunely	Dlouhé tunely	Širá trať	Mosty
/AT/	•	•		
/DE/	•	•	•	•
/FR/				
/ES/	•	•		
/IT/	•			
Japonsko	•	•	•	•
Čína	•	•	•	•

Ačkoliv existuje celá řada typů PJD, v praktickém nasazení na již provozovaných VRT je ve větším měřítku pouze několik málo typů:

- **Rheda 2000** a starší varianty; monolitická desková konstrukce s prefabrikovanými pražci, rozšířená v /DE/, Číně, Nizozemsku i jinde,
- **Züblin**; monolitická desková konstrukce s prefabrikovanými pražci zavibrovanými do čerstvého betonu, rozšířená v /DE/ a Číně,
- **J-Slab (Shinkansen)**; prefabrikovaná desková konstrukce s uzly upevnění, uložená na betonovém podkladu a injektovaná živično-cementovou maltou, rozšířená v Japonsku a na Tchaj-wanu,
- **Bögl**; prefabrikovaná desková konstrukce s uzly upevnění, uložená na betonovém podkladu a injektovaná živično-cementovou maltou, rozšířená v /DE/ a Číně,
- **ÖBB-Porr** (též Slab Track Austria); prefabrikovaná desková konstrukce s uzly upevnění, uložená s pružnou vrstvou na betonovém podkladu a injektovaná živično-cementovou maltou, rozšířená v /AT/ a /DE/.

Systémy Rheda a Bögl jsou používány též pro výhybky.

Převážně tuhá betonová konstrukce PJD nezajišťuje dostatečnou pružnost jako kolejové lože, proto je obvykle používání upevnění s menší statickou tuhostí. Až na výjimky v některých asijských zemích na PJD na VRT dominuje upevnění typové řady 300 skupiny Vossloh se statickou sečnou tuhostí podloček pod patou kolejnice již od 17 kN/mm.

Základní informace o výše uvedených typech PJD jsou běžně dostupné, proto nejsou v textu rozepsány podrobněji.

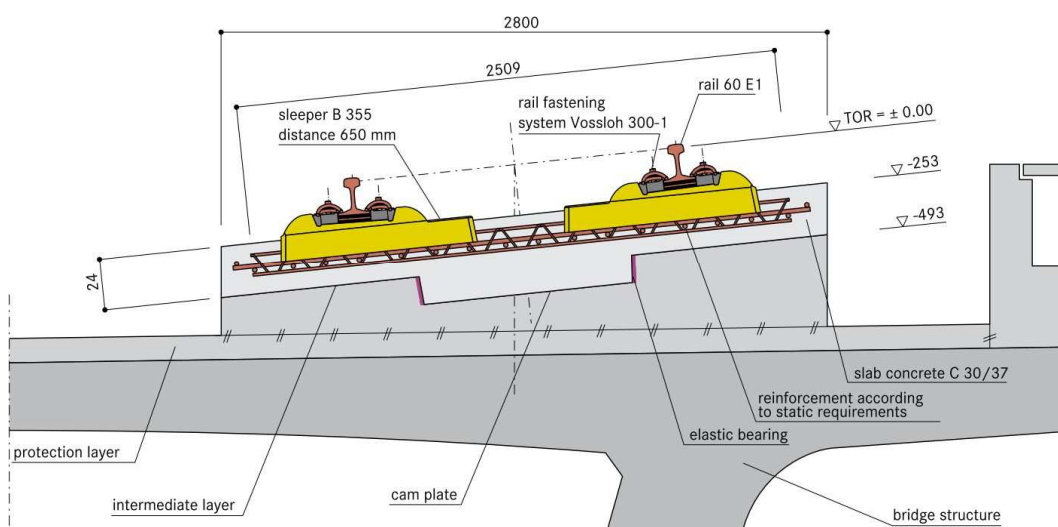
Konstrukce PJD zaručuje při správném provedení vyšší a prakticky trvalou stabilitu polohy i výšky koleje. Například dle měření na VRT v /DE/ byly dosahovány následující střední indexy odchylek výškové polohy koleje (měřených v intervalu 250 m) [54]:

- 2,05 na VRT Hannover – Würzburg (06/1998; 320 km; šterk),
- 1,64 na VRT Hannover – Würzburg (05/2000; 320 km; šterk),
- 1,32 na VRT Mannheim – Stuttgart (03/2004; 34 km; šterk),
- 1,14 na VRT Köln – Rhein/Main (2004; 11 km; šterk),
- 0,86 na VRT Mannheim – Stuttgart (03/2004; 34 km; šterk),
- 0,63 na VRT Köln – Rhein/Main (2004; 141 km; PJD).

Na poslední z uvedených tratí byla měřeními po zahájení provozu i v následujících letech zjištěna trvalá stabilita směrové polohy koleje na PJD a problémy s rozvíjejícím se poklesem jízdní dráhy (v řádu do 1 cm) byly zaznamenány na dvou krátkých místech z délky 141 km.

Speciální řešení si PJD vyžaduje na mostech a při přechodech z mostů na těleso. U delších mostů je nezbytností zamezení spolupůsobení konstrukce PJD s nosnou konstrukcí mostu. Standardním řešením v /DE/ je rozdělení konstrukce příčnými mezerami a fixace jednotlivých dílů v příčném i podélném směru ozuby na deskách nebo podkladních vrstvách. Dalším problémem je přenos podélných sil způsobených teplotními změnami i průhyby mostní konstrukce do kolejnic. Na PJD sice může být povoleno vyšší osově namáhání kolejnic v tlaku i tahu s ohledem na vysokou stabilitu koleje, ale absentuje kolejové lože, které umožnilo dílčí podélné posuny mezi nosnou konstrukcí a kolejnicemi. Proto jsou povolené dilatující délky nosných konstrukcí stejné nebo menší než u klasické koleje (viz kap. 3.4.4) a současně jsou používána na mostech a v okolí upevňovadla se sníženou svěrnou silou. Další problém vzniká při potočení nebo výškovém rozdílu (při vodorovné dilataci mostu vůči koleji v nenulovém podélném sklonu) mezi nosnou konstrukcí mostu a přilehlým terénem či další nosnou konstrukcí. PJD nemá možnost reagovat jako kolej v kolejovém loži a veškeré namáhání je přenášeno na okolní upevňovadla. V tomto případě jsou buď používána speciální upevňovadla, nebo kompenzační desky rozkládající potočení na polovinu.

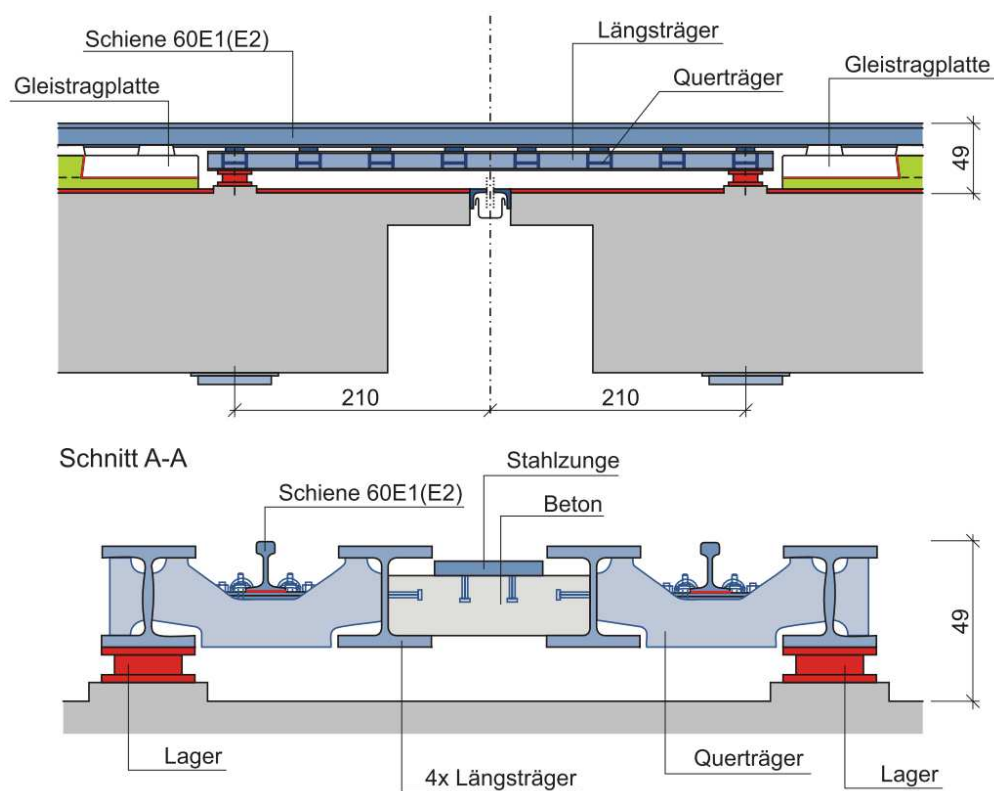




Obrázek 27: Jedno z řešení fixace konstrukce PJD na mostní konstrukci (zdroj RHEDA).



Obrázek 28: /DE/: Konstrukce PJD ÖBB-Porr na mostě na trati NBS Ebensfeld – Erfurt .



Obrázek 29: Přechod mezi nosnými konstrukcemi mostu s kompenzační deskou (zdroj: ÖBB-Porr).



Obrázek 30: /DE/: Úprava PJD nad mostním závěrem u pevného ložiska se speciálními upevňovacími.

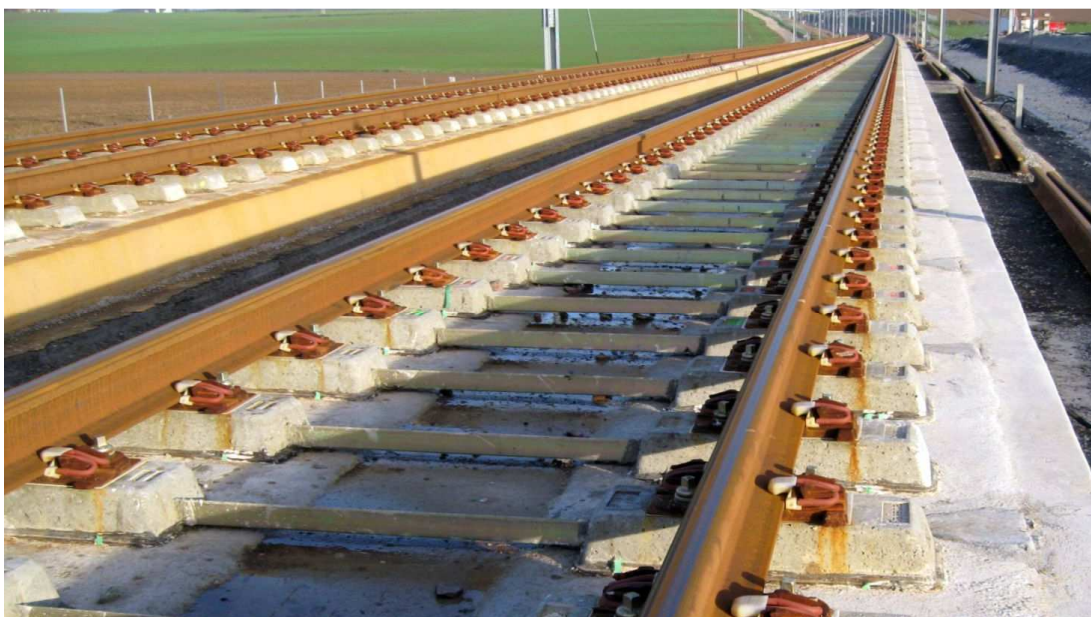
V /ES/ je tradičně používána lehčí konstrukce PJD na koleje ve stanicích pojižděné nízkými rychlostmi kvůli jejich snadnému čištění a malé konstrukční výšce.



Ve **/FR/** byla vyvinuta monolitická konstrukce PJD s dvoublokovými pražci (na bázi systému STEDEF) zabetonovanými v pryžových botkách do finišerem profilovaného koryta. Tato konstrukce byla zkušebně vložena na trati LGV Est européenne zprovozněné v roce 2007.



Obrázek 31: **/FR/**: Zkušební úsek s PJD na trati LGV Est européenne u obce Meaux (zdroj: SNCF).



Obrázek 32: **/FR/**: Zkušební úsek s PJD na trati LGV Est européenne u obce Meaux (zdroj: SNCF).

### 3.3.1 LINEÁRNÍ BRZDA NA PRINCIPU VÍŘIVÝCH PROUDŮ

Dalším z aspektů pro návrh konstrukce železničního svršku je případné použití lineárních brzd na principu vířivých proudů, které umožňují neadhezní provozní i nouzové brzdění bez tření a opotřebením zejména při vyšších rychlostech. Negativními aspekty tohoto systému je jednak silové působení na kolejový rošt (vzniká velká přitažlivá síla mezi brzdou a kolejnicí) a jednak významné ohřívání kolejnic, které ovlivňuje stabilitu bezstykové koleje. Tento jev je obzvláště problematický při silném provozu a následných průjezdech vlaků brzdících na stejném místě. Výše uvedené může být problematické též pro konstrukci výhybek. Provoz lineární vířivé brzdy si vyžaduje určité úpravy i na straně některých typů zabezpečovacího zařízení, resp. detekce volnosti kolejových úseků.

Lineární vířivá brzda byla v praxi použita pouze u jednotek ICE 3 (1999) určených především na sklonově náročnou trať Köln – Rhein/Main. V současnosti je v /DE/ používána vířivá brzda jako provozní kromě výše uvedené trati pouze na trati Nürnberg – Ingolstadt (PJD), zatímco na ostatních VRT a mimo /DE/ ji lze použít pouze jako rychlobrzdu nebo nouzovou brzdu, což se týká například i čerstvě dokončené trati Erfurt – Lipsko (rovněž s PJD). Na části konvenčních tratí ji nelze použít ani jako nouzovou brzdu s ohledem na konstrukci železničního svršku a vliv na zabezpečovací zařízení. Při 10minutovém intervalu 400m vlaků používajících vířivou brzdu jako provozní (každý vlak na spádu 12,5 ‰ vyvozuje brzdou sílu 127 kN z rychlosti 280 km/h) dochází k trvalému oteplení kolejnic o cca 25 K. Teoretickými výpočty i praktickými měřeními teplot bylo v /DE/ ověřeno, že při různých sestavách klasického svršku může pro zachování dostatečné bezpečnosti BK proti vybočení být povolen následující minimální interval vlaků užívajících lineární vířivou brzdu (uvažovány jsou výše popsání podmínky) [52]:

- pražce B70, upevnění W s podložkou Zw900:  $\Delta T=17\text{ K}$ ;  $t_{\min}=17\text{ min}$ ,
- pražce B70, upevnění W s podložkou Zw687a:  $\Delta T=20\text{ K}$ ;  $t_{\min}=15\text{ min}$ ,
- pražce B90, upevnění W s podložkou Zw900:  $\Delta T=23\text{ K}$ ;  $t_{\min}=12\text{ min}$ ,
- pražce B75, upevnění loarv300:  $\Delta T=28\text{ K}$ ;  $t_{\min}=8\text{ min}$ .

Kromě toho je nezbytné zesilovat svršek (těžší pražce, pražcové kotvy) v okolí delších mostů bez i s dilatačními zařízeními. Dalšími kritickými místy ve vztahu k ohřívání kolejnic je okolí výhybek a údolní části dlouhých spádů. Při zvláště vysokých atmosférických teplotách dále může být nezbytné zejména v okolí mostů snížení maximální rychlosti nebo omezení používání této brzdy. Pro PJD není minimální interval vlaků stanoven, resp. případný interval se pohybuje pod minimálním následným mezidobím určeným parametry zabezpečovacího zařízení. Dimenze součástí železničního svršku na PJD musí při zachování bezpečnosti umožnit příslušné ohřátí kolejnic o cca 33 K. Na PJD se projeví potíže v souvislosti s lineární vířivou brzdou například v prostoru pohyblivých hrotů srdcovek ve výhybkách, kde vlivem náhlého ohřátí jedné hrotové kolejnice docházelo k jejich deformacím.

Výzkumným projektem ECUC [53] bylo zjištěno, že pro případné použití vířivé brzdy ve /FR/ na stávající infrastrukturu je třeba limitovat počet vlaků používajících brzdu k provoznímu



brždění na 5–10 za hodinu a při teplotě kolejnic přes 45° C na pouhý 1 za hodinu (teplotu kolejnic by zvyšovaly právě projíždějící vlaky).

Lineární vířivá brzda je přes všechny výše uvedené komplikace považována za perspektivní možnost nouzového a zejména provozního brždění hlavně pro velmi vysoké rychlosti 300 km/h a více a tratě s velkými podélnými sklony, kde brzdový výkon vlaků může mít vliv na kapacitu infrastruktury. DB uvažovaly o systému měření teploty kolejnic, který by určoval podmínky použití této brzdy. Ve **/FR/** rovněž probíhá debata o případném využití vířivé brzdy pro vlaky další generace s rychlostí až 360 km/h, které by snížilo tlak na návrh vlaků s pohonem většího počtu náprav zajišťujícím dostatečný výkon rekuperační brzdy. Podle studií DB se v dlouhodobém horizontu pohybují náklady životního cyklu lineární vířivé brzdy (společně s kotoučovou brzdou) na méně než 50 % systému využívajícího kromě rekuperační brzdy pouze kotoučovou brzdu. Je však zřejmé, že pro plnohodnotné využití brzdy jako provozní na vlacích tvořících většinu dopravy po VRT je nutností použití pevné jízdní dráhy.

### 3.4 VÝHYBKY A DILATAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Výhybky na VRT plní stejné funkce jako na konvenční sítí, proto jejich konstrukce ve sledovaných zemích obvykle vychází z národních zvyklostí pro konstrukci výhybek. Většina odlišností v jejich konstrukci vyplývá z požadavků na:

- maximálně klidný průjezd vozidel,
- minimalizaci nutnosti údržby,
- vysokou rychlost v odbočném směru (v některých případech).
- Na vysokorychlostních tratích se vyskytují výhybky ve třech různých použitích:
- výhybky v hlavních kolejích s vysokou rychlostí v odbočné větvi (cca 130–270 km/h),
- výhybky v hlavních kolejích s malou rychlostí v odbočné větvi (cca do 130 km/h),
- výhybky ve vedlejších kolejích s rychlostí do 200 km/h v přímém směru.

Pro použití podle poslední výše uvedené položky se užívají obvykle standardní výhybky s konstrukčním uspořádáním a vybavením jako na konvenční sítí a těmto dále nebude v textu věnována pozornost.

#### 3.4.1 GEOMETRIE VÝHYBEK

V hlavních kolejích jsou navrhovány jednoduché výhybky v základním tvaru, použití křižovatkových výhybek nebo křižovatek není pro jejich složitost (ještě umocněnou požadavky pro použití na VRT) dovoleno, stejně jako nejsou dovoleny **/FR/** nebo v praxi používány v hlavních kolejích obloukové výhybky s nebo bez převýšení, které vedou ke zhoršení jízdního komfortu v hlavním směru a rychlejšímu opotřebení pohyblivých částí. Výjimkou z uvedeného textu je **/AT/**, kde jsou i na novostavbách HL tratí pro rychlost do 250 km/h používány obloukové výhybky a předpisy dovolují v hlavních kolejích též použití křižovatkových výhybek s podmínkou vybavení dvojitými i jednoduchými srdcovkami s pohyblivými hroty.

Společné pro výhybky ve sledovaných zemích je tečné uspořádání jazyka, kdy osa přímé větve výhybky je zároveň tečnou odbočné větve. Například v Číně jsou na VRT rozšířeny též výhybky s určitým odsazením tečny odbočné větve na začátku výhybky směrem dovnitř oblouku, které za cenu drobného zvětšení konstrukčního rozšíření rozchodu a úhlu mezi opornicí a přímým začátkem jazyka slibují rychlejší náběh tloušťky jazyka a tím jeho větší životnost [13].

Geometrie výhybek s malou rychlostí v odbočné větvi vychází z konstrukce výhybek obvyklých na konvenčních tratích s prostým kruhovým obloukem a v některých případech též s přímým prodloužením v srdcovkové části výhybky (viz Obrázek 33, bod A). Požadavek na zvyšování rychlostí v odbočné větvi vedl k návrhu a realizaci dalších uspořádání s různým průběhem křivosti v odbočné větvi výhybky.

Řešení se složenými obloukem se dvěma různými poloměry je rozšířeno zejména v **/DE/** (viz Obrázek 33, bod B). Výhybky s větším poloměrem ve výměnové části jsou určeny primárně pro odbočení z trati, kdy za výhybkou pokračuje oblouk a přechodnice. Výměnovou část o jednom poloměru lze výhodně unifikovat pro více typů výhybek s odlišným navazujícím poloměrem i rychlostí.

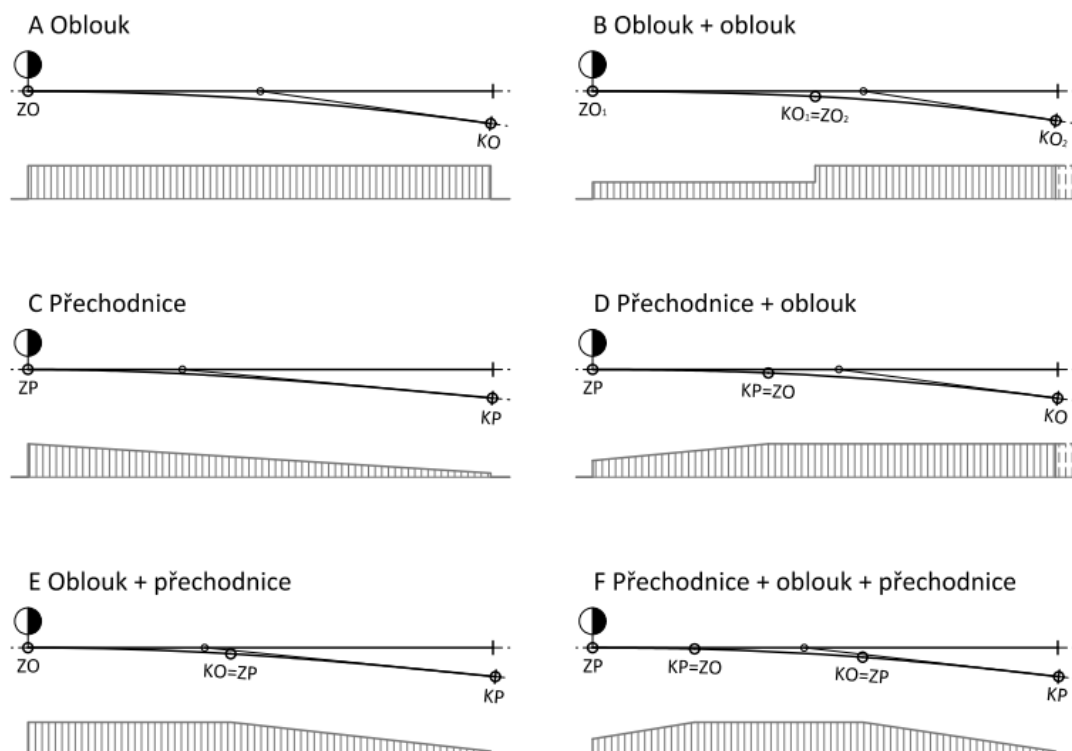
Výhybky s obloukem ve výměnové části a přechodnicí před nebo v srdcovkové části (viz Obrázek 33, bod E) sledují svým uspořádáním zkrácení komplikované výměnové části a tím i celé výhybky, snižuje se výrobní náročnost a údržbové náklady. Rozšířeny jsou především ve **/FR/**. Vhodné jsou například pro použití do kolejových spojek s mezipřímkou nebo s inflexním bodem, ale též pro odbočení do předjízdových kolejí. Výstupní přechodnice na styku s přímkou je v některých případech ukončena v nenulové křivosti, ale tak, aby náhlá změna nedostatku převýšení byla zanedbatelná a zároveň se vhodně zkrátila výhybka. Případně může přechodnice pokračovat v navazující koleji.

Odstraněním kruhového oblouku na začátku výhybky vzniká čistě přechodnicová výhybka s největší křivostí na začátku jazyka (viz Obrázek 33, bod C), která je používána v **/IT/** (jde o francouzskou provenienci). Štíhlé výhybky tohoto uspořádání mají prakticky přímou srdcovku (teoretické vzepětí na délku pohyblivé části hrotu srdcovky odbočné větve u výhybky pro 160 km/h činí 1 mm). Používány jsou i výhybky rakouské proveniencí se dvěma přechodnicemi a kruhovým obloukem (viz dále).

Nejsložitější geometrické řešení s kruhovým obloukem a oběma krajními přechodnicemi je používáno především pro výhybky s velmi vysokou rychlostí do odbočky, rozšířeno je zejména ve **/DE/**, **/ES/** a u starších výhybek též ve **/FR/**. (viz Obrázek 33, bod F). Vstupní přechodnice u výměnového styku navazuje na přímou s relativně velkou křivostí, která vychází z konstrukčních možností řešení začátku jazyka, na opačné straně výhybky je řešení obdobné s předchozími body. Toto řešení nabízí nejlepší jízdní komfort za cenu prodloužení výměnové části výhybky včetně dopadů do komplikované výroby i údržby. Shodného uspořádání je i výhybka pro rychlost 160 km/h vyvinutá v ČR.

Úpravou tohoto řešení pro případy pokračujícího oblouku za odbočnou větví výhybky vzniká výhybka se vstupní přechodnicí a navazujícím obloukem (viz Obrázek 33, bod D). Toto

řešení se používá např. v /DE/, kde je výměnová a střední část výhybky vhodně unifikována s výhybkami dle předchozího odstavce.



Obrázek 33: Tvar výhybek a průběh křivosti odbočné větve

Pro výše uvedené uspořádání výhybek byly v jednotlivých zemích specifikovány návrhové parametry GPK pro jízdu odbočnou větví, přičemž v některých případech byly povoleny pro přechodnicové výhybky hodnoty nedostatku převýšení větší než u běžných výhybek s kruhovou geometrií a náhlou změnou nedostatku převýšení. Zároveň byly definovány minimální délky směrových prvků a přechodnic ve výhybkách, které jsou navrhovány obvykle dle národních zvyklostí tvaru klotoidy nebo kubické paraboly. Literatura uvádí, že pro minimalizaci superpozice vibrací mezi jednotlivými směrovými prvky je vhodná minimální délka prvku, kterou vlak projede za 1 s (tj. cca  $0,28 \times V$ ) [13].

Tabulka: Směrové poměry v odbočné větvi výhybek

Země	Nedostatek převýšení	Náhlá změna nedost. převýš.	Časová změna nedost. převýš.	Délka směr. prvku	Poznámka
	mm	mm	mm/s	m	
/AT/	100 (1980–3×V)/14*	M <sub>100</sub> 100 M <sub>220</sub> (400–V)/3 M <sub>230</sub> 60	S 55 M 90	S <sub>100</sub> 0,25×V M <sub>100</sub> 0,15×V S <sub>230</sub> 0,30×V M <sub>230</sub> 0,20×V	* Pro klotoidické výhybky.
/DE/		S <sub>100</sub> 87 M <sub>100</sub> 107 *S <sub>200</sub> 48 *M <sub>200</sub> 68	M 69		* Mezi 100 a 200 km/h lineárně
/FR/	S <sub>70</sub> 120 S <sub>170</sub> 105 S <sub>230</sub> 80		S 75 M 90	S 0,5×V* M 0,5×V 40 m**	* Do 220 km/h lze i V/3. ** Min. délka přechodnice.
/ES/		S <sub>115</sub> 100 S <sub>220</sub> 133–0,33×V S <sub>230</sub> 60	M <sub>200</sub> 80 M <sub>230</sub> 75	S <sub>70</sub> 0,20×V M <sub>70</sub> 0,10×V S <sub>100</sub> 0,25×V M <sub>100</sub> 0,15×V S <sub>230</sub> 0,30×V M <sub>230</sub> 0,20×V	
/IT/	S <sub>???</sub> 107 S <sub>???</sub> 100		S 38 M 92	S 0,33×V M 0,20×V	
Požadavky používané v ČR na konvenčních tratích					
/CZ/	S <sub>200</sub> 100* M <sub>160</sub> 130* M <sub>200</sub> 120* S <sub>300</sub> 60	S <sub>100</sub> 80 M <sub>100</sub> 100 S <sub>170</sub> 60 M <sub>120</sub> 95 S <sub>230</sub> 50 M <sub>230</sub> 80	S 28 M <sub>160</sub> 69** M <sub>300</sub> 46	S <sub>120</sub> 0,25×V M <sub>120</sub> 0,20×V S <sub>160</sub> 0,30×V M <sub>160</sub> 0,25×V	* Pro odboční mimo hlavní kolej max. l=100 mm ** U krátkých přech. možné vyšší hodnoty.

S<sub>xxx</sub> = standardní hodnota pro rychlost xxx km/h nebo menší

M<sub>xxx</sub> = mezní / maximální hodnota pro rychlost xxx km/h nebo menší

Dle národních zvyklostí je v některých zemích povoleno umístění výhybek do výškových oblouků velkých poloměrů, v jiných zemích je naopak dovoleno výhybky situovat pouze do konstantního podélného sklonu.

Tabulka: Zaoblení lomů sklonu ve výhybkách na VRT

Země	Poloměr zaoblení lomu sklonu		Poznámka
	Vypuklý	Vydatý	
/AT/	10 000 m	5 000 m	Současně dle kap. 2.3.1 (pro 250 km/h min. 12 700 m)
/DE/		2 000 m	Současně dle kap. 2.3.2; pouze výjimečně
/FR/		-	Lomy sklonů ve výhybkách vyloučeny
/ES/		2 000 m	Současně dle kap. 2.3.4; pouze výjimečně
/IT/		-	Lomy sklonů ve výhybkách vyloučeny
<i>Požadavky používané v ČR na konvenčních tratích</i>			
/CZ/	5 000 m	3 000 m	Platí též požadavky dle rychlosti.

Následující tabulka shrnuje používané výhybky ve sledovaných zemích, převážně jsou uváděny konstrukce používané v poslední době, některé starší jenom pro porovnání. Uváděny jsou pouze typy, používané v hlavních kolejích a určené pro pojezd plnou traťovou rychlostí 250 km/h nebo více.

Tabulka: Výhybky používané v hlavních kolejích VRT

Označení výhybky	Rychlost v odb. větvi	Geometrie výhybky	Srdcovka	Odbočný úhel	Délka konstrukce	Výrobce
	km/h	m		g	m	
<b>/AT/</b>						
EW-10000/4000-1:32,05	160	$P_k 10000/4000 + R 4000$	R	1,986	136	VA
EW-2600/1600-1:24	120	$P_k 2600/1600 + R 1600 + P_k 1600/2600$	$P_k$	2,651	83	VA
EW-1200-1:18,5	100	$R 1200 + \infty$	R	3,437	67	VA
EW-500-1:12	60	$R 500 + \infty$	R	5,293	42	VA
<b>/DE/</b>						
EW-16000/6100/ $\infty$ (1:47,65)	220	$P_k 16000/6100 + R 6100 + P_k 6100/\infty$	$P_k$	1,336	177	BW
EW-16000/6100-1:40,154		$P_k 16000/6100 + R 6100$	R	1,585	165	BW
EW-7000/6000-1:42	200	$R 7000 + R 6000$	R	1,515	154	BW
EW-10000/4000/ $\infty$ (1:39,1131)	160	$P_k 10000/4000 + R 4000 + P_k 4000/\infty$	$P_k$	1,628	137	BW

EW-10000/4000-1:32,05		$P_k 10000/4000 + R 4000$	R	1,986	136	BW
EW-6000/3700-1:32,5		$R 6000 + R 3700$	R	1,958	122	BW
EW-4800/2450/ $\infty$ (1:30,6846)	130	$P_k 4800/2450 + R 2450 + P_k 2450/\infty$	$P_k$	2,074	111	BW
EW-4800/2450-1:24,257		$P_k 4800/2450 + R 2450$	R	2,623	111	BW
EW-2500-1:26,5		$R 2500 + \infty$	R	2,401	94	BW
EW-3000/1500/ $\infty$ (1:23,7347)	100	$P_k 3000/1500 + R 1500 + P_k 1500/\infty$	$P_k$	2,681	86	BW
EW-3000/1500-1:18,132		$P_k 3000/1500 + R 1500$	R	3,437	89	BW
EW-1200-1:18,5		R 1200	R	3,437	65	BW
EW-760-1:14	80	R 760	R	4,539	54	BW
EW-760-1:18,5		$R 760 + \infty$	$\infty$	3,437	55	BW
EW-500-1:14	60	$R 500 + \infty$	$\infty$	4,539	45	BW

/FR/

Tg 1/65 (2002)	230	$R 7350 + P_p 7350 / \infty$	$P_p$	1,032	195	CG
Tg 1/65 (1990)	220	$P_p ?/6720 + R 6720 + P_p 6720/\infty$	$P_p$	1,032	226	
Tg 1/46 (2002)	170	$R 3350 + P_p 3350 / \infty$	$P_p$	1,459	138	CG
Tg 1/46 (1990)	170	$P_p ?/3000 + R 3000 + P_p 3000/\infty$	$P_p$	1,459	160	
Tg 1/29	140	R 3000	R	2,140	103	CG
Tg 1/15,3	80	R 820 + přímá	R	4,155	57	CG

/ES/

AV-17000/7300-1:50	220	$P_k 17000/7300 + R 7300 + P_k 7300/\infty$	$P_k$	1,273	208	BW
AV-17000/7300-1:48,4				1,315	207	AM
AV-17340/7550-1:52		$P_k 17340/7550 + R 7550 + P_k 7550/\infty$	$P_k$	1,102		FR
AV-14680/7470-1:47,4		$P_k 14680/8000 + P_k 8000/7470 + R 7470 + P_k 7470/8000 + P_k 8000/\infty$	$P_k$	1,343	200	AM
AV-10000/4000-1:36,9	160	$P_k 10000/4000 + R 4000 + P_k 4000/\infty$	$P_k$	1,725	151	AM, ?
AV-10000/4000-1:38,5		$P_k 10000/4000 + R 4000 + P_k 4000/\infty$	$P_k$	1,655	146	TA
AV-8000/3950-1:31,5		$P_k 8000/4000 + P_k 4000/3950 + R 3950 + P_k 3950/4000 + P_k 4000/\infty$	$P_k$	2,020	140	AM
AV-3000/1500-1:22	100	$P_k 3000/1500 + R 1500 + P_k 1500/\infty$	$P_k$	2,891	92	AM
AV-760-1:14	80	R 760	R	4,539	54	TA, ?

/IT/

6000-∞/0,015	220	$P_p$ 6000 / ∞	$P_p$	0,955	180	CG
3000-∞/0,022	160	$P_p$ 3000 / ∞	$P_p$	1,400	132	CG
3000-∞/0,026		$P_k$ 7500/3000 + R 3000 + $P_k$ 3000/15000	$P_k$	1,654		VA
1200/0,040	100	R 1200 + ∞	∞	2,545	74	CG,VA
400/0,074	60	R 406 + ∞	∞	4,702	39	CG,VA

*Výhybky používané a připravované v ČR na konvenčních tratích*

J-1:33,5-8000/4000/∞	160	$P_k$ 8000/4000 + R 4000 + $P_k$ 4000/∞(14000)	$P_k$	1,642	132	DT
J-1:26,5-2500	130	R 2500	R	2,401	94	DT

AM = amurrio ferrocarril y equipos, s.a.

BW = Voestalpine BWG GmbH

CG = Vossloh Cogifer

DT = DT - Výhybkárna a strojárna, a.s.

FR = Felguera Raíl s.a.

TA = Talleres Alegría, s.a.

VA = Voestalpine Weichensysteme GmbH

Ve **/FR/** je u dlouhých výhybek zřejmý v jejich třetí generaci odklon od uspořádání s oběma krajními přechodnicemi k uspořádání s mírně větším poloměrem a pouze výstupní přechodnicí na konci výhybky. V minulosti byla vyvinuta výhybka pro rychlost v odbočné větvi 270 km/h, není ovšem používána.

V **/DE/** existují pro výhybky s výstupní přechodnicí též varianty s pokračujícím obloukem ze střední části výhybky. Ve výhybkách pro rychlost 220 km/h v odbočné větvi je v praxi rychlost omezena na 200 km/h. Na posledních stavbách jsou používány především výhybky s poměrem 1:12, 1:18,5, 1:26,5 a 1:32,5, tedy konstrukce s kruhovými oblouky.

V některých zemích byl prověřován návrh výhybek s malým převýšením v odbočné větvi (cca do 15 mm), který měl přinést mírné zlepšení jízdního komfortu a snížení opotřebení. Malé převýšení by nemělo ambice na zvýšení rychlosti v odbočné větvi. Realizace převýšení ale naráží na četné technické komplikace v prostoru výměny a zejména srdcovky a tudíž se toto uspořádání nerozšířilo.

Jeden ze španělských výrobců amurrio ferrocarril y equipos, s.a. vyvinul geometrii klotoidických výhybek, u nichž mezi krajní klotoidy a kruhový oblouk vkládá ještě jednu krátkou klotoidu s výrazně větším parametrem. Za cenu strmějších krajních přechodnic a kratšího kruhového oblouku tak umožňuje zkrátit výhybky. Například výhybku pro rychlost 160 km/h v odbočné větvi z výše uvedené tabulky nahrazuje geometrií  $P_k$  8000/4000 +  $P_k$  4000/3950 + R 3950 +  $P_k$  3950/4000 +  $P_k$  4000/∞ o délce 140 m (tedy o 11 m méně).

Pro použití do jednoduchých kolejových spojek (JKS) jsou obvyklá uspořádání s mezipřímou u výhybek s kruhovou geometrií, resp. s inflexním bodem nebo mezipřímou u výhybek s výstupní přechodnicí. Řešení s mezipřímou je běžné například v **/DE/**, kde výstupní přechodnice končí na koncovém styku výhybky (EW-10000/4000/∞, EW-4800/2450/∞ EW-

3000/1500/∞) ve vzdálenosti od přímé větve výhybky 1,9–2,2 m. Použito je i v /IT/, kde jsou výhybky cizí provenience a se zmenšenými odbočnými úhly používány ve velké osově vzdálenosti. Toto řešení umožňuje používat JKS v typických osových vzdálenostech bez dalších komplikací. Uspořádání s inflexním bodem je běžné v zemích, kde jsou rozšířeny kolejové spojky pro vyšší rychlosti (/FR/, /ES/ a /IT/) než 130 km/h. Geometrie výhybek je navržen pro dosažení inflexního bodu v polovině standardní osově vzdálenosti.

Konstrukční řešení JKS zejména v prostoru společných prvků při osových vzdálenostech hlavních kolejí pod 4,70 m obvykle vyžaduje striktní dodržení osově vzdálenosti hlavních kolejí, což je ve sledovaných zemích běžnou praxí. Spojky v typických osových vzdálenostech jsou zcela ojedinělé, převážně se nacházejí v blízkosti jednokolejných tunelů či mostů a mají dlouhé mezipřímé. Podrobnosti o úpravách geometrie klotoidických JKS při drobných změnách osově vzdálenosti nebyly ve sledovaných zemích dostupné.

---

### 3.4.2 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ

---

#### ROZCHOD A ÚKLON KOLEJNIC

---

Ve všech sledovaných zemích jsou dosud produkovány výhybky o návrhovém rozchodu 1 435 mm s výjimkou /AT/, kde již v posledních letech probíhá výroba výhybek o návrhovém rozchodu 1 437 mm shodně s požadavky [1].

Ve výhybkách pro VRT je ve všech sledovaných zemích zajištěn shodný úklon hlavních kolejnic jako v návazující koleji před i za výhybkou. Přínosem tohoto řešení je klidnější chod vozidel přes výhybku a v důsledku snížení příčných sil a snížení opotřebení výhybky. Novostavbách VRT je úklon kolejnic standardem již dlouhou dobu, v /AT/ je ve výhybkách pro HL trati (tj. do rychlosti 200–250 km/h) používán od roku 2007. Mimo srdcovku a jazyky je úklon dosažen uložením kolejnic (opornic) přímo v úklonu a přizpůsobené podkladnice (výjimečně též bezpodkladnicově a prázec s úložnou plochou v úklonu nebo a speciální podložku). Pro jazyky je používán speciální profil, který rovněž zajišťuje tvrdé pojezdové plochy odpovídající standardnímu úklonu kolejnic. Řešení se svislým uložením kolejnic a opornic a strojním oprávcováním hlavně se ve VRT v současnosti nepoužívá s výjimkou srdcovkových kolejnic.





Obrázek 34: /FR/: Podkladnice tvořící úklon 1:20 na trati LGV Tours – Bordeaux (Zdroj:LISEA).

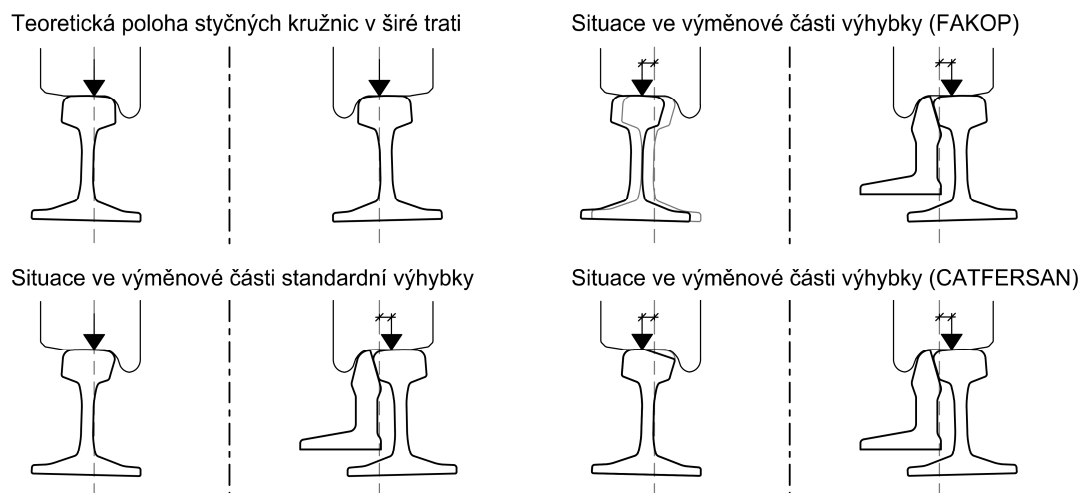
#### MATERIÁL KOLEJNIC

Kolejnice ve výhybkách jsou na konvenčních tratích standardně používány shodné třídy jako v přilehlých úsecích, tedy R260. V /AT/ jsou v posledních letech dodávány na HL tratě do hlavních kolejí výhybky s materiálem kolejnic R350HT použitým pro celou výhybku včetně jazyků a hrotů pohyblivých srdcovek. Shodný materiál je použit i v /DE/. Ve /FR/ je odlišný materiál použit pro monolitický rám srdcovky, který je tvořen manganovou ocelí zpevněnou na tvrdost 350 až 450 HB. V /ES/ a /IT/ je na VRT standardem použití vyšší třídy oceli (R350HT) pro výměnu a srdcovku všech výhybek.

#### VÝMĚNOVÁ ČÁST

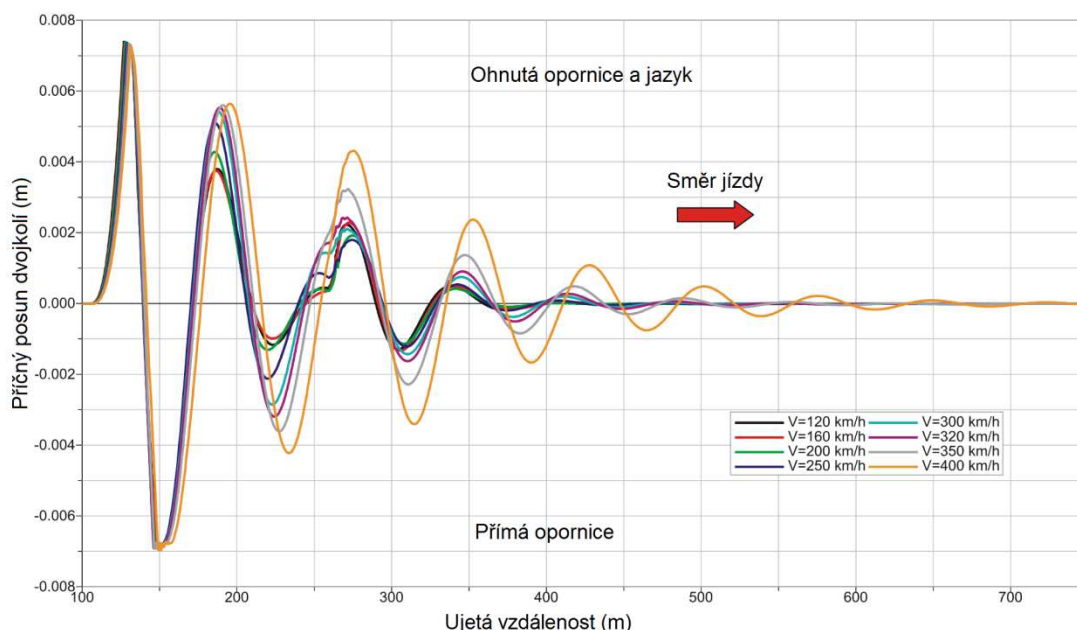
Ve většině sledovaných zemí jsou používána ve výměnové části výhybek opatření pro minimalizaci vzniku příčných sil a posunů vozidel při průjezdu, k nimž dochází vlivem posunu kontaktní plochy kolo-kolejnice na ohnuté opornici. Logika obou používaných systémů spočívá v takové úpravě přímé opornice, která zajistí podobnou polohu kontaktní plochy jako na ohnuté opornici, minimalizuje tak příčnou reakci dvojkolí a neomezí plynulý sinusový pohyb. Tohoto cíle je dosaženo:

- vyosením přímé opornice vně koleje u německého systému **FAKOP** (Fahrkinematische Optimierung; též KGO neboli Kinematic Gauge Optimization) o 15 mm s krátkým náběhem na začátku výhybky a delším výběhem směrem ke konci výhybky,
- opracováním hlavy kolejnice u španělského systému **CATFERSAN**.



Obrázek 35: Funkce systémů FAKOP a CATFERSAN.

Oba systémy dle teoretických modelů i praktických pozorování zajistí snížení příčných posunů dvojkolí vyvolaných průjezdem vlaku přes výměnovou část výhybky v přímém směru z cca 7 na 2–3 mm bez ohledu na směr i rychlost průjezdu. Význam uvedené konstrukční úpravy se zvyšuje s rostoucí rychlostí průjezdu vlaků (zejména nad 300 km/h), protože za tímto místem dochází k pomalejšímu poklesu amplitudy příčných pohybů [16]. Výše uvedené má dopad na vyšší jízdní komfort, stabilitu GPK a nižší opotřebení opornic a zejména jazyků, což vede v důsledku k omezení potřeby údržby a zvýšení životnosti celého systému. U systému FAKOP je výhodou též silnější jazyk, zajišťující vyšší stabilitu a odolnost proti opotřebení. Systém FAKOP je standardem pro všechny výhybky v hlavních kolejích VRT v /DE/ a /ES/ a štíhlé výhybky pro rychlost do odbočky 120 km/h a více v /AT/. Dodáván je rovněž do /IT/. Systém CATFERSAN byl použit na některých tratích ve Španělsku. Na toto téma bylo zpracováno více studií [17], které přicházejí s obdobnými návrhy jako výše uvedené systémy, mírně se lišícími podle vstupů (například přítomnost nákladní dopravy). Podobný systém je používán též na konvenčních tratích v Severní Americe.



Obrázek 36: Simulace průjezdu vlaku výhybkou se standardním konstrukčním uspořádáním.

Další technologie jako TOZ (Tragfähigkeits-Optimierte-Zungengeometrie) společnosti voestalpine VAE GmbH se snaží o minimalizaci konstrukčního rozšíření rozchodu společně s rychlejším nárůstem tloušťky jazyka prostřednictvím většího opracování opornice v blízkosti začátku jazyka. Tato technologie se používá na většině výhybek pro HL tratě v /AT/ s hlavním cílem v podobě prodloužení životnosti jazyka. Podobné řešení používá i technologie WITEC. Konstrukční úpravy ve výměnové části výhybek sledující zvětšení tloušťky jazyka se provádí nebo prověřují i v dalších zemích včetně /CZ/.

Shodným požadavkem ve všech sledovaných zemích je odstranění potřeby mazání kluzných stoliček výhybek současně s jejich ochranou proti korozi a vysokou životností. Prosazují se slitiny niklu a chromu, povrchy z fosforového bronzu (CuSn8) a grafitové či molybdenové povlaky. Ve všech sledovaných zemích se používají válečky integrované do kluzných stoliček, které nezabírají místo v mezipražcových prostorech a odpadá nevhodné ohybové namáhání jejich konstrukce. Toto řešení je vyvíjeno i v /CZ/. Testuje se použití syntetických materiálů pro válečky, které má zvýšit jejich životnost a omezit opotřebení jazyků.

#### SRDCOVKOVÁ ČÁST

Na VRT jsou standardně používány výhybky s nepřerušenou pojižděnou hranou, které je z několika ve světě existujících řešení dosaženo vždy pohyblivým hrotem srdcovky – ostatní řešení jako pohyblivé křídlové kolejnice nebo pohyblivá srdcovka nejsou na VRT používána. Pohyblivý hrot srdcovky je buď montovaný z profilů hrotových kolejnic, nebo odlévaný a svařený s oběma hrotovými kolejnicemi. Hrotové kolejnice jsou opracovány pro snížení přestavného odporu a v přímém směru obvykle přivařeny ke kolejnici. V odbočném směru je krátká hrotová kolejnice obvykle na konci srdcovky přerušena malou dilatací pro snížení příčné tuhosti přestavované srdcovky. U některých štíhlých výhybek je navzdory potřebě

větších přestavných sil používáno řešení bez dilatace. Srdcovka má tři základní konstrukční uspořádání:

- s dlouhými křídlovými kolejnicemi, jejichž prostřednictvím jsou přenášeny podélné síly od bezстыkové koleje; toto řešení vykazuje vyšší spotřebu oceli a žádá komplikovaný tvar křídlových kolejnic, naopak dosahuje vysoké příčné stability,
- se svařovaným nebo odlévaným rámem, který funkčně nahrazuje dlouhé křídlové kolejnice,
- s krátkými křídlovými kolejnicemi, kdy jsou podélné síly od BK přenášeny prostřednictvím upevnění na pražce; u tohoto řešení jsou v praxi dosahovány vyšší dilatační pohyby hrotových kolejnic a používá se pouze v Japonsku.

V jednotlivých zemích se liší zvyklosti v rozsahu použití přídržnic, někdy jsou používány dokonce jen pro ochranu a omezení opotřebení hrotu jazyka v odbočné větvi.

V /AT/ jsou výhybky s pevnou srdcovkou pojížděny rychlostí do rychlosti 200 km/h, nové se na HL tratích dodávají standardně s pohyblivým hrotem srdcovky již pro rychlosti nad 160 km/h v přímé větvi. Hlavní přínosy srdcovek s pohyblivým hrotem jsou spatřovány v odstranění přerušení pojížděné hrany a přídržnic, omezení hlukového zatížení a emitovaných vibrací při průjezdu vlaků srdcovkovou částí výhybky, prodloužení životnosti srdcovky a zamezení nadměrného opotřebení kolejového lože pod srdcovkou. Konstrukce srdcovek s pohyblivým hrotem je obvykle s krátkými křídlovými kolejnicemi, svařovaným rámem a montovaným hrotem srdcovky. Přídržnice nejsou montovány.



Obrázek 37: /AT/: Srdcovka s pohyblivým hrotem na trati Koralmbahn (zdroj: ÖBB).

V /DE/ jsou pohyblivé hroty srdcovek předepsány pro rychlosti nad 230 km/h v přímém směru [30]. Používají se konstrukce s dlouhými křídlovými kolejnicemi a odlévaným hrotem srdcovky. U kratších výhybek je přerušena hrotová kolejnice v odbočné větvi, u štíhlých nejsou hrotové kolejnice přerušeny vůbec – u těchto výhybek je propojení hrotových a křídlových kolejnic pro zajištění přenosu sil od BK i přestavování velmi mohutné.



Přidržnice nejsou používány. U štíhlých výhybek s oběma hrotovými kolejnicemi svařenými byl na NBS Köln – Rhein/Main zaznamenán problém s ohříváním a následným kroucením jedné z hrotových kolejnic po opakovaném použití lineární vířivé brzdy (viz též kap. 3.3.1). V běžném provozu však tento problém nedosahuje závažných rozměrů.



Obrázek 38: /DE/: Odlévané pohyblivé hroty srdcovek s přerušenou hrotovou kolejnicí v odbočné větvi (zdroj [13]).



Obrázek 39: /DE/: Odlévané hroty srdcovek s nepřerušenými hrotovými kolejnicemi (zdroj [13]).

Ve /FR/ jsou povoleny pevné srdcovky do rychlosti 230 km/h v přímé větvi (mimo povolené hodnoty dle [1]. Na síti LGV jsou však globálně používány srdcovky s pohyblivým hrotem. Konstrukční řešení srdcovek prošlo dlouhým vývojem, v současnosti jsou dodávány převážně srdcovky s odlévaným rámem (ve tvaru dlouhých křídlových kolejnic), montovaným hrotem a přerušením hrotové kolejnice v odbočném směru. Standardně jsou na výhybky montovány přídržnice s vyměnitelným profilem.



Obrázek 40: /FR/: Dva příklady srdcovek s pohyblivým hrotem (zdroj: Vossloh Cogifer SA).

Do /ES/ byly zpočátku budování VRT dodávány výhybky francouzské a německé provenience a současní španělští výrobci vycházejí z jejich výše popsané konstrukce.



Obrázek 41: /ES/: Monolitický blok srdcovky pro výhybku s rychlostí 220 km/h v odbočném směru (zdroj: ADIF).



V /IT/ jsou s drobnými odlišnostmi používány rovněž výhybky německé a francouzské provenience.



Obrázek 42: /IT/: Srdcovky výhybky pro rychlost 160 km/h (zdroj: Italferr).

#### KOLEJNICOVÉ PODPORY

Pro výhybky v kolejovém loži jsou v drtivé většině používány předem nebo dodatečně předpjaté železobetonové pražce konstantního obdélníkového nebo lichoběžníkového profilu, obvykle se zaoblenými nebo zkosenými hranami (viz tabulku). Pražce jsou předepnuty pomocí ocelových tyčí nebo drátů, obdobně platí informace uvedené v kapitole 3.2.2. Pražce mají vodorovný povrch a jsou určeny pro položení podkladnic. Bezpodkladnicové upevnění se na VRT u výhybek prakticky nepoužívá: jednak by bylo nutné zajistit úklon úložných ploch nebo používat kolejnice se speciálním profilem hlavy a jednak by odpadla možnost vkládání pružných elementů pod podkladnice, pomocí nichž lze vhodně upravovat svislou tuhost koleje. Výjimku tvoří /AT/, kde jsou vyráběny a na hlavních tratích používány též výhybky s přímým upevněním ve středové části a na krátkých pražcích před a za výhybkou, které jsou dodávány včetně ukloněné úložné plochy.





Obrázek 43: /AT/: Výhybkový pražec pro přímé upevnění s úložnými plochami v úklonu (Zdroj: Maba Fertigteilindustrie GmbH).

Délka pražců je obvykle odstupňována pro zjednodušení výroby po 5–15 cm, v některých zemích se vyrábí pražce se specifickou délkou pro každou polohu ve výhybce (např. v /AT/).

Uspořádání pražců je obvykle vějířovité shodně jako u výhybek používaných v ČR pro konvenční tratě, pouze v Číně jsou produkovány výhybky s pražci umístěnými kolmo k ose přímé větve výhybky. Rozdělení pražců je ve všech sledovaných zemích 600 mm. Ve /FR/ se v místě izolovaných styků (v odbočné větvi výhybek nebo ve středu kolejové spojky) používají dva pražce pro podporovaný styk.

Převažuje použití dlouhých pražců shodně jako v ČR, v některých zemích jsou používány ve střední a srdcovkové části výhybek též tzv. kloubové nebo dělené pražce, které podírají standardním pražcem pouze přímou větev výhybky, zatímco ohnutá kolejnice v odbočné větvi je podepřena krátkým samostatným pražcem. Oba pražce jsou pak spojeny spojkou, která zajišťuje dodržení rozchodu, nepřenáší svislé síly a je vybavena pryžovými prvky pro omezení přenosu vibrací. Výhoda tohoto uspořádání je ve snazší dopravě jednotlivých částí výhybky na stavbu, ale zejména v chování systému vozidlo - kolej při dynamickém zatížení (průjezdu vozidla přímou větví vysokou rychlostí). V takovém případě nedochází k nerovnoměrnému zatěžování dlouhého pražce na jeho okraji, což jednak eliminuje možnost nerovnoměrného poklesu pražce v kolejovém loži a tím natočení koleje a jednak omezuje zatěžování kolejového lože pod nepojížděným koncem pražce rázy při průjezdu vlaku po vzdálenější větvi. Dále dochází k mírnému snížení tuhosti kolejového roštu. Tyto výhody jsou však vykoupeny potřebou častější a komplikovanější údržby v podobě zvýšené frekvence podbíjení, která ještě významně roste u výhybek v oblouku a převýšení. Uvedená negativa jsou příčinou jen omezeného rozšíření dělených pražců. V současnosti jsou ze sledovaných zemí ve větším měřítku používány na VRT pouze v /ES/, kde je používána technologie německé firmy voestalpine BWG GmbH. Dělené pražce jsou nezbytné u kolejových spojek v malé osové vzdálenosti.



Obrázek 44: /ES/: Výhybka s dělenými pražci (Zdroj: amurrio ferrocarril y equipos, s.a.)

Při použití roštu na PJD část výrobců používá dělené pražce se spojkami z důvodu snazší dopravy na stavbu (zejména v /DE/). V Německu byla vyvinuta též technologie s tuhým kloubovým spojením pražců (tzv. gelenkschwellen), která slouží pouze pro usnadnění dopravy, ale na VRT není používána.

Tabulka: Betonové pražce pro výhybky na VRT

Země	Název pražce / (Výrobce)	Hmot- nost*	Výška	Šířka dolní	Šířka horní	Rychlost – Hmotnost na nápravu	Třída betonu	Výztuž
		kg/bm	mm	mm	mm	km×h <sup>-1</sup> /t		
/AT/	WS220	169	220	300	300	/25,0	C 50/60	Dráty
	WS240**	180	240	302	302	/25,0	C 50/60	Dráty
/DE/	(Leo. Moll)	160	220	300	280	/25,0		
	(BWG)	160	220	300	280	/25,0		Dráty
	(Rail.One)	155	220	300		250/25,0	C 50/60	Dráty
/FR/	(Cogifer)	160	200	300	265			Tyče
/ES/								
/IT/								
Pražce používané v ČR na konvenčních tratích								
/CZ/	VPS	160	220	304	275	300/18,0	C 50/60	Tyče

\* Udávána hmotnost nevystrojeného pražce, hodnoty jsou orientační.

\*\* Pražce pro bezpodkladnicové upevnění.

Odlišné konstrukce jsou používány výjimečně. V Japonsku jsou od roku 1980 testovány a následně běžně používány syntetické pražce z materiálu FFU, tvořené pěnovým polyuretanem vyztuženým skelnými vlákny, někdy nazývaným jako „umělé dřevo“. Tyto



pražce o hmotnosti podobné dřevěným slibují oproti betonovým vyšší pružnost, redukci vibrací a hluku, snadnou zpracovatelnost a zkoušky na 30 let provozovaných pražcích prokázaly jen minimální zhoršení vlastností, které potvrzuje jejich životnost minimálně 50 let. Pro své vlastnosti jsou syntetické pražce v Japonsku používány především na výhybky (včetně VRT) a na mosty bez kolejového lože. Pražce mohou být pokládány do kolejového lože, stejně jako poslouží pro zřízení PJD. V pryžových botkách mohou být částečně zabetonovány, či pouze ustaveny do předepsané polohy nad podkladní betonovou desku a podlity pružným materiálem. Mimo Japonsko je tento typ pražců používán minimálně a zatím převážně na mostech bez kolejového lože.



Obrázek 45: Výhybka na syntetických pražcích v Japonsku (Zdroj: DAITETSU KOGYO CO.,LTD., JR GROUP)



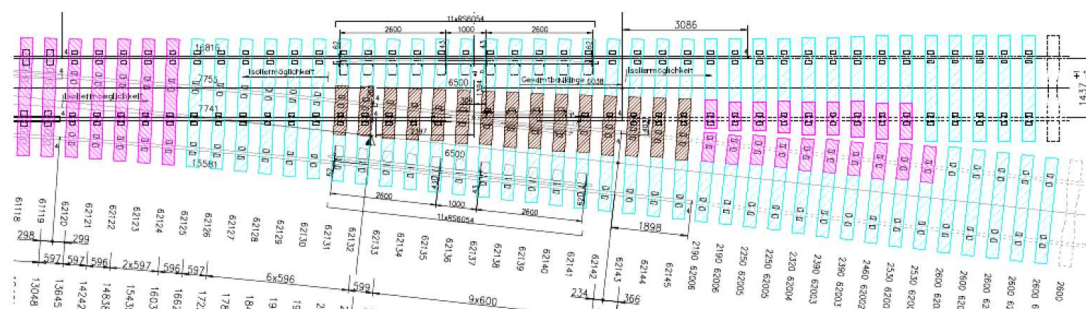
Obrázek 46: Detail uložení syntetického pražce na betonové desce (Zdroj: Web Around the KANAZAWA STATION).

Použití žlabových pražců ve výhybkách v kolejovém loži vychází opět ze zvyklostí v dané zemi. V **/AT/** a **/DE/** je použití žlabových pražců standardem (i při použití hydraulického přestavného zařízení s rozvodem v ose koleje), v **/ES/** jsou používány teprve v posledních letech, na starších VRT nejsou. Ve **/FR/** se i na posledních stavbách používají výhybky bez žlabových pražců, ačkoliv pro jiné zákazníky a mimo VRT dodává tamní výrobce například výhybky s jedním žlabovým pražcem a mechanickým rozvodem pro přestavné tyče v ose koleje nebo výhybky s betonovými žlabovými pražci u jednotlivých přestavníků. V **/IT/** se používají na VRT výhybky bez žlabových pražců.

U výhybek na PJD odpadá výhoda použití žlabových pražců v podobě usnadnění podbíjení a jejich používání je odvislé od konstrukčního uspořádání svršku. Ve většině systémů PJD je pro přestavné tyče a výhybkové závěry ponechán prostor v žb. desce nebo mezi dvěma pražci.

V **/AT/** jsou na HL tratích ve výhybkách v posledních letech na základě velmi dobrých zkušeností z testovacích úseků používány standardně podpražcové podložky, a to při pojíždění výhybek rychlostí vyšší než 160 km/h nebo při provozním zatížení přes 30 000 t denně. Při použití podložek je sledována delší trvanlivost geometrie výhybek, frekvence úpravy GPK je prodloužena na 1,5–3 násobek. Dochází ke snížení vibrací přenášených do podloží o cca 30 % a je pozorována vyšší životnost kolejového lože. Zejména na dlouhých pražcích v srdcovkové části výhybky a za výhybkou se minimalizuje zborcení a převýšení

koleje vznikající zatížením dlouhých pražců na jedné straně. Podle měření ÖBB [49] je například u výhybek s poměrem odbočení 1:18,5 sledováno převýšení do 5 mm oproti až 15 mm na výhybce bez podložek.

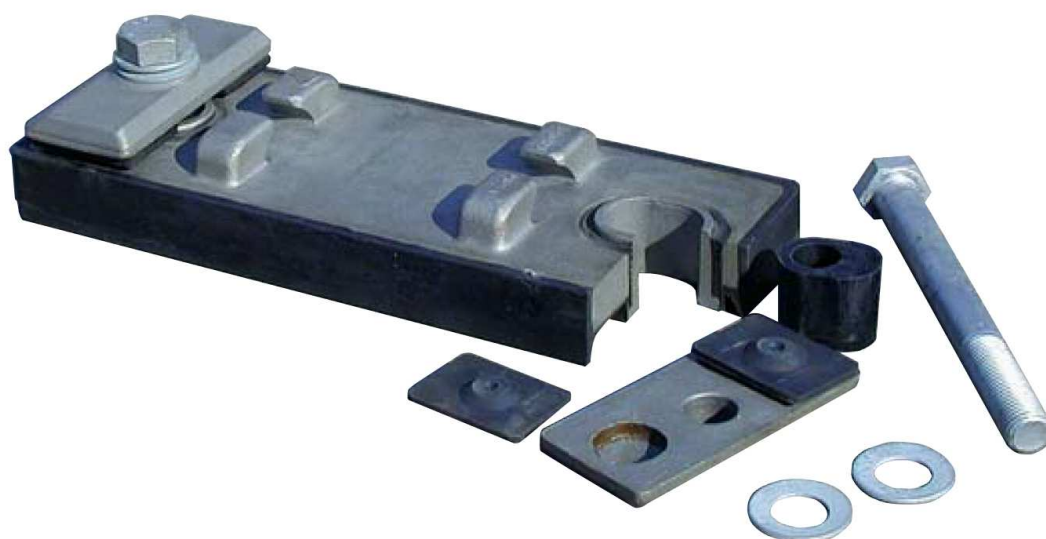


Obrázek 47: Příklad rozložení tuhosti podpražcových podložek ve výhybce v /AT/ (zdroj: ÖBB).

Při umístění výhybek na PJD se v /AT/ prosazuje konstrukce uložená s pražci v pryžových botkách, zalitými do monolitické desky (systém Phönix). V /DE/ jsou na PJD používány jak konstrukce s pražci (s kloubovým spojením i bez něj), tak deskové konstrukce.

## UPEVNĚNÍ

Upevnění ve výhybkách je v maximální míře navrhováno jako pružné a jeho konstrukce obvykle odpovídá národním zvyklostem. Bezpodkladnicové upevnění se používá na VRT pouze v /AT/ (viz výše). Ve většině zemí jsou podkladnice obvyklého žebrového typu, odlišné jsou používány ve /FR/ (viz snímky výše) a v /DE/, kde jsou primárně pro PJD vyráběny podkladnice pryžokovové konstrukce pro zajištění dostatečné pružnosti koleje ve výhybce. Dodávány jsou se statickou sečnou tuhostí 17,5 kN/mm a 30 kN/mm. Shodné řešení je používáno i v /ES/ a v Asii.

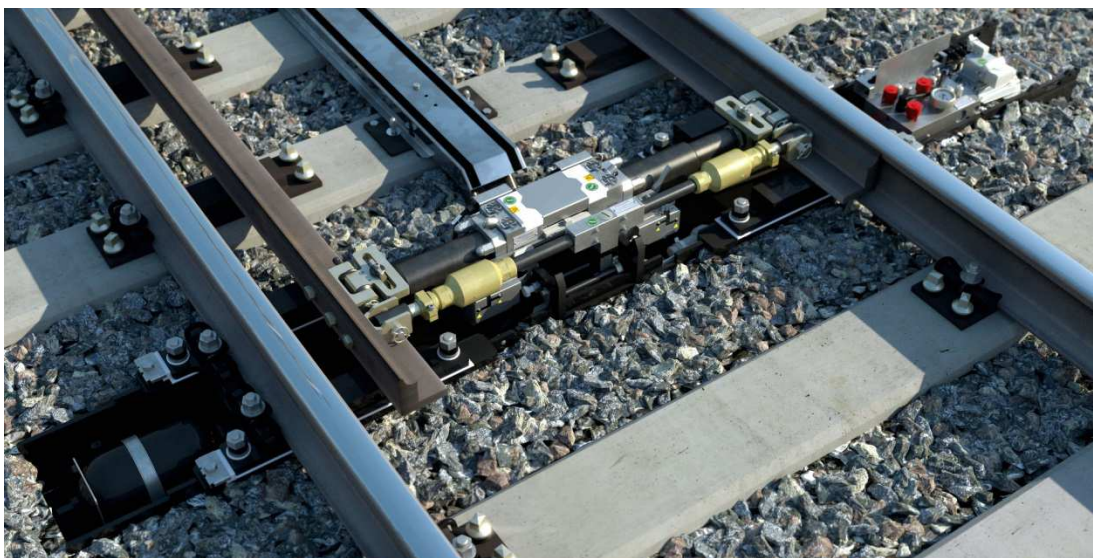


Obrázek 48: /DE/: Podkladnice systému ERL s mohutnou pryžovou vrstvou (zdroj voestalpine BWG GmbH & Co KG).



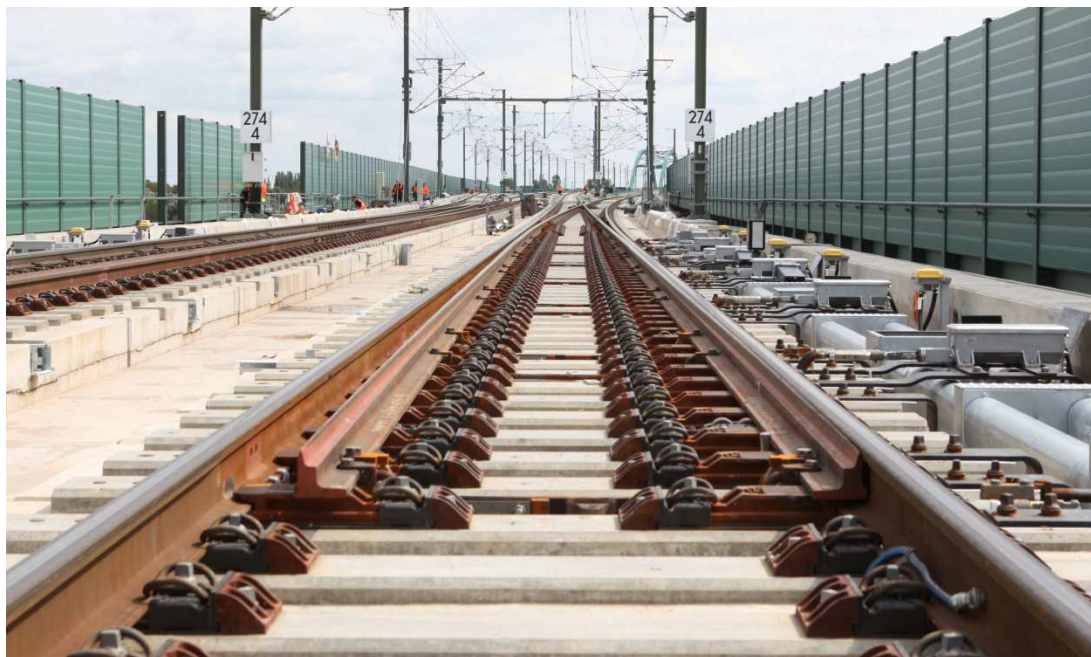
### OVLÁDÁNÍ VÝHYBEK

V /AT/ je v poslední době používán hydraulický systém ovládání výhybek Hydrostar výrobce voestalpine VAE GmbH s jedním agregátem, rozvodem v ose koleje a přestavnými prvky situovanými do žlabových pražců společně se závěry a detekčními prvky. Správce v použití tohoto systému spatřuje výhody v podobě snížení počtu pohonů a tím mimo jiné zjednodušení součinnosti se zabezpečovacím zařízením, a dále minimalizaci rozsahu údržby a dohledu. U krátkých výhybek je ovládána výměnová část i srdcovka jedním agregátem, u delších samostatnými.



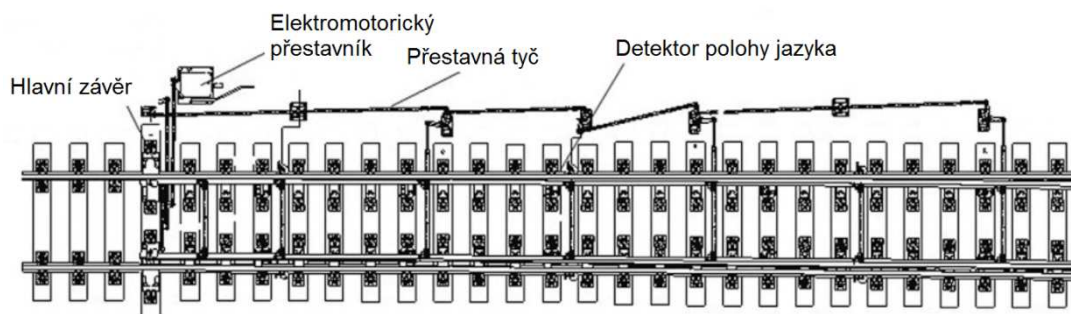
Obrázek 49: /AT/: Hydraulický systém ovládání výhybky Hydrostar (zdroj: voestalpine VAE GmbH).

V /DE/ je standardně používáno elektromotorické ovládání výhybek se samostatnými přestavníky pro každý výhybkový závěr.



Obrázek 50: /DE/: Výhybka EW 60-6000/3700-1:32,5 fb na trati Erfurt – Lipsko (zdroj: Claus Rudolf).

Ve /FR/ je standardem použití jednoho elektromotorického přestavníku s hlavním závěrem a přestavného soutyčí, kterým jsou ovládány pomocné výhybkové závěry. U každé výhybky je použit jeden přestavník pro výměnovou a jeden pro srdcovkovou část.



Obrázek 51: /FR/: Standardní uspořádání ovládání výhybek na LGV (zdroj [13]).

V /ES/ a /IT/ jsou přebírána výše uvedená řešení podle provenience dodávaných výhybek a zkušeností s nimi ze strany správců.





Obrázek 52: /ES/: Výhybka DSIH-AV-UIC60-17000/7300-1:50 pro rychlost 220 km/h v odbočné větvi s elektromotorickými přestavníky pro každý závěr (zdroj: Alberto Salviejo).

Problematika ovládání výhybek je podrobněji popsána v sešitu 4.6. Ohřevy výhybek jsou předmětem sešitu 4.5.

---

#### 3.4.3 POKLÁDKA VÝHYBEK

---

Na VRT je odlišná situace oproti pokládce výhybek při rekonstrukci stávajících tratí – výstavba obvykle probíhá na zelené louce, bez tlaku na zkrácení výluk a pouze se silničním přístupem. Proto se zejména ve /FR/ rozvinula montáž výhybek v ose, dokonce z nevystrojených pražců (viz Obrázek 34). Má to například důsledek i v podobě zřizování dlouhých montážních ploch u každé průběžné koleje do vzdálenosti maximálně několika kilometrů od výhybek pro případ jejich budoucí výměny. Podobně probíhá v ose montáž výhybek na PJD. Dovoz předmontovaných částí výhybek je rozvinut například v /AT/, kde jsou v poslední době výhybky převáženy na místo určení včetně namontovaného hydraulického systému ovládání.

---

#### 3.4.4 DILATAČNÍ ZAŘÍZENÍ A BEZSTYKOVÁ KOLEJ NA MOSTECH

---

Umístění dilatačních zařízení (KDZ) v koleji kvůli konstrukci mostů vede u koleje s kolejovým ložem ke zrychlení rozpadu GPK a k výkyvům v poloze koleje při změnách teplot. Zvyšují se tak požadavky na frekvenci úpravy GPK a vlivem opotřebení i na kontroly a výměny dilatačního zařízení, zejména ve směrových obloucích. Na druhou stranu použití dilatačních zařízení v koleji umožňuje navrhnout spojitě nosné konstrukce mostů bez ohledu na jejich dilatační délku, pouze s přihlédnutím ke konstrukčním možnostem těchto zařízení. Největší dodávaná KDZ umožňují dilatační pohyb  $\pm 600$  mm. Ve sledovaných zemích jsou standardně používána KDZ s pohyblivou kolenovou kolejnicí, u nichž nedochází k rozšiřování rozchodu v průběhu dilatačního pohybu.

Ve sledovaných zemích je přístup k navrhování mostů a používání dilatačních zařízení velmi odlišný. V /AT/ probíhá výstavba nových mostů na HL tratích spíše ojediněle a v takových případech je obvykle navrhováno řešení pro vyloučení KDZ, tj. se situováním pevných ložisek na pilíře u nízkých mostů a s oblouky tvořícími pevný bod u vysokých mostů. U prvního z uvedených typů je v ojedinělém případě na mostě přes Drávu (součást projektu Koralmbahn) dosaženo při použití PJD dilatujících délek až 200 m (nosné konstrukce délek 140 + 60 m dilatující proti sobě) bez použití dilatačních zařízení v koleji.

Na pevné jízdní dráze v /DE/ je u staveb v poslední době snaha nalézt konstrukční řešení mostu, které zkrácením dilatujících délek nosné konstrukce mostu minimalizuje budoucí údržbové náklady a ideálně zcela vyloučí dilatační zařízení, prosazují se integrální a semiintegrální mosty. U velkých konstrukcí, převážně z předpjatého betonu, je snaha pevnými ložisky ve střední části mostu zkrátit dilatující délky nosné konstrukce, u největších mostů jsou i tak používána v koleji dilatační zařízení. Při uspořádání mostu se spojitým nosníkem a pevným ložiskem na jedné z opěr je KDZ umístěno na mostní konstrukci u opěry s pohyblivým ložiskem. Pohyblivé jsou kolenové kolejnice směrem z trati, pevné jazykové kolejnice začínají cca 4,0 m od závěrné zídky nebo kompenzační desky. Používají se KDZ s dilatačním pohybem  $\pm 100$  mm,  $\pm 170$  mm,  $\pm 250$  mm a  $\pm 415$  mm (konstrukce DB), na PJD pak  $\pm 150$  mm,  $\pm 300$  mm a  $\pm 600$  mm (konstrukce BWG). KDZ je dimenzováno pro zachycení podélných sil od BK. Na mostě i v přilehlých kolejových polích jsou kolejnice na PJD upevněny svěrkami se sníženou svěrnou silou.

Pro překonání větších mezer než 650 mm mezi uzly upevnění jsou v současnosti používány mohutné podélné nosníky, na nichž jsou zavěšeny ocelové pražce s polohou udržovanou nůžkovým systémem (viz níže obrázky z /ES/). Dříve byly používány též plnoprofilové kolejnice Vo 1-60 (nově 60E1F1, resp. Vo60E2-40), umožňující překlenutí mezer délky 1 000 mm. Na posledních VRT toto řešení není používáno.



Obrázek 53: /DE/: Přečtová konstrukce a KDZ nad pilířem mostu Saale-Elster-Talbrücke v úseku Erfurt – Leipzig/Halle zprovozněném v roce 2015 (foto Claus Rudolf, dostupné z URL

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saale-Elster-Talbr%C3%BCcke-08.jpg>; CC-BY-SA 4.0).

V **/IT/** je návrh mostních objektů ovlivněn charakterem krajiny a vyšší seismickou aktivitou, na VRT se obvykle realizují nízké estakády s prostými nosníky o rozpětí polí kolem 33–46 m, které použití dilatačních zařízení nevyžadují, což je v souladu s požadavky RFI. V síti italských VRT jsou dilatační zařízení zatím pouze na zavěšeném mostě přes řeku Pád.

Ve **/FR/** se prosazují převážně spřažené ocelobetonové nebo předpjaté betonové mosty se spojitými nosníky. V případě překročení povolených dilatujících délek jsou v některých případech situována pevná ložiska na pilíř ve střední části mostu, čímž je potřeba KDZ vyloučena. Převážně jsou však u delších mostů používána dilatační zařízení v koleji, a to v každé koleji dvě s mezilehlým kolejovým polem, situovaná vně pohyblivé opěry mostu. Obě dilatační zařízení jsou shodného typu a umožňují podélný pohyb  $\pm 300$  mm. Pohyblivé jsou vždy kolenové kolejnice, které jsou situovány směrem k mostu a do trati. Kolenová a jazyková kolejnice mají celkovou délku 15 m, svar kolenové kolejnice přesahuje o 2,5 m přes závěrnou zídku na most, začátek jazykové kolejnice je umístěn cca 3,5 m od závěrné zídky na terénu. Celková délka soustavy obou KDZ je 63 m, mezilehlé pole má délku (včetně jazykových kolejníc) cca 50 m. Při překročení délkového limitu pro jedno KDZ jsou mosty navrhovány obvykle s pevnými opěrami a tzv. inertním polem ve střední části o délce 38–61 m, na němž jsou situována dvě KDZ. Se dvěma KDZ v každé koleji tak lze vybudovat most o délce až cca 900 m, uspořádání je obvykle výhodné i pro minimalizaci podélného sklonu koleje v místě KDZ, která je nezbytná s ohledem na svislý posun koleje při dilataci mostu. V případě použití KDZ u opěry mostu musí být u obou kolejí zřízena zpevněná přístupová plocha (viz kap. 4.5). Mezi KDZ a pohyblivou opěrrou mostu je použito kluzné uložení a upevnění kolejníc a v prostoru mostního závěru je situována přepážka v kolejovém loži. Okolí dilatačních zařízení je podle informací od správce nejčastějším zdrojem poruch v GPK, které se vyvíjejí nejen dlouhodobě, ale i v závislosti na denní době (zejména v prostoru dýchajícího konce BK), což komplikuje diagnostiku i následnou korektivní údržbu. Životnost KDZ na provozovaných tratích je obvykle kolem 20 let a je tedy nižší než u ostatních prvků železničního svršku.





Obrázek 54: /FR/: Uspořádání KDZ za opěrou mostu (Viaduc de Haspelbaechel) na trati LGV Est européenne Paříž – Strasbourg zprovozněné v roce 2016.



Obrázek 55: /FR/: Dilatační zařízení na trati LGV Est européenne Paříž – Strasbourg zprovozněné v roce 2016.





Obrázek 56: /FR/: Výroba přepážek kolejového lože pro koleje v převýšení (zdroj: ETIC).

V Belgii byl na trati Brusel – Lille použit v 90. letech minulého století na mostě přes řeku Sheldu (Viaduc Antoing) vyzkoušen odlišný přístup. Na hlavním poli s rozpětím 120 m bylo pro vyloučení umístění KDZ použito v délce 75 m od pohyblivého ložiska upevnění s nulovou svěrnou silou a kluzným uložením kolejnic, tzv. ZLR upevnění (z anglického zero longitudinal restraint) [24]. Mezi kolejnicí a svěrkou je v takovém případě malá mezera (cca 1 mm), svěrka pouze brání kolejnici ve vybočení. Kluzná podložka je po zatížení vlakem schopna alespoň částečně přenášet brzdné a rozjezdové síly. Toto řešení vedlo k možnosti mírně prodloužit maximální dilatující délku nosné konstrukce mostu bez použití KDZ při současném omezení relativních posunů mezi kolejnicí a mostem, mírném snížení sil v kolejnici od teplotního zatížení a zachování přijatelných hodnot napětí v kolejnici při zatížení brzdnými silami. Uvedené řešení se však většího rozšíření v Evropě nedočkal.

V /ES/ je při realizaci nových mostů na VRT kladen důraz hlavně na jejich hospodárnou konstrukci, použití KDZ v koleji není považováno za tak velkou komplikaci, že by ovlivnilo už návrh konstrukčního řešení mostu. Prosazují se zejména mosty se spojitým nosníkem spráženým nebo předpjatým betonovým s pevným ložiskem na jedné z opěr. Toto uspořádání dlouhých mostů je používáno pro velké dilatační délky, čemuž odpovídá použití KDZ umožňujících větší podélný pohyb ( $\pm 150$  mm,  $\pm 300$  mm a  $\pm 600$  mm). KDZ je standardně umístěno za opěru s pohyblivým ložiskem na terén, pohyblivá je vždy kolenová kolejnice. Jazyková kolejnice začíná cca 2,5 m od závěrné zídky. Zatížení od bezstykové koleje z přilehlé trati nevyrovnává druhé KDZ jako ve /FR/, u starších staveb byl železniční svršek na obě strany od KDZ položen v délce cca 28 m na těžších pražcích standardní délky, vlastní KDZ je položeno na pražcích dl. 2,8 m. Upevnění jazykové kolejnice, resp. přilehlého úseku je dimenzováno pro přenos podélných sil od BK. Přepážka v kolejovém loži je omezena pevnými bariérami a u větších KDZ je v ní situován jeden až dva ocelové pražce, podélně s kolejí vedené pákovým systémem připojeným k sousedním pražcům. Na několik pražců na každou stranu od přepážky je připevněno ztužidlo přenášející svislé síly a nesoucí ocelové

pražce mimo kolejové lože. Pro mosty extrémních rozměrů bývá voleno řešení s pevným ložiskem ve střední části a KDZ u obou opěr nebo řešení popsané ve **/FR/**.



Obrázek 57: **/ES/**: Umístění KDZ za pohyblivou opěrou mostu (foto Alberto Salviejo).



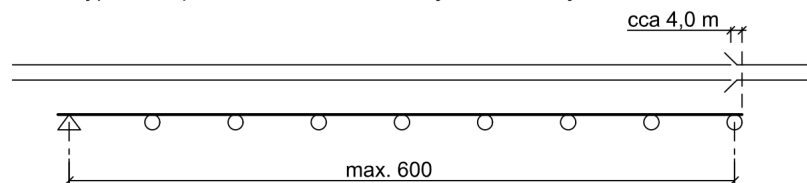


Obrázek 58: /ES/: Detail upevnění jazykové kolejnice KDZ (foto Alberto Salviejo).

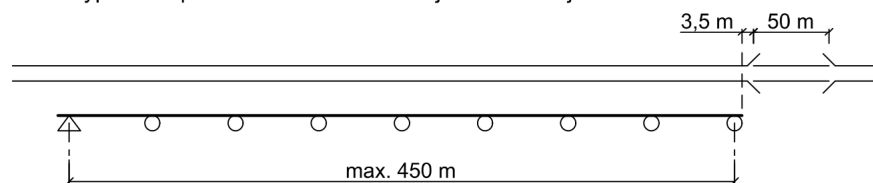


Obrázek 59: /ES/: Detail podepření kolejnic nad přerušeným kolejovým ložem (foto Alberto Salviejo).

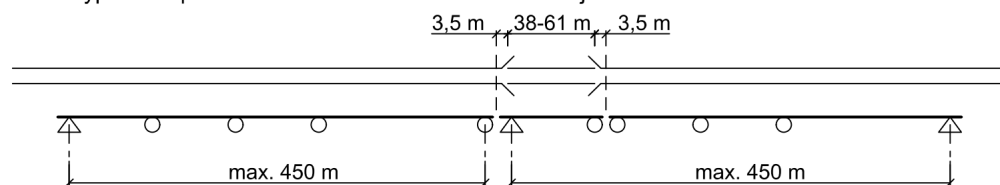
/DE/: Typické uspořádání DZ na mostě s jednou dilatující délkou.



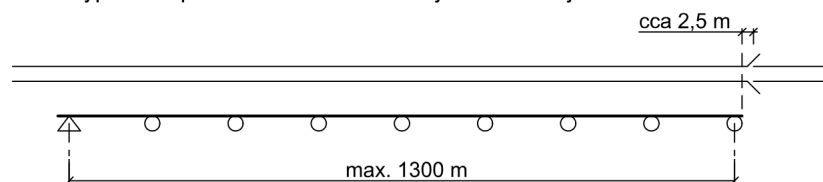
/FR/: Typické uspořádání DZ na mostě s jednou dilatující délkou.



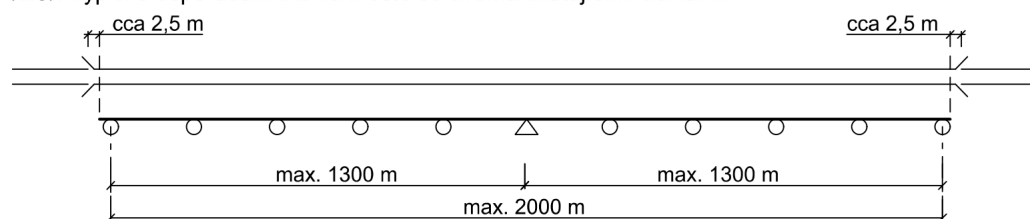
/FR/: Typické uspořádání DZ na mostě se dvěma dilatujícími délkami.



/ES/: Typické uspořádání DZ na mostě s jednou dilatující délkou.



/ES/: Typické uspořádání DZ na mostě se dvěma dilatujícími délkami.



Obrázek 60: Typická uspořádání KDZ na mostech



Tabulka: Kolejová dilatační zařízení na mostech na VRT

Země	Povolená dilatující délka nosné konstrukce			S jedním DZ	Poznámka
	Bez DZ				
	Ocel	Beton	Spřážený		
				m	
/AT/			*90		U větších délek individuálně.
/DE/	60		*90	600	* Individuálně až cca 110 m.
/FR/			*90	** 450	* Individuálně až cca 120 m. ** Individuálně až o cca 15 % více.
/ES/	60		*90	1 300	U větších délek individuálně. * Individuálně až cca 105–120 m.
/IT/					

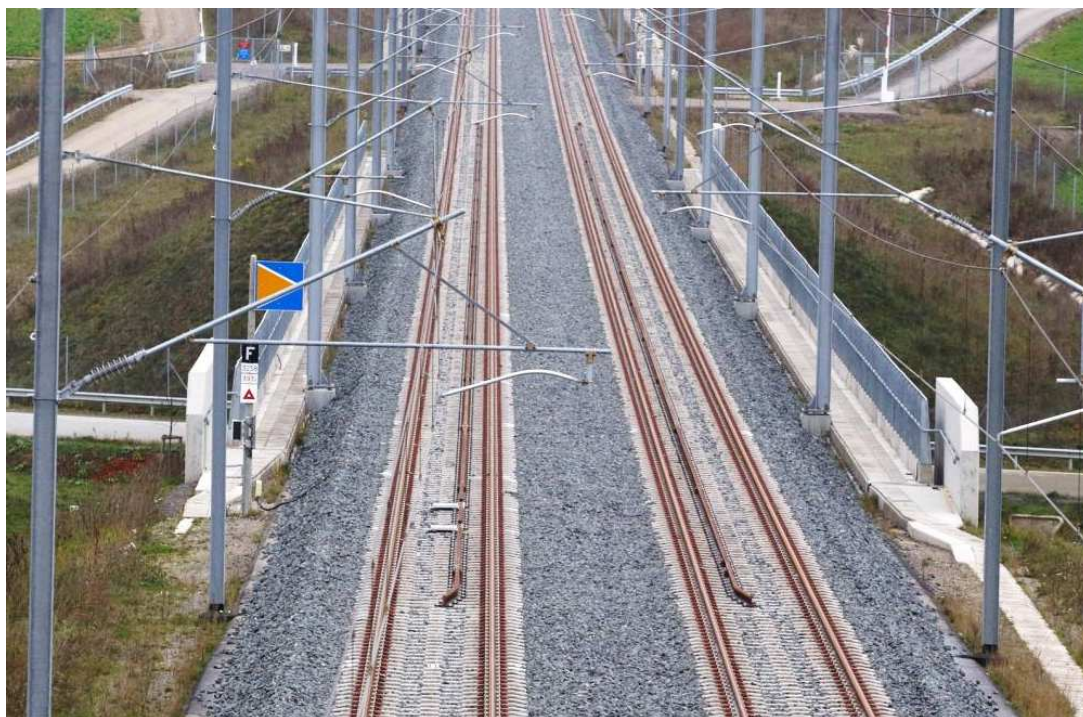
*Hodnoty používané v ČR na konvenčních tratích*

/CZ/	74–80	106–113	93–103	*400	* Delší mosty individuálně.
------	-------	---------	--------	------	-----------------------------

*Uvedené hodnoty platí pro kolejnice 60 E1 nebo 60 E2, betonové pražce a průběžné kolejové lože.*

Hodnoty ve výše uvedené tabulce obvykle vycházejí z doporučení a postupů [22] včetně doporučených limitů pro povolené namáhání kolejnic. Četné studie se však shodují, že uvedené limity jsou konzervativní a při návrhu mostních konstrukcí se v případě potřeby provádí posouzení pro konkrétní případ a aplikují se často větší délky.

Ve /FR/ jsou v některých případech na mostech delších 50 m používány pojistné profily, které tvoří kolejnice nižšího profilu. Upevněny jsou na speciálních pražcích. V ostatních sledovaných zemích žádné pojistné profily na VRT používány nejsou.



Obrázek 61: /FR/: Umístění pojistných kolejnic na speciálních pražcích na trati LGV Est européenne.

Omezení umístění dilatačních zařízení ve vztahu ke směrovému a výškovému řešení kolejí je popsáno pro jednotlivé země v kapitolách 2.2 a 2.3.

## 4 KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

---

### 4.1 PLÁŇ TĚLESA

---

V následujícím textu je věnována pozornost uspořádání dvoukolejných tratí. Jednokolejné úseky na VRT jsou budovány převážně jen v mimoúrovňových rozpletech, kde jsou níže uvedené parametry přiměřeně promítnuty. Ojedinelé stavby jednokolejných VRT (např. v /ES/) jsou převážně prováděny v uspořádání pro výhledové doplnění druhé koleje.

Uspořádání pláně tělesa železničního spodku je ve sledovaných zemích navrhováno převážně s konstantní šířkou i příčným sklonem. Mimo stanic a přístupových ploch je používáno téměř výhradně otevřené kolejové lože. Šířkové uspořádání obvykle přechází i na mostní objekty a je dodržováno rovněž pod nadezdý a v souběhu se zárubními a opěrnými zdmi. Důsledkem (téměř) neměnného příčného řezu je unifikace například prvků trakčního vedení (výšky stožárů, délky výložníků), kabelových tras apod.

Na pláň tělesa jsou vždy situovány:

- kolejový rošt a kolejové lože, případně pevná jízdní dráha,
- stožáry trakčního vedení,
- kabelové trasy,
- prvky zabezpečovacího zařízení a výstroje trati,
- drážní stezka pro zaměstnance, nouzový přístup a evakuaci.

Drážní stezka je u každé koleje, stejně tak obvykle kabelové trasy. Nejobvyklejší je uspořádání s trakčními stožáry těsně přilehlými k jízdní dráze v osové vzdálenosti 3,25–3,40 m od osy koleje a kabelovými trasami a drážní stezkou situovanými vně trakčního vedení. Výjimku tvoří /DE/ s umístěním podpěr trakčního vedení až za stezkou a kabelovými trasami, což vede k zúžení pláně o 0,50–0,90 m na každé straně oproti jinde běžným hodnotám. V případě koleje s kolejovým ložem tento efekt klesá nutným rozšířením v oblouku o 0,10 m ( $25 \leq D < 50$  mm), 0,25 m ( $D < 100$  mm) nebo 0,40 m ( $D > 100$  mm).

Odvodnění je zajištěno střechovitým sklonem pláně v rozmezí 4–5 % na nestmelených vrstvách z kameniva, resp. 2,5–3 % na asfaltobetonových vrstvách. Sklon pláně pod PJD může být v /DE/ snížen až na 2,5 %, pakliže konstrukce jízdní dráhy zajistí pouze minimální přítok dešťové vody na pláň. V /AT/, /DE/ a /ES/ zůstává u trati v oblouku s převýšením v kolejích poloha a výška „střechy pláně“ na svém místě, zvětšuje se tloušťka kolejového lože pod vnitřní kolejí, niveleta obou kolejí je shodná. V /IT/ se navrhuje posun vrcholu pláně při zachování standardní tloušťky lože i nivelety obou kolejí a ve /FR/ se v obloucích s převýšením kolejí do 100 mm provádí u vnitřní koleje zahloubení vnitřního kolejnicového pásu o  $D/3$  při zachování standardní tloušťky lože a vrcholu pláně v ose os. Při převýšení větším se provádí pláň jednostranně skloněná (v případě použití nestmelených vrstev v pražcovém podloží) se standardní tloušťkou lože pod oběma kolejemi, se shodným zahloubením vnitřní koleje jako v předchozím případě a s nadvýšením vnější koleje. Změna sklonu pláně ze střechovité na jednostrannou se provádí na délku přechodnic. Změny sklonu pláně při přechodu na mosty se provádí obvykle na délku 40 m. V úseku s kolejovou spojkou na kolejovém loži se v /DE/ provádí pláň se sníženým sklonem 3 % ve střední části mezi osami hlavních kolejí, vnější hrany pláně se pak nezahlubují.

Odlišný je v jednotlivých zemích přístup k tloušťce kolejového lože u dvoukolejné trati v převýšení. V /AT/, /DE/ a /ES/ se zvětšuje tloušťka lože pod vnitřní kolejí při zachování shodné nivelety kolejí a vrcholu skloněné pláně v ose os, v /IT/ se navrhuje posun vrcholu pláně při zachování standardní tloušťky lože i nivelety obou kolejí a ve /FR/ se v obloucích s převýšením kolejí do 100 mm provádí u vnitřní koleje zahloubení vnitřního kolejnicového pásu o  $D/3$  při zachování standardní tloušťky lože a vrcholu pláně v ose os. Při převýšení větším se provádí pláň jednostranně skloněná (v případě použití nestmelených vrstev v pražcovém podloží) se standardní tloušťkou lože pod oběma kolejemi, se shodným zahloubením vnitřní koleje jako v předchozím případě a s nadvýšením vnější koleje.

U trati s PJD je v /DE/ dovoleno v zářezích s problematickým odvodněním situovat povrch drážní stezky do úrovně povrchu PJD.

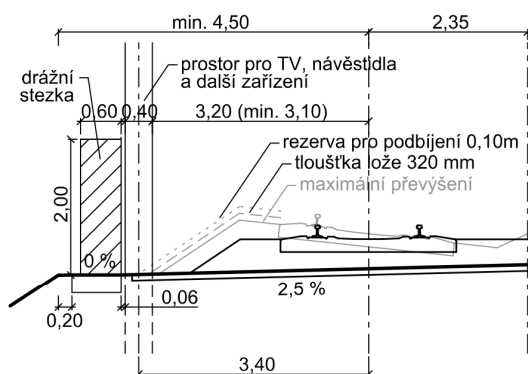
Tabulka: Uspořádání pláňě tělesa

Země	Rychlost	Osová vzdálenost	Vzdálenost okraje pláňě od osy koleje	Šířka pláňě tělesa dvoukolejné trati	Příčný sklon pláňě na konstrukčních vrstvách		
					nestmelených	asfalto-betonových	pro pevnou jízdní dráhu
	km/h	m	m	m	%	%	%
/AT/	250	4,70	4,50	13,70	5,0	2,5	2,5
/DE/	200	4,00	*3,80	*11,60	5,0	-	**2,5
	300	4,50		*12,10			
/FR/	250	4,00	4,70	13,40	4,0	2,5	-
	350	4,50		13,90			
/ES/	200	4,00	4,65	13,30	5,0	-	-
	250	4,30		13,60			
	350	4,70		14,00			
/IT/	300	4,50	4,30	13,10	3,5	3,0	-
		5,00		13,60			

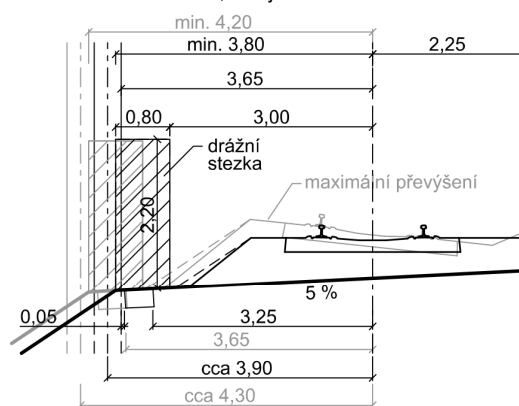
\* U kolejového lože rozšíření až 0,40 m podle převýšení.

\*\* Při zajištění odvodnění povrchu PJD v rámci železničního svršku.

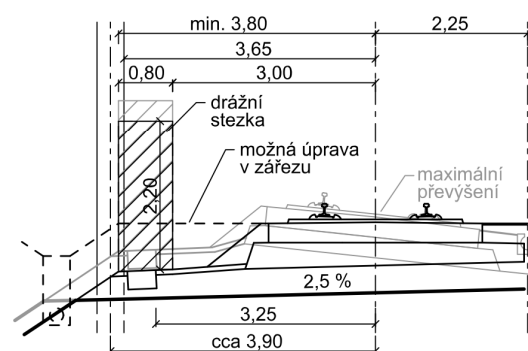
/AT/: V=160–250 km/h



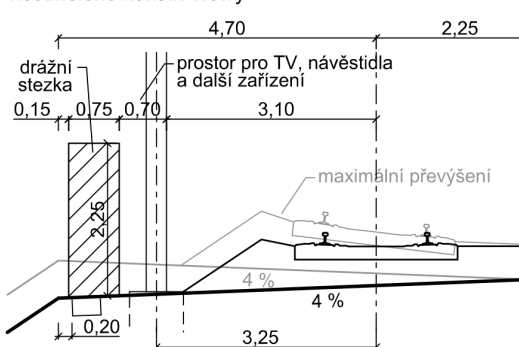
/DE/: V=200–300 km/h, kolejové lože



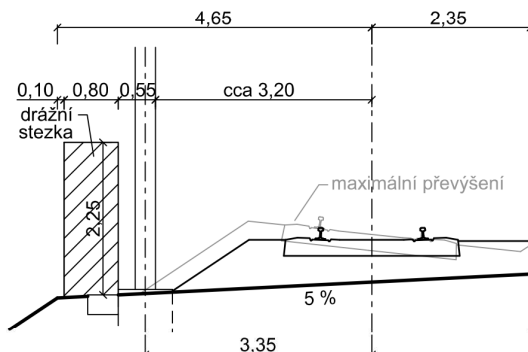
/DE/: V=200–300 km/h, PJD



/FR/: V=270–350 km/h, osobní doprava, nestmelené konstr. vrstvy



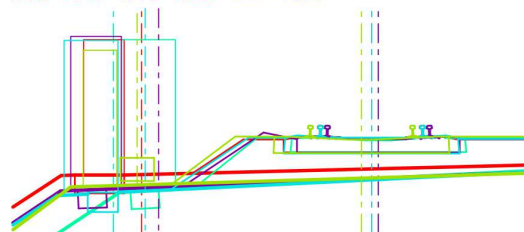
/ES/: V=300–350 km/h



/IT/: V=300 km/h, asfaltobetonová konstr. vrstva



/AT/ /DE/ /FR/ /ES/ /IT/ /CZ/



Obrázek 62: Uspořádání pláň tělesa

Další informace k uspořádání PTŽS jsou uvedeny v kapitole 4.3 v podkapitolách Přejít na stavby železničního spodeku pro jednotlivé země.

## 4.2 KONSTRUKČNÍ VRSTVY

Uspořádání konstrukčních vrstev v pražcovém podloží je navrhováno ve sledovaných zemích dosud výhradně na bázi národních předpisů. Významně se liší názvosloví a specifikace používaných materiálů a názvů vrstev a plání. Různé způsoby zkoušení dosažených parametrů konstrukčních vrstev znesnadňují porovnání požadovaných modulů přetvárnosti napříč zeměmi. Pro základní přehled jsou z následujícího textu vytaženy typické skladby pražcového podloží a orientačně převedeny do tuzemských reálií:

- **/AT/:** 10 cm ŠD 0/31,5 + 60 cm ŠD 0/63; do 250 km/h,  
9 cm AB + 60 cm ŠD 0/63; do 250 km/h,
  - **/DE/:** 70 cm celkem MS 0/31,5 + ŠD 0/31,5; do 300 km/h,
  - **/FR/:** 20 cm ŠD 0/31,5 + 50 cm ŠD 0/63; do 350 km/h,  
14 cm AB + 20 cm ŠD 0/31,5; do 350 km/h,
  - **/ES/:** 30 cm MS + 50 cm pískové či šterkovité vrstvy; do 350 km/h,
  - **/IT/:** 12 cm AB + 30 cm ŠD; do 300 km/h.
- kde ŠD je šterkodrt, MS minerální směs a AB asfaltobeton.*

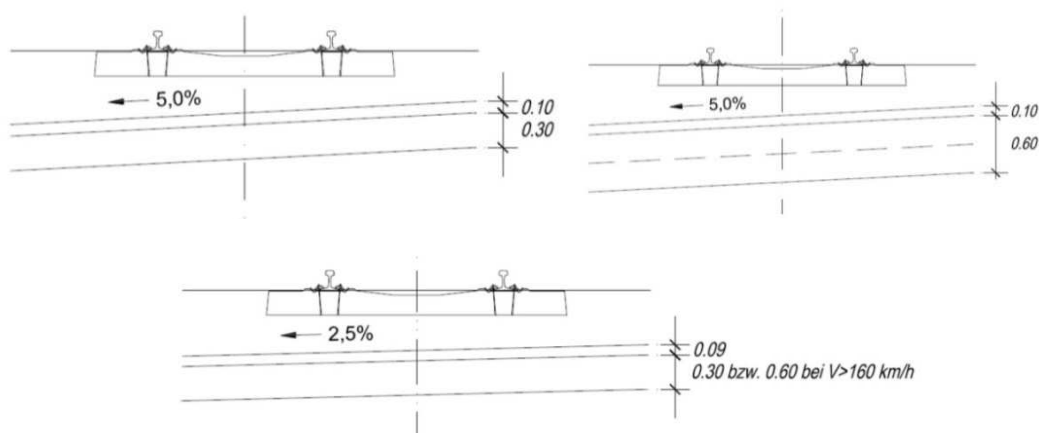
### 4.2.1 RAKOUSKO

Základní ustanovení k navrhování pražcového podloží jsou v **/AT/** obsahem interního předpisu ÖBB [42], který se odkazuje na podrobnosti do národních předpisů kategorie RVS pro silniční nebo společně silniční a železniční stavby. Na tratích s rychlostí vyšší než 160 km/h se navrhuje jednotná skladba konstrukčních vrstev s nestmelenou spodní konstrukční vrstvou (prováděnou v několika postupech) o celkové tloušťce 0,60 m a nestmelenou horní konstrukční vrstvou o tloušťce 0,10 m a podloží se upravuje nebo mění pro zajištění předepsané únosnosti. Na stavbách HL tratí v poslední době převládá konstrukce s asfaltobetonovou horní konstrukční vrstvou, tzv. Bituminöse Tragschicht, zkráceně BT-Bahn s asfaltobetonovou vrstvou tl. 0,09 m a spodní konstrukční vrstvou tl. 0,60 m. Obdobná konstrukce je ve výjimečných případech používána např. pro snížení příčného sklonu kvůli odvodnění v obvodu stanice (s menší tloušťkou spodní vrstvy). Úspory v dlouhodobém horizontu se prokazují rozbohem LCC. Hlavními cíli této technologie je:

- zvýšení únosnosti a homogenity pláně a zlepšení stability GPK,
- prodloužení životnosti pražcového podloží a v důsledku i železničního svršku,
- zlepšení distribuce zatížení z železničního svršku do podkladních nestmelených vrstev,
- snížení objemu kolejového lože (menší sklon pláně) a možnost snížení jeho minimální tloušťky,
- ochrana tělesa železničního spodku před dešťovou vodou (zamezení vytlačování jemných částic),
- ochrana kolejového lože před znečištěním a
- usnadnění údržby a výměny kolejového lože.

Dlouhodobé zkoušky na pilotním úseku z roku 1991 prokázaly omezení rozpadu GPK o cca 1/3 a v důsledku prodloužení životnosti železničního svršku o 17 %. Opakované LCC analýzy

prokázaly vysokou návratnost, která vedla k následnému rozšíření této technologie. Udávané vícenáklady na čtvereční metr pláně tělesa činí 10 EUR.



Obrázek 63: Uspořádání konstrukčních vrstev v /AT/ na trati do 160 km/h, nad 160 km/h a při použití systému BT-Bahn.

**Nestmelené spodní konstrukční vrstvy** (též ochranné vrstvy proti mrazu; Frostschutzschichte – FSS) se skládají ze směsi kategorie  $C_{NR}$  z přírodního kameniva nebo z recyklovaného materiálu (betonový granulát). Použití jakéhokoliv druhu struskového materiálu (ocelářská struska, vysokopecní struska) je nepřípustné. Rovněž je nepřípustné využití zbytků ze spalování odpadu. Směsi do konstrukčních vrstev musí být odolné proti mrazu, vykazovat dostatečnou zhutnitelnost, stejně tak odolávat zatížení při výstavbě a zatížení z dopravy při jejich pojezdě. Požadavky na materiál musí vyhovět předpisu RVS 08.15.01 Ungebundene Tragschichten. Křivka zrnitosti při standardní frakci 0/63 musí v zabudovaném stavu ležet uvnitř oblasti křivky zrnitosti dle LB-VI 003. Vrstvy jsou pokládány v maximální tloušťce 0,45 m (ve zhutněném stavu). Konstrukční vrstva může být zřízena pouze v případě, že na pláni železničního spodku je dosaženo požadovaného modulu přetvárnosti a míry zhutnění v souladu s RVS 08.03.01 Erdarbeiten. Konstrukční vrstvu nelze zřídit, pokud je pláň spodku promáčená nebo promrzlá. Směsi musí být během pokládky rovnoměrně zhutněny. Je nutné vyvarovat se rozdrčení zrn. Pokládka musí být prováděna tak, aby nebyla narušena únosnost a mrazuvzdornost znečištěním nebo průnikem jemných částic. Příčný sklon zemní pláň i parapláň je dle přepisu 5 %.

Tabulka: /AT/: Požadavky na nestmelené spodní konstrukční vrstvy

Typ trati	Rychlost	Míra zhutnění Proctor standard	Statický modul přetvárnosti $E_{v1}$	Dynamický modul přetvárnosti $E_{vD}$
	km/h	%	MPa	MPa
Novostavba	> 160	100	45	46
Stávající trať	≤ 160	97	30	34



Zkoušky se provádějí v souladu s RVS 08.15.01 (zkouška způsobilosti, kontrolní zkoušky, předávací zkouška). Při statických zatěžovacích zkouškách se vykonává 1 zkouška každých 7 500 m<sup>2</sup>, minimálně ale 3 zkoušky každou pracovní etapu. Při dynamických zatěžovacích zkouškách se vykonávají 3 zkoušky každých 7 500 m<sup>2</sup>, minimálně ale 9 zkoušek každou pracovní etapu. Křivka zrnitosti se zkouší 1x každých 4 000 m<sup>3</sup> (v případě údržbových prací pod 2 000 m<sup>3</sup> se zkouška nevykonává).

**Nestmelené vrchní konstrukční vrstvy** (též ochranné vrstvy pláň; Planumschutzschichte – PSS) se skládají ze směsí kategorie C<sub>90/3</sub> z přírodního kameniva nebo z recyklovaného materiálu (betonový granulát). Použití jakéhokoliv druhu struskového materiálu (ocelářská struska, vysokopecní struska) je nepřípustné. Rovněž je nepřípustné využití zbytků ze spalování odpadu. Směsi do konstrukčních vrstev musí být odolné proti mrazu, vykazovat dostatečnou zhutnitelnost, stejně tak odolávat zatížení při výstavbě a zatížení z dopravy. Požadavky na materiál musí vyhovět předpisu RVS 08.15.01. Křivka zrnitosti při standardní frakci 0/32 či 0/22 musí v zabudovaném stavu ležet uvnitř oblasti dle RVS 08.15.01 a v zásadě se podobá tuzemským požadavkům na štěrkodrtí téže frakce. Vrstva může být zhotovena, pokud je na horním okraji spodní konstrukční vrstvy prokázán dostatečný podul přetvárnosti a míra zhutnění. Směsi musí být během pokládky rovnoměrně zhutněny. Je nutné vyvarovat se rozdrčení zrn. Pokládka musí být prováděna tak, aby nebyla narušena únosnost a mrazuvzdornost znečištěním nebo průnikem jemných částic. Příčný sklon pláň tělesa je dle přepisu 5 %.

Tabulka: /AT/: Požadavky na nestmelené horní konstrukční vrstvy

Typ trati	Rychlost	Míra zhutnění Proctor standard	Statický modul přetvárnosti E <sub>v1</sub>	Dynamický modul přetvárnosti E <sub>vd</sub>
	km/h	%	MPa	MPa
Novostavba	> 160	100	50	50
Stávající trať	≤ 160	97	35	38

Provádějí se v souladu s RVS 08.15.01 (zkouška způsobilosti, kontrolní zkoušky, předávací zkouška). Při statických zatěžovacích zkouškách se vykonává 1 zkouška každých 2 500 m<sup>2</sup>, minimálně ale 3 zkoušky každou pracovní etapu. Při dynamických zatěžovacích zkouškách se vykonávají 3 zkoušky každých 2 500 m<sup>2</sup>, minimálně ale 9 zkoušek každou pracovní etapu. Křivka zrnitosti se ověřuje každých 4 000 m<sup>3</sup> (v případě údržbových prací pod 2 000 m<sup>3</sup> se zkouška nevykonává).

Tabulka: /AT/: Zrnitost konstrukčních vrstev

Velikost zrn	Propad zrn v % hmotnosti	
	Vrchní KV 0/22	Spodní KV 0/63
mm	%	%
90	100	100
63	100	90–100
45	100	
31,5	100	
22,4	90–97	56–87
20		50–85
8	50–76	31–66
6	40–70	25–60
4		21–52
2	20–45	15–38
1		10–30
0,5	9–26	6–22
0,25	6–19	3–16
0,063	0–8	0–8

**Asfaltové horní konstrukční vrstvy** se obvykle navrhují z asfaltobetonu AC32trag, 70/100, T1, G4 (asfalt AC32 do nosných vrstev s pojivem 70/100, T1 – břidlice, G4 – třída kameniva). V některých případech (např. odvodnění ve stanici) lze použít vrstvu o tloušťce 12 cm z totožného asfaltu. Není přípustné využít jakýkoliv druh struskových materiálů (ocelářská struska, vysokopecní struska) ani zbytků ze spalování odpadu. Pokládka by měla probíhat v souladu s RVS 08.16.01 Anforderungen an Asphalttschichten (splněny musí být požadavky na silnice typu A a S). Je nutné dodržet geometrické odchylky tloušťky stanovené ve výše odkazovaném předpisu. Pokud se vyskytnou větší odchylky, je nutné nepřekročit hraniční hodnotu (hrozí dočasné nepřevzetí pro nedodržení kvality). Horní asfaltová vrstva se zřizuje s předepsaným sklonem 2,5 %; v tomto případě má shodný sklon i parapláň z nestmelených vrstev. Zkoušky asfaltobetonové vrstvy probíhají v souladu s RVS 11.03.21 Asphalt und Asphalttschichten, Prüfung und Abrechnung, Abrechnungsbeispiele a RVS 11.03.22 Entscheidungshilfe bei der Verwertung von Asphaltgranulat für Asphaltmischgut. Na širé trati je asfaltobetonová vrstva do vzdálenosti cca 3,50 m od osy koleje ke kabelovému žlabu, ve stanici se zapuštěným ložem až po okraj tělesa.



Obrázek 64: /AT/: Dokončená asfaltobetonová pláň tělesa pro průběžné koleje ve stanici Wettmannstäten (zdroj ÖBB).

#### 4.2.2 NĚMECKO

V současnosti se v /DE/ na novostavbách pro rychlost 250 km/h a více převážně používá konstrukce PJD, kolej s kolejovým ložem se používá obvykle na modernizovaných úsecích pojížděných rychlostí do 230 km/h. Níže jsou uvedena předpisová ustanovení pro konstrukční vrstvy jak pro klasickou konstrukci koleje, tak pro PJD. Hlavním dokumentem v tomto oboru je obsáhlý interní předpis DB [43], který se dále odkazuje (pouze v dílčích podrobnostech) na některé jiné předpisy, například [44].

Skladba a tloušťka konstrukčních vrstev se navrhuje primárně podle tabulky, ale je možná i pomocí nomogramu pro konkrétní místo v trati (do rychlosti 230 km/h). Konstrukční vrstvy se navrhují v různých situacích primárně s cílem:

- ochrany svršku a spodku před příliš velkým napětím z provozu,
- tepelně izolačním účinkem chránit namrzavé podloží před promrzáním,
- zrnitostí bránit promíchání kolejového lože a podloží,
- nízkou propustností chránit podloží před dešťovou vodou.

Minimální tloušťka konstrukční vrstvy činí 30 cm a nesmí být v žádném místě menší než 20 cm. V případě, že je potřeba kvůli únosnosti nebo odolnosti proti mrazu zřídít konstrukční vrstvu silnější než 30 cm a zároveň má být zemní pláň chráněna před pronikající povrchovou vodou, pak se doporučuje dvouvrstvá skladba. Vrstva pod PTŽS by měla být z málo propustné směsi (KG1), pod ní se pak buduje propustná vrstva (ze směsi KG2), popř. na málo zatížených tratích s nižší rychlostí z hrubozrnných zemin dle normy DIN 18 196.

Pod pevnou jízdní dráhou je zřizována vrstva s ochranou proti namrzání s prokázanou vysokou propustností (např. směs KG2), při použití málo propustných vrstev by mohlo dojít

k poškození PJD pohybem jemných částic, tzv. pumpováním. Potřebná tloušťka konstrukční vrstvy se stanovuje v závislosti na hodnotě  $E_{EPL}$  (vyjádřené pomocí hodnot  $E_{V2}$ ,  $E_{Vd}$  nebo  $E_H$ ), na použité směsi v konstrukční vrstvě a jejím modulu  $E_0$ . Pokud byla provedena na zemní pláni dodatečná opatření (zlepšení či zpevnění zemin, využití přechodové vrstvy nebo geotextilie) lze tloušťku konstrukční vrstvy snížit. Jestliže výchozí hodnoty únosnosti na zemní pláni popř. podloží leží mezi 10–30 MPa, mohou být geotextilie zahrnuty do vypočtené tloušťky konstrukční vrstvy více jak 50 cm pouze v případě, že skutečná tloušťka konstrukční vrstvy se sníží o 10 cm.

Ochrana proti mrazu je pro tratě s rychlostí nad 200 km/h standardně zajištěna návrhem tloušťky konstrukční vrstvy podle zařazení místa do mrazové oblasti dle mapky v předpisu. Celá hranice s /CZ/ je zařazena do oblasti III s výjimkou okolí Labe.

Tabulka: /DE/: Standardní tloušťky konstrukčních vrstev

Kategorie tratě a konstrukce železničního svršku			Požadovaná únosnost na PTŽS		Konstrukční vrstva					Únosnost na zemní pláni	
					Směs v konstrukční vrstvě	Míra zhutnění (Proctor standardd)	Tloušťka v mrazové oblasti				
							I	II	III		
			E <sub>v2</sub> MPa	E <sub>vd</sub> MPa		%	cm	cm	cm	E <sub>v2</sub> MPa	E <sub>vd</sub> MPa
Novostavba	P300	štěrk	120	50	KG 1/2	100	70	70	70	80	40/35
		PJD	120	50	KG 2	100	*40	*40	*40	60	35/30
	P230, M230	štěrk	120	50	KG 1/2	100	50	60	70	60	40/35
		PJD	120	50	KG 2	100	*40	*40	*40	60	35/30
Rekonstr.** Údržba	P230,	štěrk	80	40	KG 1/2	100	30	40	50	45	30/25
	M230	PJD	100	45	KG 2	100	*40	*40	*40	45	30/25

*P – trať pro osobní dopravu*

*M – trať pro smíšenou dopravu*

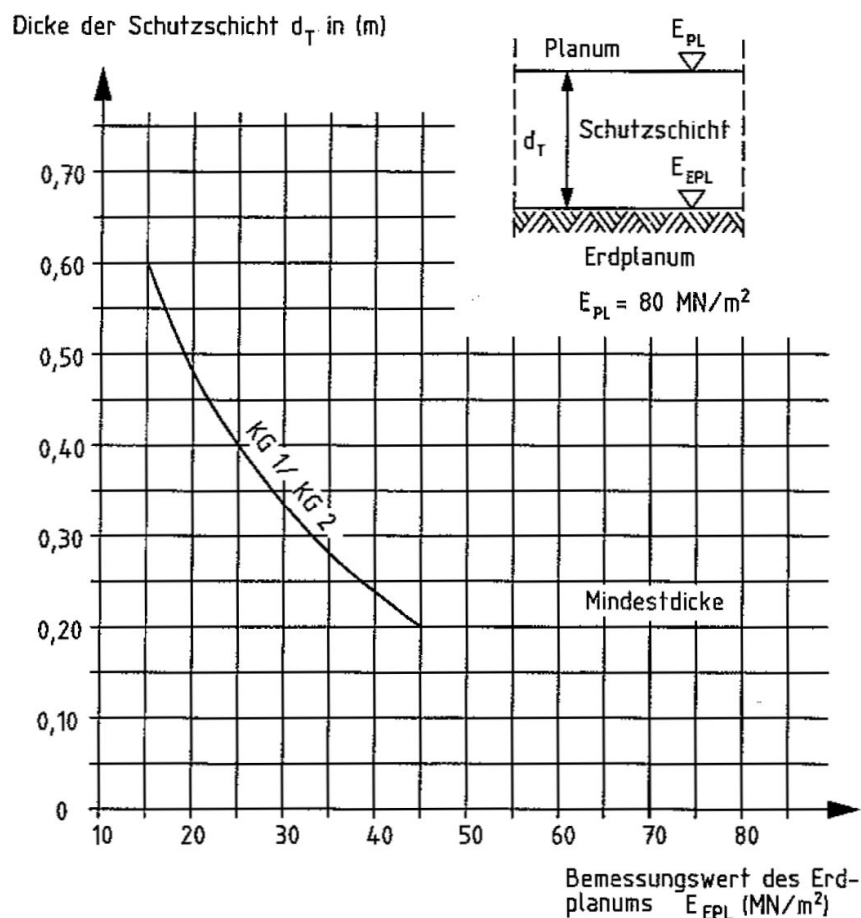
*300/230 – maximální rychlost*

*$E_{V2}$  – statický modul přetvárnosti*

*$E_{Vd}$  – dynamický modul přetvárnosti*

*\* Společně s min. 30 cm hydraulicky stmelené vrstvy pod PJD.*

*\*\* Při přestavbě na kategorii P300 platí kritéria jako pro novostavbu.*



Die Schichtdicken sind auf volle 5 cm aufzurunden.

Obrázek 65: /DE/: Nomogram pro stanovení celkové tloušťky konstrukční vrstvy pro dosžení modulu přetvárnosti 80 MPa.

Nestmelené směsi do konstrukčních vrstev se dle předpisu [44] dělí na málo propustné (KG1) a propustné (KG2). Do směsi lze použít pouze předepsané typy kameniva. V rámci tohoto předpisu se do konstrukčních vrstev používají i směsi z recyklátu a struskové směsi.

**Směs KG1** v zásadě odpovídá frakci 0/31,5 pro konstrukční vrstvy z minerální směsi s plynulou a striktně shora i zespoda omezenou křivkou zrnitosti. Maximální podíl jemných částic s  $d \leq 0,063 \text{ mm}$  je v závislosti na určitých podmínkách max. 5 %, popř. 7 % směsi. Požadavek na minimální podíl jemných částic není stanoven. Pro zajištění filtrační stability směsi vůči štěrku v kolejovém loži musí být dodržena podmínka průchodu částic s  $d=10 \text{ mm}$  v 85 % směsi, a to jak před rozdrčením, tak po rozdrčení.

**Směs KG2** v zásadě odpovídá frakcím 0/31,5, 0/45 a 0/56 pro konstrukční vrstvy ze štěrkodrti. Maximální podíl jemných částic s  $d \leq 0,063 \text{ mm}$  je menší než 5 % (při dodávce) a menší než 7 % (po rozdrčení). Minimální podíl jemných částic není stanoven.

Tabulka: /DE/: Zrnitost konstrukčních vrstev

Velikost zrn	Propad zrn v % hmotnosti			
	KG1 0/32	KG2 0/32	KG2 0/45	KG2 0/56
mm	%	%	%	%
80	100	100	100	100
63	100	100	100	
56	100	100		90–99
45	100	100	90–99	
31,5	85–99	90–99		55–85
22,4			55–85	
16	73–92	55–85		35–68
11,2			35–68	
10	–85			
8	62–82	35–68	35–68	22–60
			22–60	
4	50–71	22–60		16–47
2	40–60	16–47	16–47	9–40
1	32–53	9–40	9–40	5–35
0,5	23–43	5–35	5–35	
0,25	14–32			
0,125	7–17			
0,063	0–7	0–5(7)	0–5(7)	0–5(7)
0,02	–3(5)			

Tabulka: /DE/: Propustnost konstrukčních vrstev

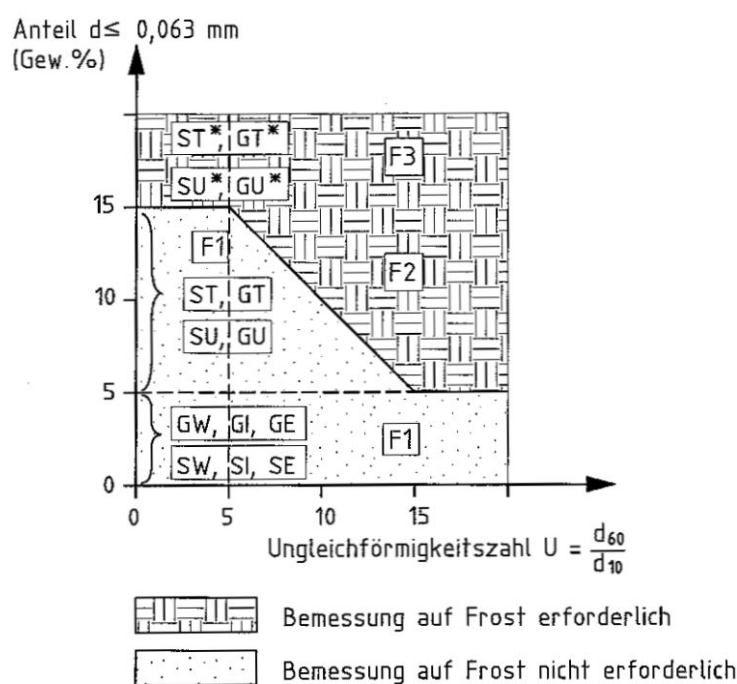
Typ směsi	Minimální filtrační koeficient $k_{10}$	Míra zhutnění
	m/s	
KG1 z přírodního nebo recyklovaného kameniva	$1 \times 10^{-6}$	1,00
KG1 z přírodního nebo recyklovaného kameniva použitelná pod PJD	$5 \times 10^{-5}$	1,00
KG2	$1 \times 10^{-5}$	1,00

Struskové směsi se dle předpisu skládají ze strusek, které jsou ze 70 % směsi z přirozeně nebo průmyslově získaných strusek a z 30 % se jedná o kamenivo dle normy DIN 18 196. Železárenské strusky (vysokopeční a ocelářská) smí být použity pouze pro směs KG1. Bez ohledu na předchozí větu smějí být použity struskové směsi z ocelářské strusky bez podílu



kameniva dle DIN 18196. Recyklované směsi jsou dle tohoto předpisu směsi s nejvýše povoleným 70% podílem z recyklovaného kameniva dle tabulky 1 a minimálně z 30 % jsou z nového přírodního kameniva. Recyklované kamenivo z drčeného betonu smí být použito pouze do velikosti zrna nejvýše 16 mm s nejvýše povoleným podílem do 30 % směsi a pouze k výrobě KG1.

Pokud nemohou nebo nesmějí být použity předepsané tloušťky vrstev dle tabulky a bylo prokázáno, že na zemní pláni nejsou žádné namrzavé zeminy, může být tloušťka konstrukčních vrstev snížena (a navržena dle nomogramu). Pro posouzení namrzání zemin platí kritéria dle obrázku níže. U kolejí se štěrkovým ložem lze do konstrukčních vrstev chránících proti promrzání využít hrubozrnné zeminy dle DIN 18 196 kromě tratí kategorie P300.



Obrázek 66: /DE/: Posouzení namrzavosti zemin zemního tělesa.

Detailní požadavky na geotextilie upravuje předpis DB 918039. V rámci konstrukčních vrstev mohou být geotextilie použity jako: oddělovací a filtrační prvek (v případech, kdy nelze prokázat filtrační stabilitu mezi tělesem a směsí KG nebo pokud je podloží silně podmáčeno), oddělovací a filtrační prvek s doplňujícím zesílením (v případech, kdy se vyskytují velké rozdíly v únosnosti v podloží, kdy nelze prokázat filtrační stabilitu mezi podložím a směsí KG, nebo pokud je podloží silně podmáčené či málo únosné), izolační nebo drenážní prvek. Jsou ukládány na zemní pláň tak, aby pokrývaly plochu pod kolejovým ložem + 50 cm na každou stranu. Pokud plní drenážní funkci, pak by měly být přivedeny až k odvodňovacím zařízením nebo ke svahu.

Geotextilie se pokládají na čistou a vyrovnanou zemní pláň s příčným sklonem 5%. Při pokládce je nutno dbát na směr hlavních sil. Pokud je mez pevnosti v tahu po směru vláken

případně přes vlákna stejná, nebo pokud je dostačující nižší mez pevnosti v tahu po směru vláken, pak se geotextilie pokládají podélně. V jiných případech je nutné je položit napříč k ose koleje. Konce netkaných textilií se překrývají min. o 30 cm, konce geomříží a tkaných/lepených geotextilií se překrývají min. o 50 cm.

Statická zatěžovací zkouška pro ověření modulu  $E_{v2}$  v souladu s DIN 18134 probíhá stejně jako v /CZ/ ve dvou zatěžovacích cyklech s kruhovou deskou o průměru 0,30 m, liší se však některé okrajové podmínky a průběh zatěžování. Na PTŽS se provádí jedna zkouška na každých 1 000 m<sup>2</sup> a současně minimálně 100 m délky. Na vrstvách určených pro PJD se počet zkoušek zdvojnásobuje.

Výška PTŽS musí být provedena s přesností  $\pm 20$  mm a nerovnosti měřené 4m latí musí být do 20 mm.

---

#### 4.2.3 FRANCIE

---

Ve Francii jsou standardně konstrukční vrstvy pro tratě LGV navrhovány tabulkově podle zařídění materiálu podloží [7], resp. jeho úpravy v aktivní zóně. Tradiční konstrukci pražcového podloží tvoří horní konstrukční vrstva z drceného nestmeleného kameniva a spodní konstrukční vrstva rovněž z kameniva, kvalitních zemin nebo zlepšených zemin. Alternativní variantou je použití asfaltobetonové horní konstrukční vrstvy (grave-bitume) a snížené tloušťky spodní konstrukční vrstvy. První zkušební úsek s asfaltobetonovou konstrukční vrstvou byl otevřen v roce 2007 (příprava probíhala od roku 2000) v délce 3 km na trati LGV Est européenne a na základě jeho důkladného sledování a dalšího výzkumu je v současnosti modifikovaná konstrukce používána částečně nebo zcela na všech aktuálně budovaných úsecích LGV. Hlavními motivy pro vyzkoušení a zavedení této konstrukce bylo:

- zvýšení stability koleje s ohledem na vyšší rychlosti a smíšený provoz,
- prodloužení životnosti železničního spodku i svršku,
- snížení objemu zemních prací,
- snížení objemu použitého kameniva (často dopravovaného na velké vzdálenosti),
- snížení rozsahu údržby a její zjednodušení,
- usnadnění realizace.

Tabulka: /FR/: Tloušťky konstrukčních vrstev na tratích LGV

Zemní pláň		Geotextílie (typ A1)	Tloušťka spodní konstrukční vrstvy	Materiál spodní konstrukční vrstvy	Tloušťka horní konstrukční vrstvy fr. 0/31,5	
třída zeminy*	minimální modul přetvárnosti $E_{v2}$				hmotnost na nápravu 22,5 t	hmotnost na nápravu 25,0 t
	MPa		cm		cm	cm
S1	30		50	kamenivo	20	
S1	30		35	zlepšená zemina tř. 4	20	
S1	30		40	zlepšená zemina tř. 5	20	
S2	50	ANO	-	zvětšená tloušťka horní KV	30+35	30+40
S2	50		35	kamenivo	20	
S3	80		-	zvětšená tloušťka horní KV	30+20	30+25

\* Třídy zemin zemní pláňe jsou popsány v kapitole 4.3.1.

**Spodní konstrukční vrstva** z kameniva nebo hydraulickým pojivem zlepšených zemin má běžně tloušťku mezi 30 a 50 cm. Modul přetvárnosti  $E_{v2}$  dosažený na spodní konstrukční vrstvě a měřený statickou nebo dynamickou zatěžovací zkouškou by měl nabývat hodnot min. 80 MPa na nezlepšených zeminách a 120 MPa na zlepšených zeminách. Vzorky pro zkoušky se odebírají každých 250 m. Materiály konstrukční vrstvy musí být zvoleny v souladu s předpisem IN 0091. Míra zhutnění musí odpovídat minimálně 98,5 % zkoušky Proctor standard. Dlouhodobé pozorování na provozovaných úsecích ukázalo, že v místech se zlepšenými zeminami v pražcovém podloží je dosahována vyšší stabilita GPK.

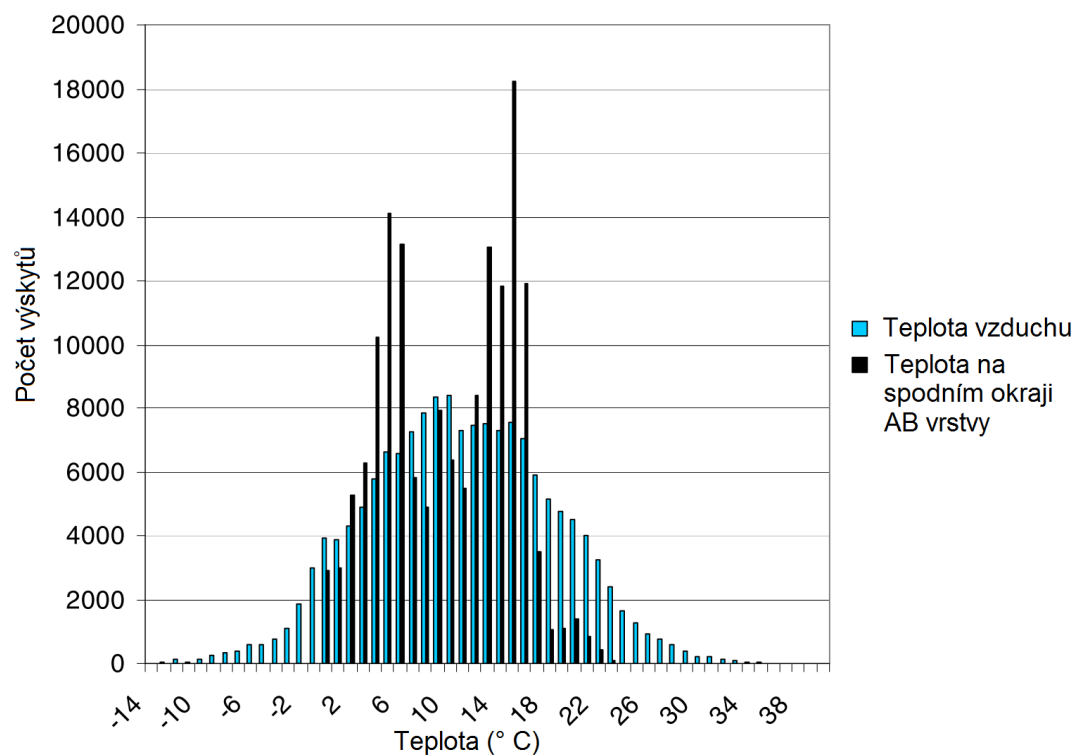
**Horní nestmelená konstrukční vrstva** ze štěrkodrti fr. 0/31,5 o tloušťce 20–35 cm je podporou pro kolejové lože a zajišťuje distribuci přenášených sil, ochranu pláňe před erozí a namrzáním, odvedení povrchové vody, zabraňuje znečištění pláňe, má funkci vyrovnávací vrstvy. Požadovaná míra zkoušky Proctor modifikovaný je 100 %. Materiály pro konstrukční vrstvy jsou stanoveny předpisu IN 0091. Požadavky na provedení definuje IN 0045.

Tabulka: /FR/: Zrnitost horní konstrukční vrstvy fr. 0/31,5

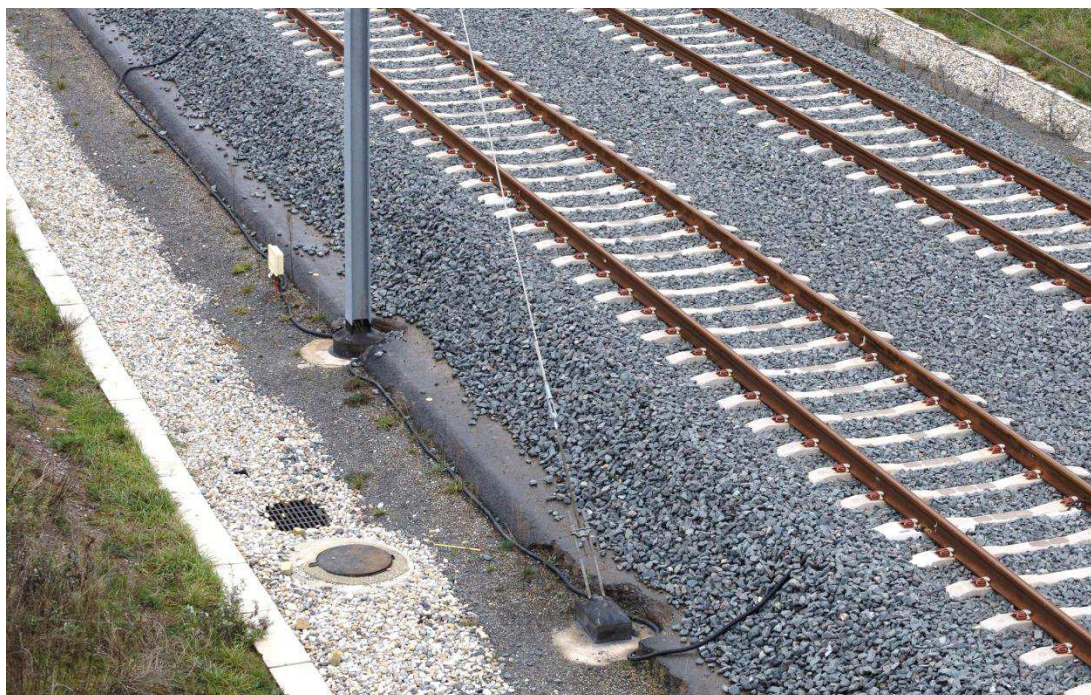
Velikost zrn	Propad zrn v % hmotnosti
mm	%
63	100
50	99–100
31,5	85–99
22	72–91
16	55–80
8	37–63
4	26–50
2	19–39
1	14–32
0,5	10–24
0,25	8–18
0,125	6–13
0,08	4–8

Ochrana proti mrazu je zajištěna výše uvedeným návrhem konstrukčních vrstev a materiálu v aktivní zóně zemní pláně. V průběhu prací na železničním spodku je zhotovitel povinen chránit všechny části spodku před poškozením vzniklým působením mrazu. Při definování opatření proti účinkům mrazu je nutné brát v úvahu odolnost materiálů plání vůči mrazu a hloubku promrzání při běžné zimě. Pokud je konstrukční vrstva zřízena před zimním obdobím z důvodu ochrany pláně, musí být nenamrzavá, nebo chráněna vrstvou materiálu, který bude snesen po rozmrznutí (oblevě) a v době tání nebude umožněn provoz. Ve všech případech je prováděna na poslední vrstvě kontrola únosnosti po období mráz – tání a před provedením další vrstvy. Všechny vrstvy poškozené během provozu vlivem mrazu a následného tání musí být odstraněny a nahrazeny kvalitními materiály.

Pro návrh **asfaltobetonové konstrukční vrstvy** byla uvažována životnost 60 let a adekvátně k tomu započten provoz jak během výstavby či výměny lože automobily, tak očekávaný provoz po kolejích. Navržena byla skladba s mocností 14 cm asfaltobetonové vrstvy ( $E=9\,000\text{ MPa}$ ), spojovacím asfaltovým postřikem o množství  $1,5\text{ kg/m}^2$  a 20cm vyrovnávací vrstvou ze štěrkodrti fr. 0/31,5, pod níž byla požadována únosnost 80 MPa (dosažená standardně používanou vrstvou v aktivní zóně). Šířka asfaltobetonové vrstvy byla zvolena 3,1 m od osy koleje, tak aby pokryla šířku kolejového lože s rezervou pro převýšení i jeho doplnění. Měření na zkušebním úseku prokázalo výrazný pokles napětí přenášených do dalších podkladních vrstev oproti konstrukci bez asfaltobetonu a potvrdilo aktivaci tahových napětí na spodní straně konstrukční vrstvy. Geometrie koleje vykazovala pomalejší rozpad než v jiných úsecích.



Obrázek 67: /FR/: Měření teplot asfaltobetonové konstrukční vrstvy za roky 2006–2009 (zdroj: SNCF).



Obrázek 68: /FR/: Pláň z asfaltobetonu na trati LGV Est européenne v úseku dokončeném v roce 2016.



#### 4.2.4 ŠPANĚLSKO

V /ES/ probíhá návrh pražcového podloží [56] typicky zatříděním podloží do třídy kvality a poté tabulkovým návrhem mocnosti spodní konstrukční vrstvy a jednoduchým výpočtem tloušťky horní konstrukční vrstvy.

Tabulka: /ES/: Zatřídění zemin zemní pláně

	Typ zeminy (geotechnická klasifikace)	Třída kvality
0.1	Zeminy s vysokým obsahem organických částic	QS0
0.2	Měkké zeminy s obsahem jemných částic > 15 % a s vysokou vlhkostí, nevhodné pro zhutnění	
0.3	Tixotropní zeminy - např. jíly	
0.4	Zeminy obsahující rozpustný materiál	
0.5	Kontaminované zeminy	
0.6	Zeminy se středním obsahem organických částic	
0.7	Zeminy s vysokou plasticitou a s obsahem jemných částic > 15 %	
1.1	Zeminy s obsahem jemných částic > 40 % (kromě č. 0.2 a 0.7)	QS1
1.2	Horniny velmi citlivé na erozi (křída s $\delta < 1,7 \text{ t/m}^3$ a s vysokou drobitostí, slíny, zvětralé břidlice)	
1.3	Zeminy s obsahem jemných částic mezi 15 a 40 % (kromě č. 0.2 a 0.7)	QS1*
1.4	Horniny mírně citlivé na erozi (křída s $\delta < 1,7 \text{ t/m}^3$ a s nízkou drobitostí, nezvětralé břidlice)	
1.5	Měkké horniny (např. se součinitelem odolnosti proti otěru MDH > 40 a součinitelem odolnosti proti drcení LA > 40)	
2.1	Zeminy s obsahem jemných částic mezi 5 - 15%	QS2**
2.2	Zeminy s obsahem jemných částic < 5%	
2.3	Středně tvrdé horniny ( $25 < \text{MDH} \leq 40$ ; $30 < \text{LA} \leq 40$ )	
3.1	Dobře zrněné zeminy s obsahem jemných částic < 5%	QS3
3.2	Tvrdé horniny ( $\text{MDH} \leq 25$ ; $\text{LA} \leq 30$ )	

\* Mohou spadat do třídy QS2 za dobrých hydrogeologických a hydrologických podmínek.

\*\* Mohou spadat do třídy QS3 za dobrých hydrogeologických a hydrologických podmínek.

Pro návrh **spodní konstrukční vrstvy** se rozlišují tři úrovně kvality parapláně, pro novostavby připadá v úvahu pouze nejvyšší P3. Podmínky pro materiál této vrstvy a návrh její tloušťky uvádí následující tabulky, v zásadě jde o kvalitní zrnitý materiál.

Tabulka: /ES/: Použitelnost materiálů do spodní konstrukční vrstvy

Třída materiálu	Použitelnost materiálu
QS 2.3	Vždy použitelné
QS 3.1	
QS 3.2	
QS 1.1	
QS 1.3	Podmínečně použitelné (nutno vzít v úvahu vlhkost, klimatické podmínky, omezenou výšku náspu atd.)
QS 1.4	
QS 1.5	
QS 2.1	
QS 2.2	
zbytek	Nepoužitelné

Místo níže uvedených minimálních mocností bývají obvykle používány hodnoty 0, 40 a 60 cm, zřizované dvěma vrstvami v tloušťkách mezi 20 a 30 cm. Při změně tloušťky vrstvy se provádí podélná rampa ve sklonu 2 %.

Tabulka: /ES/: Tloušťka spodní konstrukční vrstvy

Zemní pláš		Typ parapláně	Požadavky na spodní konstrukční vrstvu		
Třída kvality zeminy	CBR (min.) in-situ		Třída kvality materiálu	CBR (min.) po zhutnění	Minimální tloušťka
	-				m
QS1	2	P1	QS1	2	*
		P2	QS2	5	0,50
		P2	QS3	17	0,35
		P3	QS3	17	0,50
QS2	5	P2	QS2	5	*
		P3	QS3	17	0,35
QS3	17	P3	QS3	17	**

\* Dle dalších ustanovení.

\*\* Lze vypustit spodní konstrukční vrstvu, ale povrch zemní pláně musí mít  $\delta \geq 100\%$  do hloubky min. 0,50 m a  $E_{v2} \geq 80$  MPa.

Tloušťka **horní konstrukční vrstvy** závisí na několika faktorech. Rozsah provozu je jedním z nich. Prvním krokem je stanovení denních intenzit provozu v daném úseku. Hodnota  $T_e$  definuje přepočtenou hrubou projetou zátěž (z osobní i nákladní dopravy) a stanoví se dle vzorce  $T_e = S_v \times (T_v + 1,4 \times T_{tv}) + S_m \times (K_m \times T_m + 1,4 \times T_{tm})$ , kde je z pohledu VRT důležitý především součinitel  $S_v$ , nabývající hodnot od 1,00 pro rychlost do 60 km/h po 1,50 pro rychlosti nad 250 km/h. Vypočtené hodnoty se zařadí do skupin 1–6 od více než 130 000 t po méně než 5 000 t denně. Rozhraní mezi skupinami 4 a 5 tvoří hodnota 20 000 t denně. Pro

stanovení tloušťky vrstvy pak obvykle platí vztah  $e_{sb} = E + a + b + c + d + f - e_b$ , kde  $e_{sb}$  je tloušťka dané vrstvy a  $e_b$  je tloušťka kolejového lože. Zbývající hodnoty jsou uvedeny v tabulce. Minimální tloušťka vrstvy musí být 0,15 m.

Tabulka: /ES/: Součinitele pro stanovení tloušťky horní konstrukční vrstvy

Opravný součinitel	Hodnota součinitele	Podmínka použití
E (typ PTŽS)	0,70	pro parapláň typu P1
	0,55	pro parapláň typu P2
	0,45	pro parapláň typu P3
a (rozsah provozu)	0	pro skupiny 1 až 4
	-0,10	pro skupiny 5 a 6
b (typ pražců)	0	pro dřevěné pražce délky $L \geq 2,60$ m
	$(2,5-L)/2$	pro betonové pražce délky L
c (obtížnost provedení)	0	normální situace
	-0,10	těžké pracovní podmínky na stávajících tratích
d (zatížení na nápravu)	0	max. nápravová hmotnost 20,0 t
	+0,05	max. nápravová hmotnost 22,5 t
	+0,12	max. nápravová hmotnost 25,0 t
f (pro podkladní vrstvu)	0	bez geotextílie, třída podkladní vrstvy QS3
		s geotextílií, třída podkladní vrstvy QS1 nebo QS2

Materiál horní konstrukční vrstvy ze směsi drceného kameniva obvyklé frakce 0/31,5 je vymezen plynulými křivkami zrnitosti, odpovídajícími zhruba minerální směsi v našich podmínkách. Koeficient nestejnzrnnosti musí být  $C_u \geq 14$ , koeficient křivosti 1,0–3,0, součinitel LA < 28 % a filtrační koeficient při požadované míře zhutnění 100 % nejvíce  $1 \times 10^{-6}$  m/s. Minimální sklon povrchu vrstvy je 3 %.

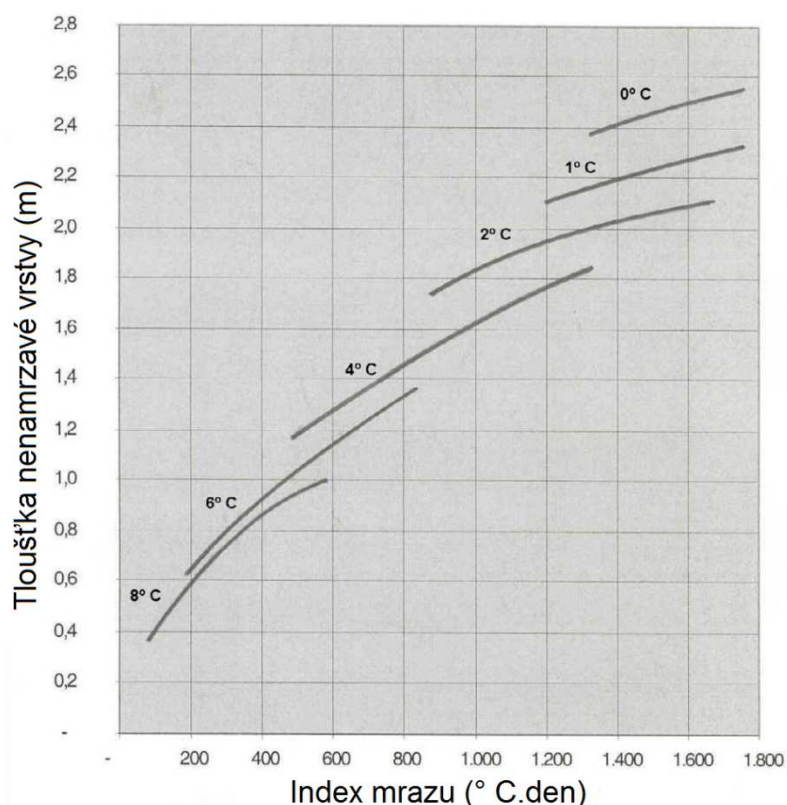
Tabulka: /ES/: Zrnitost horní konstrukční vrstvy fr. 0/31,5

Velikost zrn	Propad zrn v % hmotnosti
mm	%
40	100
31,5	90–100
16	85–95
8	65–80
4	45–65
2	30–50
0,5	10–40
0,2	5–25
0,063	3–9

Další podmínkou pro návrh spodní i horní KV je zajištění úplné ochrany zemní pláně před účinky mrazu. Podle indexu mrazu a průměrné zimní teploty se z grafu (viz obrázek níže) odečte minimální tloušťka nenamrzavé vrstvy od horního povrchu kolejového lože. Přitom pokud průměrná teplota přesahuje 8 °C, použije se křivka pro 8 °C. Materiály konstrukčních vrstev se považují za nenamrzavé, pokud jsou splněna následující kritéria:

- $L_m \leq 3 \%$  pro  $C_u \geq 15$
- $L_m \leq (13,5 - 0,7 \times C_u) \%$  pro  $5 < C_u < 15$
- $L_m \leq 10 \%$  pro  $C_u \leq 5$

kde  $L_m$  je hmotnostní procento částic s průměrem menším než 0,02 mm a  $C_u$  je číslo nestejnozrnnosti (podíl velikosti částic  $d_{60} / d_{10}$ ).



Obrázek 69: /ES/: Návrh tloušťky nenamrzavé vrstvy.

Měření modulů přetvárnosti na zemní pláni, parapláni i PTŽS se provádí statickou zatěžovací zkouškou dle národní normy UNE 103808 s deskou o průměru 300 mm a dvěma zatěžovacími cykly. Modul přetvárnosti se stanovuje podobně jako v tuzemsku, v prvním zatěžovacím cyklu je však vnášen nižší tlak (cca 43 % nejvyšší hodnoty) a modul v druhém cyklu se stanovuje pouze z rozdílu tlaku a zatlačení oproti prvnímu cyklu. Vychází-li poměr modulů  $E_{v2}/E_{v1}$  (stanovených z druhého, resp. z prvního zatěžovacího cyklu) větší než 2,2, za reprezentativní se považuje modul  $E_{v1}$ . Na PTŽS je požadováno dosažení alespoň 120 MPa, na paraplání 80 MPa.

Míra zhutnění horní konstrukční vrstvy se posuzuje vždy ze skupiny šesti vzorků ze stanoveného úseku s využitím zkoušky Proctor modifikovaný a podmínkou dosažení v průměru alespoň 100 %. Přitom nejvýše dvě zkoušky mohou dosahovat méně než 100 %, ale zároveň minimálně 98 %. Pro spodní konstrukční vrstvu platí podobný postup s požadovanou mírou zhutnění alespoň 95 %.

Při kontrole provedených vrstev se kromě únosnosti posuzuje též geometrická přesnost, na PTŽS jsou povoleny výškové odchylky  $\pm 15$  mm a současně max. 10 mm naměřených podélně či příčně třímetrovou latí. Na spodní konstrukční vrstvě musí být dosažena přesnost mezi  $-30$  mm a  $+15$  mm oproti projektované výšce. V obou případech se geodeticky zaměřují body po 20 metrech a ověřuje se též příčný sklon plání.

---

#### 4.2.5 ITÁLIE

---

Konstrukce pražcového podloží na drtivé většině AV/AC tratí v **/IT/** budovaných v posledních letech využívá asfaltobetonovou konstrukční vrstvu, odchylně od řešení v **/AT/** nebo **/FR/** prováděnou na celou šířku koruny tělesa. Hlavními motivy pro použití této konstrukce u RFI byly:

- lepší distribuce zatížení do podkladních vrstev,
- schopnost absorbovat lokální sedání pláně i sedání celých náspů,
- nepropustnost (ochrana zemní pláně před dešťovou vodou),
- odolnost proti mrazu,
- snadné provádění (rychlost, velké množství dodavatelů, možnost pojíždění).

Pro vrchní asfaltobetonovou vrstvu se používá kamenivo fr. 0/20, objem pojiva 4,4 % a používá se návrhový modul pružnosti v tahu 2,3 MPa, resp. v tlaku 9 000 MPa při 20 °C a 4 000 MPa při 30 °C. Na PTŽS je požadován modul přetvárnosti alespoň 200 MPa.

Spodní konstrukční vrstvu standardní (a zároveň minimální) tloušťky 30 cm tvoří nestmelená směs drceného kameniva fr. 0/30 nebo 0/15 dle národního předpisu určeného pro silniční stavitelství [58]. Další požadavky definuje vnitřní předpis RFI [59]. Propad mezi síty s oky 0,075 mm a 0,4 mm nesmí činit 2/3 celkové hmotnosti nebo více a poměr únosnosti CBR musí být po zhutnění minimálně 50 %. Otlukovost LA musí být do 50 %. Vrstva musí být zhutněna na míru zhutnění 98 % (stanovenou poměrem objemové hmotnosti pro suchý vzorek a objemové hmotnosti stanovené zkouškou Proctor modifikovaný). V prvním zatěžovacím cyklu statické zatěžovací zkoušky (s kruhovou deskou průměru 300 mm) musí být zajištěn modul přetvárnosti minimálně  $E=80$  MPa a poměr modulů stanovených v prvním a druhém zatěžovacím cyklu nesmí být menší než 0,60. Pro zatěžování se používá tlak 0,05–0,15 MPa. Výše uvedené požadavky se blíží parametrům šterkodrti v tuzemských podmínkách.



Tabulka: /IT/: Zrnitost spodní konstrukční vrstvy

Velikost zrn mm	Propad zrn v % hmotnosti	
	0/30	0/15
	%	%
71	100	100
30	70–100	100
15		70–100
10	30–70	50–85
5	23–55	35–65
2	15–40	25–50
0,4	8–25	15–30
0,075	2–15	5–15

## 4.3 TĚLESO

### 4.3.1 RAKOUSKO

Podrobné předpisy pro návrh zemního tělesa v /AT/ se nepodařilo zajistit.

Svahy zemního tělesa s vegetační ochranou se navrhují podle vlastností zemin až do sklonu 1 : 1,25 a jejich vnější hrany se zaoblují s tečnami délky 1,5 m. Humózní vrstva se navrhuje v tloušťce alespoň 0,10 m a při sklonech strmějších než 1 : 1,5 se doplňuje o protierozní opatření v podobě například rohoží. Při výškách svahů nad 10 m se navrhují 3m lavičky ve sklonu 5 % s povrchem ze štěrkodrti. U novostaveb i při rekonstrukcích stávajících tratí se často souběžně s tratí buduje přístupová komunikace pro údržbu v šířce 3,5 m.

### 4.3.2 NĚMECKO

Většina požadavků na konstrukci železničního spodku je shrnuta do interního předpisu DB [43].

#### ZEMNÍ PLÁŇ

Základní příčný sklon zemní pláně činí 5 % shodně s PTŽS. V případě PJD může být snížen na 2,5 %. V prostoru kolejových spojek může být snížen na 3 %. Změny sklonů se provádí na délku cca 5 m.

Požadavky na dosažené moduly přetvárnosti na zemní pláni jsou uvedeny v tabulce v kap. 4.2.2.

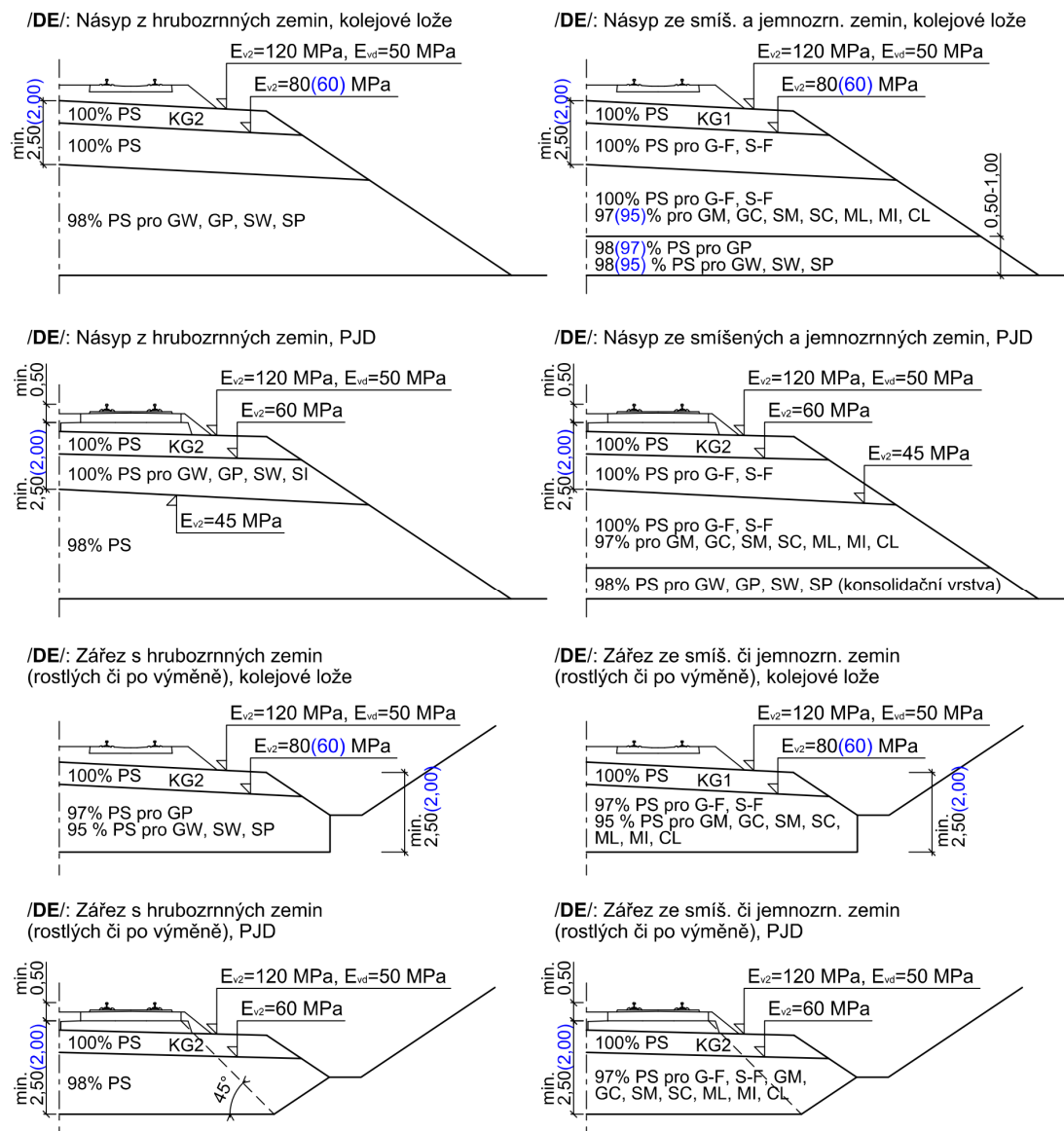
Zemní pláň musí být provedena ve výšce  $\pm 30$  mm od projektované výšky, výška a příčný sklon se ověřují každých 30 m. Nepřesnosti na povrchu pláně měřené 4m latí musí být do 20 mm.

## ZEMNÍ TĚLESO

---

Založení zemního tělesa lze při dostatečné kvalitě podloží provést přímo na základové spáře po skryvce. V ostatních případech se použije konsolidační vrstva tloušťky 0,50–1,00 m ze štěrkovitého nebo písčitého materiálu. Na nedostatečně únosném podloží lze použít hlubinné zakládání zemního tělesa. Konstrukce s vrtanými velkoprofilovými pilotami bez roznášecích prvků se používá při výšce přesypávky alespoň 4 m a současně na tratích s rychlostí do 160 km/h. Pro rozšíření stávajících náspů a zlepšení jejich únosnosti nebo pro omezení sedání se používá konstrukce s velkoprofilovými pilotami překrytými zemním tělesem z vyztužených zemin. To musí mít mezi povrchem pilot a ložnou plochou pražců výšku alespoň 2 m, pro rychlost nad 230 km/h alespoň 3 m. Extrémní konstrukcí je železobetonová deska na beraněných prefabrikovaných železobetonových pilotách. V takovém případě musí být nad deskou alespoň 30cm konstrukční vrstva a při rychlostech nad 160 km/h je nezbytný návrh podštěrkové antivibrační rohože. Základová spára zemního tělesa ve sklonu větším než 10 % se upravuje svahovými stupni výšky cca 0,60 m.

Náspy se provádí po vrstvách s minimálním příčným sklonem 2,5 %. Hutnění probíhá až po okraj svahu a aby bylo zajištěno dostatečné zhutnění krajních oblastí, měla by být nasypávka širší než plánovaná linie svahu (cca o 1 m).



Pozn.: Platí pro kategorii trati P300, hodnoty odlišné pro kategorii P230 či M230 jsou **vyznačeny modře**.

Obrázek 70: /DE/: Požadavky na konstrukci novostavby zemního tělesa dle [43].

Skladba zemního tělesa odlišná od výše uvedených standardních řešení navržená na trati kategorie P300 vyžaduje schválení centrály DB.

Na vrstvách zemního tělesa se stejně jako na zemní pláni požaduje ověření míry zhutnění a únosnosti (formou statické zatěžovací zkoušky) každých 5 000 m<sup>2</sup>, resp. každých 2 500 m<sup>2</sup> u zemního tělesa pro PJD. Při variantním použití dynamické zatěžovací zkoušky se počet ověření zvyšuje nejméně dvakrát. Míra zhutnění se stanovuje jako podíl ke zkoušce Proctor standard.

Požadavky na geometrickou přesnost provedení zemního tělesa jsou obdobné s požadavky pro zemní pláš. Na svazích jsou povoleny geometrické nepřesnosti do 50 mm měřené 4m latí.

Na trati s PJD je povoleno zbytkové sedání po dokončení PJD čítající příslušnou část konsolidace a stlačení zemního tělesa takové, aby v libovolném bodě myšlené úsečky referenční délky podélné s osou koleje nebylo sedání větší než 1/500 této délky. Celkové zbytkové sedání nesmí překročit 15 mm. V případě jednotné geologie na délku více než 100 m, kde nejsou očekávány odlišné hodnoty sedání o více než 0,5 cm, lze použít limit 30 mm. V ojedinělých případech lze povolit celkové zbytkové sedání až 60 mm za předpokladu dodržení tvaru poklesové kotliny, který bude odpovídat teoretickému zakružovacímu oblouku o poloměru alespoň  $0,4 \times V^2$  (se souhlasem DB až  $0,25 \times V^2$ ). V těchto případech lze v projektu navrhnout nadvýšení odpovídající předpokládané poklesové kotlině. Výše uvedená úlevová ustanovení lze aplikovat na násypy vyšší než 10 m s dostatečně dlouhými přechody k zářezům a bez mostů. V přechodových oblastech mostů je přípustné sedání ve vzdálenosti 30 m od opěry maximálně 20 mm a sklon poklesové kotliny od opěry mostu nesmí být větší než 1 ‰. V koleji s kolejovým ložem a rychlostí přes 200 km/h je přípustné zbytkové sedání 30 mm. Sedání zemního tělesa se musí zaznamenávat s přesností  $\pm 3$  mm, resp.  $\pm 1$  mm u tělesa pro PJD.

Při zvyšování rychlosti přes 200 km/h na stávající trati je nezbytné prověření stavu a únosnosti zemního tělesa, stejně jako staveb železničního spodku a splnění požadavků pro vyšší rychlosti. Nezbytnou součástí takového zvyšování rychlosti, stejně jako u novostavby, je prověření dynamické stability tělesa při jeho zatížení vibracemi z provozu. Na stávající zemní těleso je při modernizaci nezbytné klást předpisové požadavky jako na novostavbu v případě, že návrhová rychlost je vyšší než 230 km/h nebo se počítá s PJD.

Maximální sklony definuje předpis dle následující tabulky, která platí pro jednoduché geologické a hydrologické podmínky.

Tabulka: /DE/: Předepsané standardní sklony svahů zemního tělesa

Typ zemního tělesa	Skupina zemin	Označení zemin	Výška svahu	Sklon svahu
			m	
Násyp	hrubozrnné	GP	0–12	1:1,5
		GW, SP	0–12	1:1,7
		SW	0–12	1:2,0
	smíšené	G-F, GM, GC, S-F, SM, SC	0–6	1:1,6
			6–9	1:1,8
			9–12	1:2,0
Zářez	hrubozrnné	GP	0–12	1:1,5
		GW, SP	0–12	1:1,7
		SW	0–12	1:2,0
	smíšené a jemnozrnné	G-F, GM, GC, S-F, SM, SC, ML, CL	0–6	1:1,6
			6–9	1:1,8
			9–12	1:2,0

Svahy mají mít konstantní sklon na celou výšku. Svahy zemního tělesa výšky nad 12 metrů nebo ve složitých podmínkách musí být posouzeny a ověřena jejich stabilita. Zemní svahy se sklonem větším než 1:1,2 nejsou bez zajištění povrchu přípustné. Pokud nelze zajistit stabilita svahu, je nutné vybudovat opěrné konstrukce. U svahů vyšších než 12 m a se sklonem strmějším než 1 : 1,8 se zřizují lavičky pro ulehčení údržby. Měly by mít šířku min. 2,50 m a příčný sklon min. 5 % směrem k patě svahu. V prostoru laviček nelze navrhovat žádné odvodnění. Ochrana svahů se navrhuje standardními metodami obvyklými i v tuzemsku, tloušťka humózní vrstvy pro vegetační ochranu svahů je 10–20 cm.

Skalní svahy podle předpisu vyžadují ochranný příkop v šířce 3–6,5 m hloubky 1 až 2 metry. Ve skalních svazích se standardně neprovádějí lavičky (snižují jejich stabilitu), ty lze navrhnout jen ve specifických případech. V praxi se kvůli údržbové náročnosti, bezpečnosti a přístupu k trati prosazují na síti VRT prakticky pouze zemní svahy. Svahy ve skalních horninách jsou buď upraveny do malých sklonů jako zemní svahy, nebo chráněny obkladními či zárubními zdmi.



Obrázek 71: /DE/: Zářez ve skalních horninách na trati Ebensfeld – Erfurt ve výhybně Theuern (zdroj: Hannes Frank, DB).

#### PŘECHOD NA STAVBY ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

Přechodové oblasti mostních objektů se musí podle níže uvedených ustanovení zřizovat při novostavbách tratí, novostavbách mostů ve stávajícím tělese nebo rekonstrukci stávajících mostů s odkrytím nadnásypu. Opěry a křídla mostních objektů musí být tuhé a po zatížení nesmí podléhat naklonění nebo jiným deformacím. Přechodový klín u mostů se provádí i při šikmém křížení kolmý k ose koleje. Vnější část přechodové oblasti se zhotovuje buď po vrstvách společně s navazujícím násypem, nebo v předstihu před jeho realizací a se



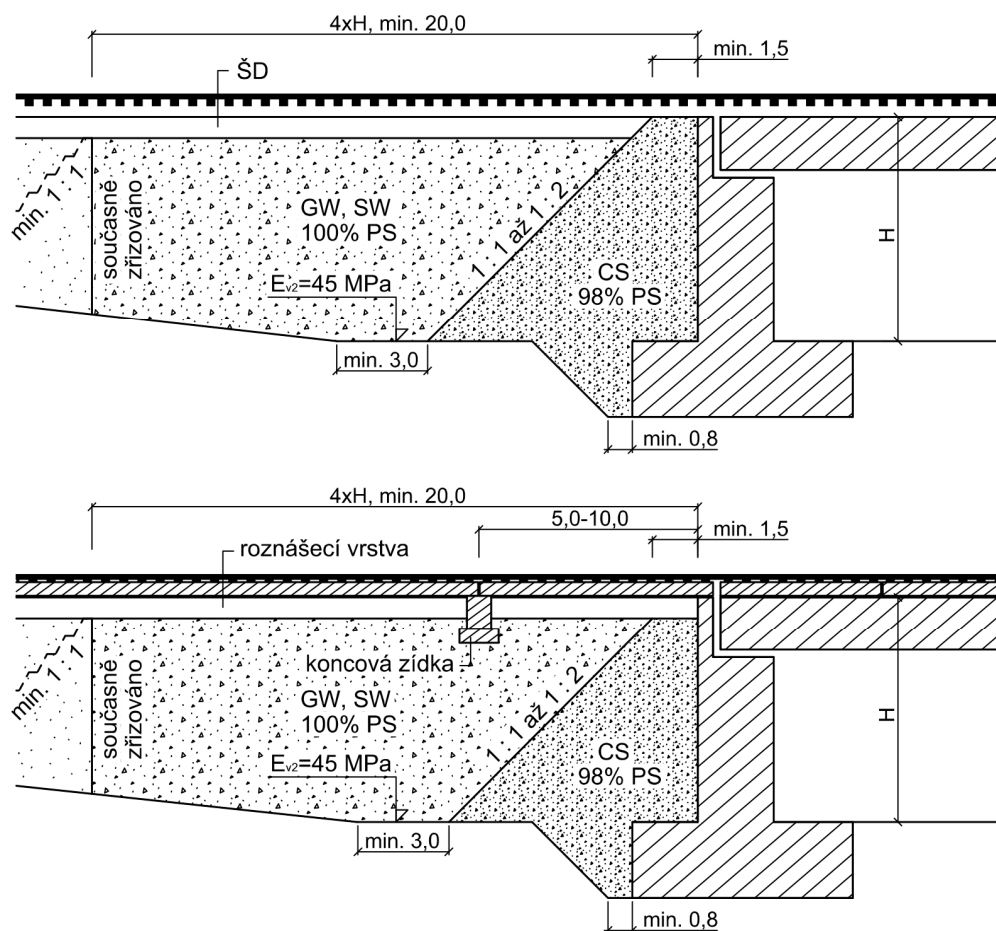
zazubeným povrchem. Provádění přechodové oblasti až po dokončení zemního tělesa není u novostaveb povoleno s ohledem na časový průběh sedání. Během provádění přechodové oblasti se ověřuje míra zhutnění a únosnost na každé druhé vrstvě a na povrchu celé konstrukce se provádějí tři měření únosnosti a jedno ověření zhutnění.

Konstrukční vrstvy procházejí nad vnější částí přechodového klínu a končí u stabilizované části klínu. Tloušťka vrstev je standardní, pouze u tratí kategorie P230, M230 a P300 s kolejovým ložem se v přechodové oblasti zesilují. Povrch PTŽS navazuje na povrch nosné konstrukce a přechod do příčného sklonu v trati se realizuje na 5 až 10 metrech za křídly mostu. V přechodové oblasti s PJD se roznášecí vrstva (HGT) provádí až k opěře mostu a ve vzdálenosti 5 až 10 m od opěry se realizuje žb. koncová zídka, která tvoří pevný bod a odděluje PJD provedenou v uspořádání pro mosty od PJD v uspořádání pro zemní těleso.

Přechodový klín u opěry se provádí z cementové stabilizace, navazující blok z kvalitního štěrkovitého či písčitého materiálu.



Obrázek 72: /DE/: Armování koncové zídky na budoucím styku PJD mezi zemním tělesem a mostem na trati NBS Ebensfeld – Erfurt.



Obrázek 73: /DE/: Přejít ze zemního tělesa na most.

#### 4.3.3 FRANCIE

##### ZEMNÍ PLÁŇ

Základní příčný sklon zemní pláně je 4 % i v případě použití asfaltobetonové konstrukční vrstvy.

Předpis [7] definuje minimální únosnost zemní pláně na povrchu zemního tělesa a stanovuje podmínky pro její dodržení. Míra zhutnění zemní pláně musí být minimálně 96 % zkoušky Proctor standard. V případě potřeby též popisuje nezbytné úpravy pro zlepšení vlastností zemín v aktivní zóně. Zeminy zemní pláně jsou zařazeny do čtyř tříd dle následující tabulky.

Tabulka: /FR/: Požadavky na zeminy zemní pláň

Třída	Název	Modul přetvárnosti
		MPa
S0	Zemina nevhodná do zemní pláň	
S1	Ucházející kvalita půdy	30
S2	Dobrá kvalita půdy	50
S3	Velmi dobrá kvalita půdy	80

**Zemina třídy S0** by měla být odtěžena a nahrazena materiálem lepší kvality, popř. upravena tak, aby **dosáhla kvality třídy S1**. Zlepšení by mělo být minimálně o tloušťce 35 cm. Minimální moduly přetvárnosti dosažené po zlepšení jsou při převzetí 40 MPa v 95 % měření a více jak 30 MPa ve 100 % měření.

**Zemina třídy S0 nebo S1 zlepšená na třídu S2** musí být zlepšena v tloušťce minimálně 35 cm. Možností je použití hydraulických pojiv a nehašeného vápna. Kontrola probíhá statickou nebo dynamickou zatěžovací zkouškou a je požadováno dosažení 80 MPa pro zlepšené materiály ve 100 % měření.

**Zemina třídy S2** bez zlepšení musí dosahovat alespoň  $E_{v2} \geq 60$  MPa, kdy žádné měření nezjistí hodnotu menší než 50 MPa.

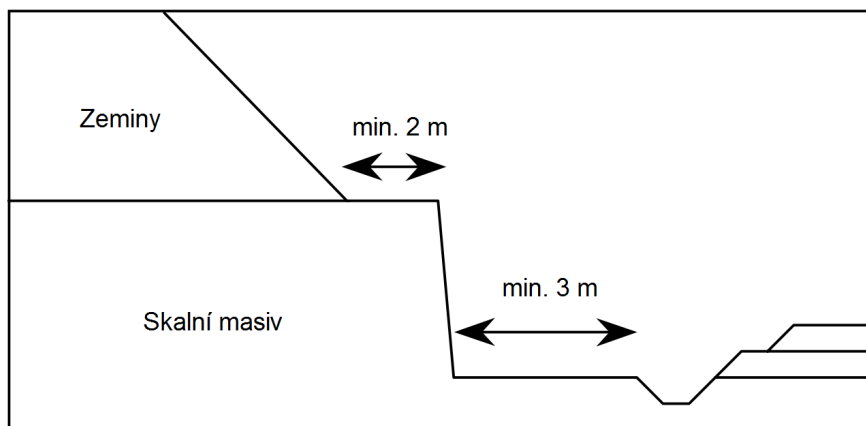
Zeminy nižších tříd nelze zlepšit na třídu S3, resp. i při dosažení předepsaného modulu přetvárnosti se s takovou zemní plání uvažuje jako s třídou S2.

### ZÁŘEZY

Sklon zemních svahů má být 1 : 1,5 nebo mírnější dle geotechnických a hydrogeologických poměrů. Pro posuzování svahů se u dříve realizovaných staveb požadoval stupeň bezpečnosti 1,5. U paty zářezových svahů vyšších než 12 m se zřizuje lavice o minimální šířce 3,0 m pro potřeby pojezdu vozidly zajišťujícími údržbu svahů. Současně se ponechává nad svahem minimální volný prostor (před oplocením) 4,5 m. Obě uvedená opatření bývají však v některých případech v praxi porušována. V zářezích musí být vždy dodržena minimální hloubka odvodnění 1,50 m pod střechou PTŽS. Ochrana svahů ohrožených vodní erozí, svahů s výrony vody apod. se provádí drenážní vrstvou na svahu tloušťky minimálně 0,50 m, příčnými odvodňovacími žebry apod. Maximální frakce kameniva pro tyto účely je 300 mm.

Pro návrh skalních zářezů je zásadní podmínka, že žádný skalní blok nesmí svou trajektorií ohrozit provoz dráhy (průjezdny průřez a veškeré zařízení pro provoz). V závislosti na charakteru masivu a směru diskontinuit to může vést ke značnému zvětšení profilu zářezu. S ohledem na geologii i výše uvedený požadavek jsou ve /FR/ skalní zářezy na síti LGV zcela výjimečné. U paty skalních svahů se vytvářejí volné prostory o minimální šířce 3,0 m, které slouží k zachycení případných padajících úlomků. Při návrhu je nutné zohlednit, že prostory budou poježděny vozidly pro případnou údržbu svahů. U svahů, jejichž spodní část je

tvořena skalními horninami, se zřizuje lavice o šířce min. 2,0 m v místě povrchu skalního masívu.



Obrázek 74: /FR/: Uspořádání skalního zářezu.



Obrázek 75: /FR/: Skalní zářez u obce Prény (zdroj: <https://maps.google.com/>).

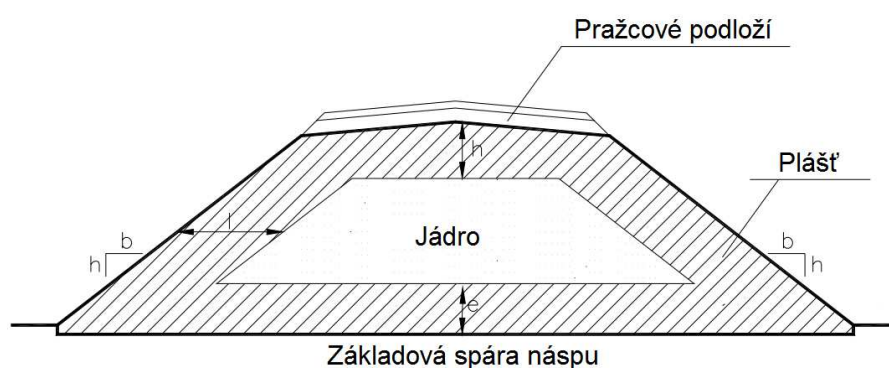
## NÁSPY

Při založení náspů na nevhodných stlačitelných, vysoce plastických nebo bobtnavých zeminách se povoluje maximální sedání náspu 10 cm od položení konstrukční vrstvy s omezením rychlosti sedání na 1 cm ročně. Pro výpočet sedání se používá souhrnná hodnota statického zatížení 30 kPa pro kolejový rošt i provoz. Přísnější požadavky pro okolí umělých staveb se definují pro konkrétní případy během realizace. Vzdálenost dvou po sobě jdoucích tuhých konstrukcí na stlačitelných (měkkých) zeminách nesmí být méně než 70 m. Standardními úpravami nevhodného podloží pro založení náspů je zřízení konsolidační vrstvy s maximální frakcí mezi 20 a 500 mm a obsahem zrn menších než 2 mm do 70 % a součtem hodnot LA+MDE (Micro Deval) ne větším než 100 v tloušťce minimálně 30 cm. Na materiál jsou kladeny ještě další požadavky pro zajištění funkce kapilární bariéry.



Při zřízení konsolidační vrstvy se doporučuje realizace hlubokých podélných příkopů. Dále se pro zakládání náspů na nevhodných zeminách používají šterkové piloty či různé další odvodňovací systémy pro urychlení konsolidace. V nezbytných případech se po důkladném posouzení nákladů, časové náročnosti i vlivu na životní prostředí provádí odtěžení nevhodných materiálů a jejich náhrada.

Konstrukce náspů je obvykle z vrstev obdobného nenamrzavého materiálu, s jádrem z podmíněčně vhodných zemin, v některých případech zlepšených, nebo s odlišným materiálem do úrovně nejvyšší hladiny vody v záplavových územích. Největší frakce kamenitého materiálu je 500 mm. V poslední vrstvě pod zemní plání s tloušťkou 0,70 m je maximální velikost zrn kameniva 300 mm. Náspy s jádrem a pláštěm se navrhují s pláštěm z kamenitého materiálu frakce do 63 až 500 mm. Minimální šířka pláště je 3,0 m a minimální výška téhož materiálu v aktivní zóně i ve funkci konsolidační vrstvy 1,0 m.



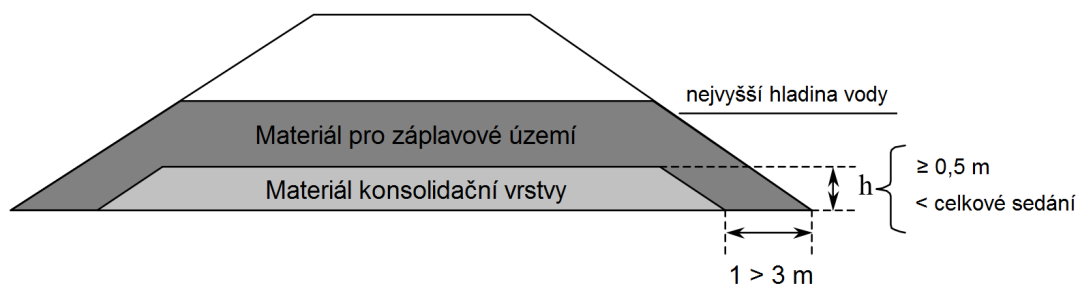
Obrázek 76: /FR/: Konstrukce náspu s jádrem.

Pro konstrukci náspů v záplavovém území se používá do výšky 0,5 m nad nejvyšší hladinu vody zrnitý materiál s největší frakcí mezi 20 a 500 mm. Je-li velikost největšího zrna do 63 mm, zajišťuje se ochrana svahů proti erozi. Při použití frakce do 20 mm se navrhuje tento do jádra, obaleného separační a filtrační geotextilií a minimálně 3m vrstvou (měřeno vodorovně) hrubějšího kamenitého materiálu. Střecha PTŽS musí být nejméně 1,50 m nad nejvyšší hladinou vody.

Zvláštním případem je použití křídových zemin, které lze podle jejich dalšího zařazení použít do náspu bez úprav v maximální výšce 5–10 m. V aktivní zóně nad takto provedeným náspem je nezbytná vrstva zlepšených zemin nebo jiného materiálu s nízkou propustností. Je-li násyp vyšší, než je výše uvedeno, ve spodní části lze křídové zeminy použít pouze po zlepšení hydraulickými pojivy a založení náspu je nezbytné na konsolidační vrstvě.

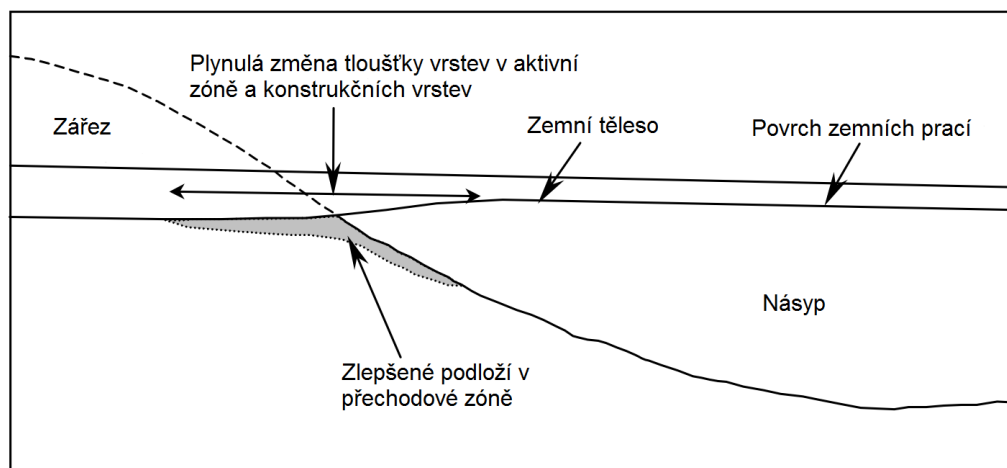
Pro urychlení konsolidace náspů se též používají přítěžovací lavice nebo nadnáspy. V extrémních případech náspů s očekávaným celkovým sedáním přes 0,5 m se postupuje podle následujícího obrázku.





Obrázek 77: /FR/: Založení násypů v záplavovém území s očekávaným velkým sedáním.

Uspořádání přechodu mezi náspy a zářezy musí zajistit plynulý průběh únosnosti a zamezit nerovnoměrnému sedání a přitékání vody z odvodnění zářezu do tělesa násypu. Standardním opatřením je lokální zlepšení zemin podloží v přechodové zóně, plynulá změna tloušťky konstrukčních vrstev a příčné drenáže při sklonu větším než 20 ‰ klesajícím ze zářezu k násypu.

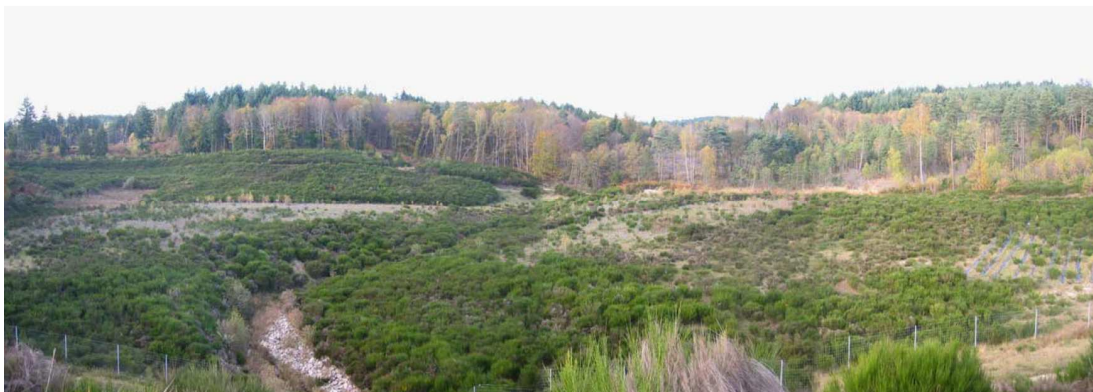


Obrázek 78: /FR/: Uspořádání přechodu ze zářezu na násyp.

Míra hutnění se kontroluje podle národního předpisu NF P 98 331 pro silniční stavitelství. Jsou zavedeny třídy hutnění, pro něž jsou definovány minimální hodnoty zkoušek Proctor standardní a Proctor modifikovaný. Pro konstrukci násypů je vyžadována míra hutnění q4 (nejméně 95 % Proctor standardní na hutněné vrstvě při dosažení nejméně 92 % Proctor standardní na podloží pod danou vrstvou). Na náspech, které jsou přerušeny mostními konstrukcemi, je požadována míra q3 (98,5 % a 96 %).

Pro ohumusování svahů násypů i zářezů se primárně používá skrytá humózní vrstva a rozprostírá se v tloušťce 10 cm. V materiálu zemního tělesa i na povrchu humózní vrstvy se provádí horizontální rýhy pro dokonalé spojení vrstev a pro omezení vodní eroze.

Specifickým případem zemních prací na VRT jsou trvalé deponie vytěžené zeminy, často nezbytné z důvodu obvykle zásadního přebytku výkopového materiálu. Ve /FR/ jsou deponie většinou navrhovány ve tvarech, které mají po rekultivaci splynout s povrchem krajiny, tedy bez pravých úhlů, ostrých hran a rovinných svahů.



Obrázek 79: /FR/: Trvalá deponie zeminy ve svahu vedle trati po několika letech od dokončení (zdroj: SNCF) .

### PŘECHOD NA STAVBY ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

Uspořádání konstrukčních vrstev v oblasti přechodového klínu se řídí výškovým rozdílem mezi teoretickou střešou PTŽS a povrchem nosné konstrukce mostního objektu (výškou přesypávky). Řešení pro různé případy je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka: /FR/: Uspořádání konstrukčních vrstev v přechodové oblasti mostů

Výška přesypávky m	Skladba konstrukčních vrstev v přechodové oblasti	Skladba konstrukčních vrstev nad mostním objektem
< 0,10	Nelze pro nezbytné nadvýšení kolejového lože na mostě.*	
< 0,30	cementová stabilizace	Žádné**
< 0,70	cementová stabilizace	cementová stabilizace
< 1,20	horní KV + spodní KV	horní KV + výběrový materiál
< 2,00	horní KV + spodní KV	horní KV + spodní KV + výběrový materiál
≥ 2,00	horní KV + spodní KV	horní KV + spodní KV + násyp + výběr. mat.

\* Neplatí při použití podpražcových podložek.

\*\* Plynulý výběh povrchu PTŽS k nosné konstrukci.

Cementová stabilizace místo obou konstrukčních vrstev se provádí ze štěrkodrti fr. 0/31,5 a hutní se na úroveň q1 (100 % Proctor modifikovaný na vrstvě a 98 % Proctor modifikovaný na zemní pláni). Geometrie PTŽS je při výšce přesypávky 0,30 m a více průběžná, při nižší nebo žádné přesypávce dochází k výběhu mezi střešou PTŽS a horním okrajem povrchu NK ve sklonu maximálně 1,5 % vůči TK na délku cementové stabilizace (není zřejmý vztah tohoto uspořádání k informacím o změnách sklonu PTŽS uvedeným v kap. 4.1). Délka této úpravy pražcového podloží je minimálně 20 m a při realizaci přechodové oblasti k již hotovému násypu též minimálně po okraj přechodového klínu na zemní pláni.

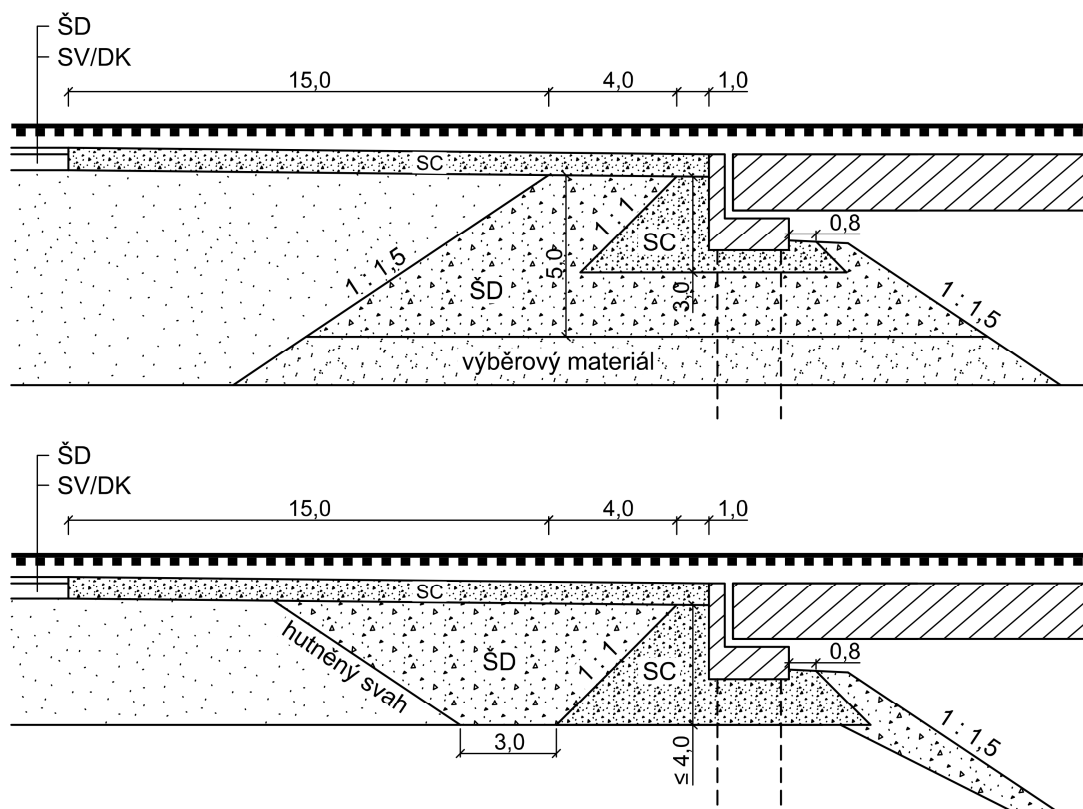
Pro konstrukci zemního tělesa v přechodové oblasti je důležité uspořádání mostního objektu (výška založení), výška tělesa a postup realizace. Předpis definuje různé materiály, které lze použít do jednotlivých míst v tělese:

- pro **blok opěry** štěrkodrt stabilizovanou cementem (minimálně 3 %) nebo jinými pojivy zlepšený materiál s pevností v příčném tahu zjištěnou Brazilskou zkouškou 0,25 MPa a modulem pružnosti v tahu alespoň 3 000 MPa,
- pro **přechodový blok** štěrkodrt bez stabilizace a
- pro **výběrový materiál** vhodný materiál s největší frakcí 150 mm, podílem zrn nad 20 mm do 30 % a modulem přetvárnosti alespoň 50 MPa; vyloučeny jsou některé jemnozrné zeminy, lze navrhovat zeminy zlepšené.

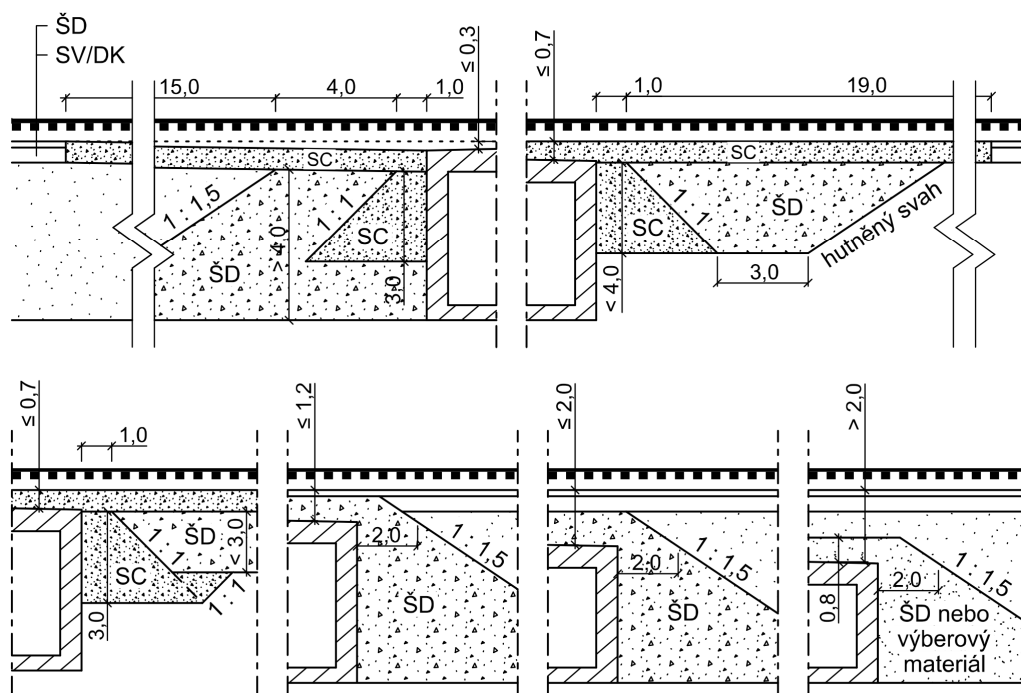
Materiály v přechodové oblasti musí dosáhnout míry zhutnění  $q_3$  odpovídající 98,5 % zkoušky Proctor standard na povrchu vrstvy a 96 % na podloží dané vrstvy. Geometrické uspořádání přechodových klínů je definováno pro čtyři různé výšky:

- $\leq 3$  m: blok opěry má výšku 3 m a leží ve výkopu, přechodový blok leží na rostlém terénu;
- $\leq 4$  m: blok opěry i přechodový blok leží na rostlém terénu;
- $\leq 5$  m: blok opěry má výšku 3 m a leží na přechodovém bloku;
- $> 5$  m: blok opěry má výšku 3 m a leží na 2m vrstvě přechodového bloku, která spočívá na vrstvě výběrového materiálu.

Při vzdálenosti umělých staveb do 70 metrů se provádí konstrukce zemního tělesa průběžně z výběrového materiálu a konstrukční vrstvy z cementové stabilizace.



Obrázek 80: /FR/: Přechod ze zemního tělesa na most.



Obrázek 81: /FR/: Přechod ze zemního tělesa na rámový most (propustek).

Dostupné předpisy ještě nezahrnují řešení přechodových oblastí při použití asfaltobetonové konstrukční vrstvy.

#### 4.3.4 ŠPANĚLSKO

##### ZEMNÍ PLÁŇ

Základní příčný sklon zemní pláně je 5 % shodně s PTŽS. Na zemní pláni musí být zajištěny požadavky dle kapitoly 4.2.4 (třída kvality zeminy a dostatečná hodnota CBR).

##### ZEMNÍ TĚLESO

Pro budování náspů jsou primárně používány kamenité výkopové materiály splňující následující požadavky:

- frakce méně než 20 mm může být zastoupena maximálně 30 % hmotnosti,
- frakce méně než 0,080 mm může být zastoupena maximálně 10 % hmotnosti,
- největší zrno může mít rozměr mezi 100 mm a polovinou tloušťky vrstvy.

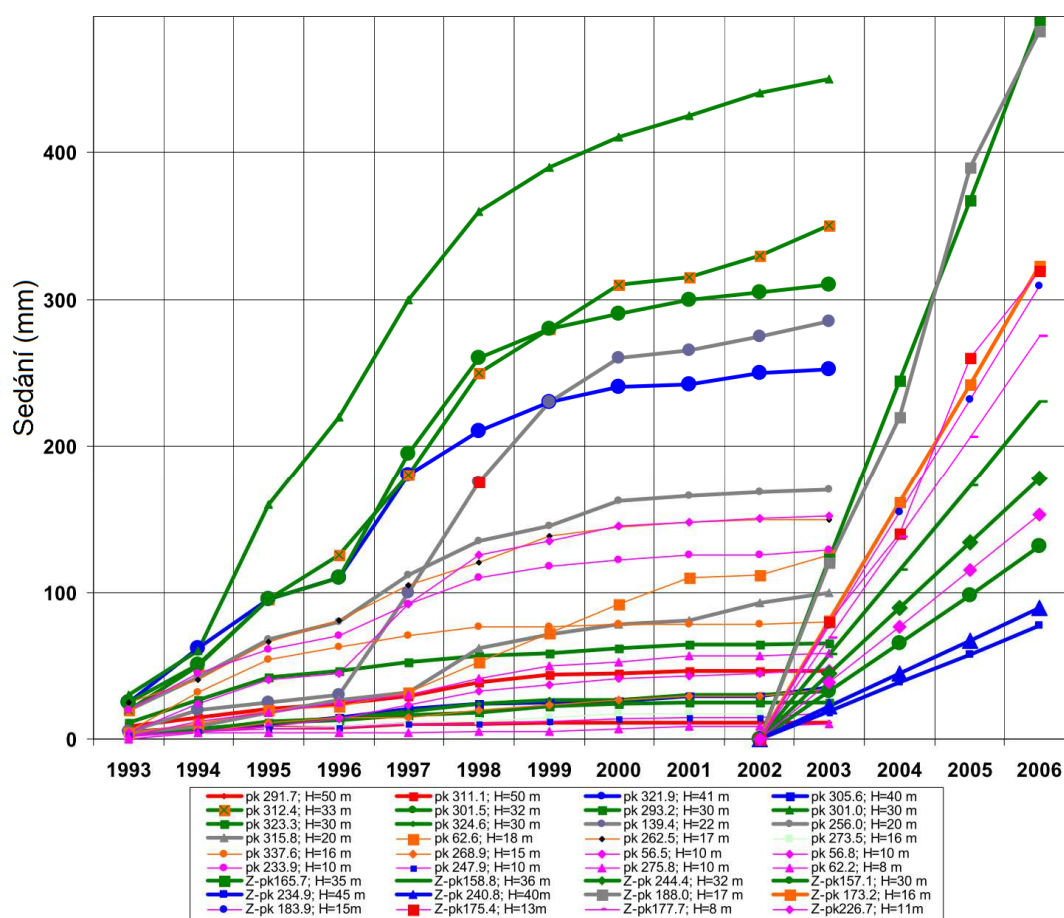
Tloušťka zřizovaných vrstev z těchto materiálů se pohybuje až do 1,0 m. V aktivní zóně v tloušťce 1,0 m pod zemní plání jsou kladeny přísnější požadavky na materiál, tloušťku i realizaci vrstev. Stejná vrstva se provádí i v přechodech z náspů do zářezů.

Pro kontrolu míry zhutnění se používá mimo jiných i jednoduchá metoda, která povoluje snížení tloušťky vrstvy při posledním hutním pojezdu maximálně o 1 % tloušťky vrstvy po prvním pojezdu. Geometrická přesnost se kontroluje zaměřením po 20 metrech s poměrně složitým vyhodnocením dle silničního předpisu [62], kde jsou při určitém zjednodušení

požadovány maximální výškové odchylky zřizovaných vrstev o 5 cm v náspe, resp. 3 cm v jeho aktivní zóně.

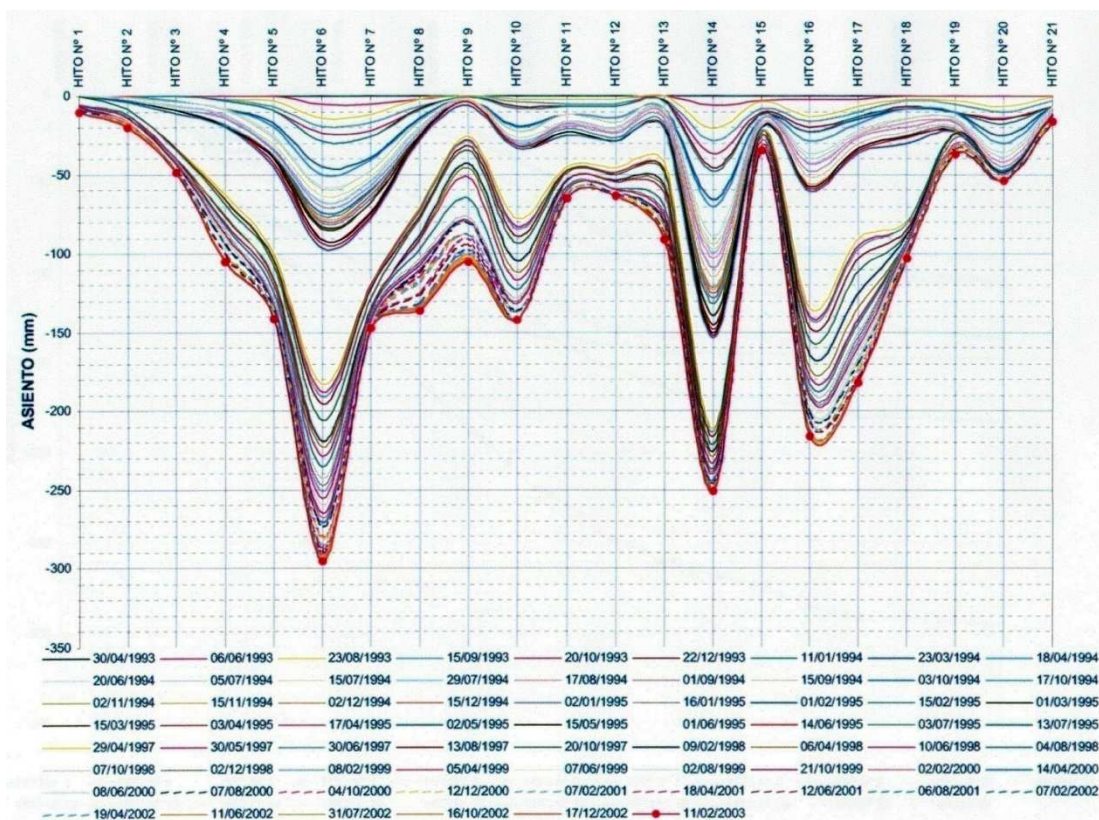
Podrobnosti o podmínkách využití jemnozrnných zemin do násypů se nepodařilo získat.

V /ES/ dovoluje malé osídlení krajiny a morfologie terénu navrhovat násypy extrémních rozměrů s výškou i kolem 50 m, které výrazně pomáhají zlepšit bilanci zemních hmot. Na druhou stranu skýtají riziko velkého sedání a zejména při stavbě prvních VRT se očekávalo, že většina sedání zemních těles proběhne v prvním roce po jejich dokončení, což byl i stanovený časový interval mezi dokončením tělesa a pokračováním prací na konstrukčních vrstvách a železničním svršku. Na základě zkušeností s velkými hodnotami sedání (viz obrázky níže) byly později upraveny požadavky na provádění násypů. Konkrétní hodnoty požadované v současnosti správcem se nepodařilo zjistit.



Obrázek 82: /ES/: Průběh sedání násypů po zahájení provozu na tratích Madrid – Sevilla v roce 1992 a Madrid – Lérida v roce 2002 (zdroj: [65]).





Obrázek 83: /ES/: Průběh sedání náspu v km 260,3 trati Madrid – Sevilla v prvních 10 letech provozu (zdroj: [65]).



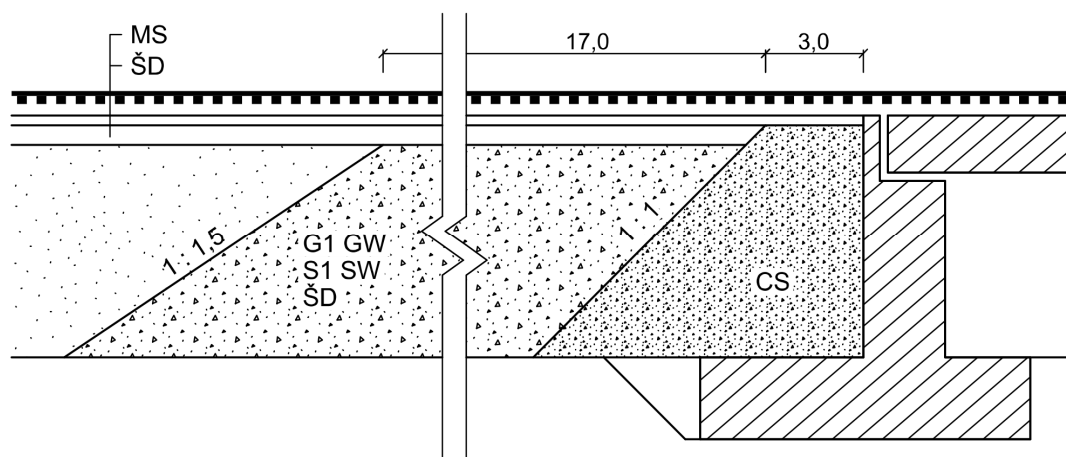
Obrázek 84: /ES/: Kolejové lože dosypané po poklesu zemního tělesa na trati Madrid - Sevilla (zdroj: [65]).

V zářezech se při nedostatečných parametrech zemní pláně nebo jejím nehomogenním charakteru provádí výměna zeminy v tloušťkách kolem 1 m.

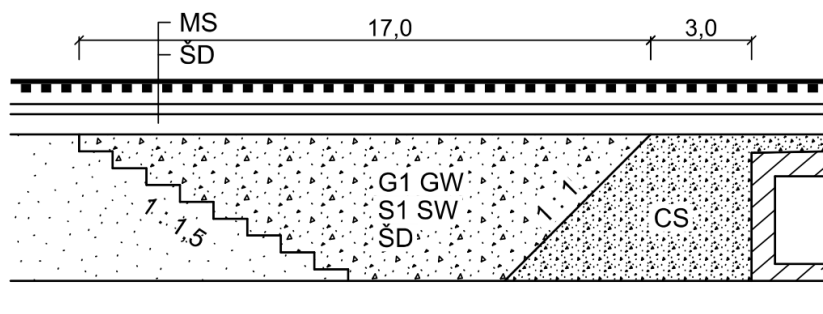
#### PŘECHOD NA STAVBY ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

Konstrukční vrstvy jsou v blízkosti mostních objektů navrhovány průběžné se shodnými tloušťkami jako v navazující trati, spodní vrstva je ukončena ve vzdálenosti 3,0 m od rubu opěry. Přechodový klín za opěrami železničních mostů je tvořen kvalitním zrnitým materiálem frakce do 100 mm, s obsahem zrn menších než 0,08 mm nejvíce 5 % hmotnosti a nemají-li plastické chování, nejvíce 15 %. Hodnota CBR zhutněného materiálu musí být větší než 10. V části nejbližší k opěře je použita cementová stabilizace ze stejného materiálu, dovážená z místního centra. Požadovaný obsah pojiva je minimálně 3 % a stanovená vlhkost i obsah pojiva se zkouší každých 500 m<sup>3</sup> či každý den. Při přechodu na menší rámové mosty či propustky platí podobná pravidla s tím, že vrchní i spodní konstrukční vrstva mají být průběžné i nad touto konstrukcí a do rozdílu mezi nosnou konstrukcí a zemní plání 0,50 m se celý prostor nad konstrukcí vyplňuje rovněž cementovou stabilizací. Předpisy stanovují různé varianty řešení přechodových oblastí v závislosti na postupu realizace zemního tělesa. Dvě z nich ukazují následující obrázky.

V některých případech vedlo problematické sedání zemního tělesa v okolí mostních objektů k zavedení pomalých jízd, obvykle pro rychlost 200–270 km/h.



Obrázek 85: /ES/: Přechod ze zemního tělesa na most.



Obrázek 86: /ES/: Přechod ze zemního tělesa na rámový most (propustek).

---

#### 4.3.5 ITÁLIE

---

Základní požadavky na návrh zemního tělesa stanovuje interní předpis RFI [59].

##### ZEMNÍ PLÁŇ

---

Příčný sklon zemní pláně činí standardně 3 % shodně s PTŽS při použití asfaltobetonové konstrukční vrstvy i cementové stabilizace.

##### ZEMNÍ TĚLESO

---

Skrývka se provádí v minimální tloušťce 50 cm a základová spára náspu musí být zhutněna na míru alespoň 95 % s dosažením modulu přetvárnosti minimálně 20 MPa. Při nedostatečné únosnosti se provádí zlepšení podloží. Konsolidační a antikapilární vrstva se provádí z drceného kameniva fr. 2/25 a je chráněna geotextílií.

Náspy se standardně konstruují ze štěrkovitých a písčitých materiálů s minimální mírou zhutnění 95 % a na jednotlivých vrstvách i povrchu zemní pláně musí být dosažen modul přetvárnosti alespoň 40 MPa v prvním zatěžovacím cyklu a poměr modulů z prvního a druhého cyklu musí být 0,60 nebo více. Nižší hodnoty jsou povoleny pouze v metrovém pruhu na okraji tělesa, kde je tolerováno 20 MPa. Při použití méně vhodných zemin se snižuje požadavek na modul přetvárnosti na 20 MPa. 40 MPa se poté požaduje pouze v aktivní zóně pod zemní plání. Standardní úpravou méně vhodných zemin do zemního tělesa je vápnění. Možná je i vrstevnatá konstrukce se střídáním materiálu po jednotlivých vrstvách. Jednotlivé vrstvy mají tloušťku maximálně 30–50 cm a jejich povrch se provádí v příčném sklonu 3 %. Největší povolená frakce kameniva je 20 cm. Minimální požadované číslo nestejzornosti pro materiály do násypů je  $C_u=15$ . Při použití balvanité sypaniny se zatěžovací zkouška na jednotlivých vrstvách provádí odchylně s deskou o průměru 600 mm.

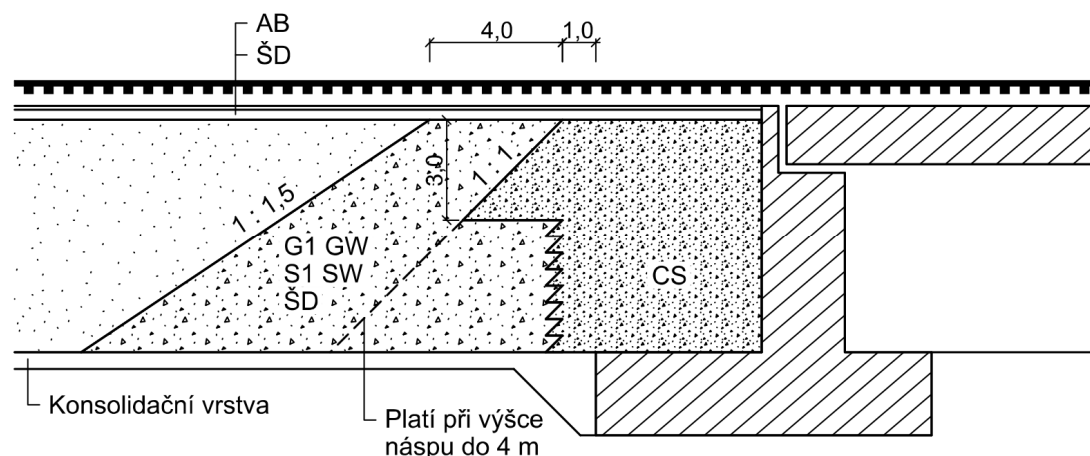
Povolené sedání náspu po dokončení konstrukčních vrstev a položení svršku činí maximálně 10 % z celkového a současně maximálně 50 mm.

##### PŘECHOD NA STAVBY ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

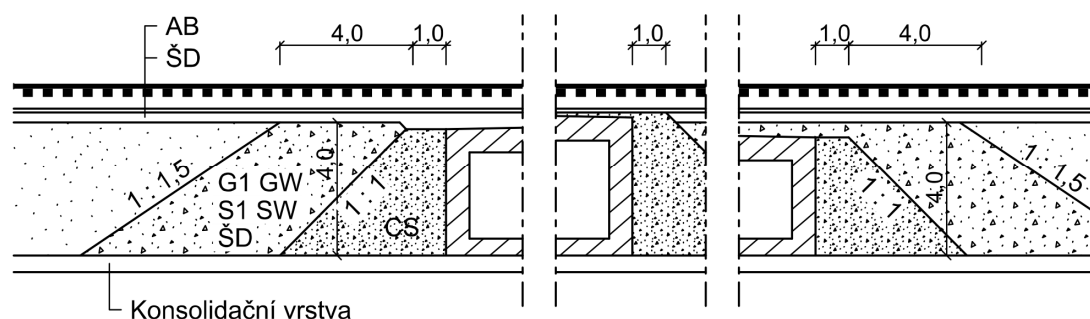
---

Konstrukční vrstvy jsou v blízkosti mostních objektů navrhovány průběžné se shodnými tloušťkami jako v navazující trati. Přechodový klín za opěrami železničních mostů je tvořen dobře zrněnými štěrky nebo písky, případně štěrkodrtí. V části nejbližší k opěře je použita cementová stabilizace ze stejného materiálu, dovážená z místního centra. Stabilizace se zřizuje po vrstvách tl. 20 cm ve sklonu 3 % zajišťujícím odvodnění. Požadovaný obsah pojiva je mezi 3 a 5 %, vlhkost kolem 6 %. Dosažená míra zhutnění musí být alespoň 95 %. Nestmelená část klínu se zřizuje po vrstvách společně s přilehlým náspem. Při přechodu na menší rámové mosty či propustky platí podobná pravidla s tím, že vrchní konstrukční vrstva má být průběžná i nad touto konstrukcí. Není-li možné provést pod ní spodní konstrukční vrstvu, nahrazuje se cementovou stabilizací. Pokud je naopak dostatek prostoru, tloušťka spodní konstrukční vrstvy se zvětšuje o maximálně 20 cm, případně se pod ní zřizuje nestmelená vrstva ze stejného kameniva, jaké se použije pro přechodové klíny.





Obrázek 87: /IT/: Přechod ze zemního tělesa na most.



Obrázek 88: /IT/: Přechod ze zemního tělesa na rámový most (propustek).

## 4.4 ODVODNĚNÍ

### 4.4.1 RAKOUSKO

Návrh odvodnění řeší interní předpis ÖBB [69] a vzorové příčné řezy připojené k předpisu [11].

#### TYPY ODVODNĚNÍ

**Nezpevněné příkopy** lichoběžníkového tvaru se navrhují s šířkou dna minimálně 0,40 m a hloubkou alespoň 0,25 m pod okrajem zemní pláně. V příkopech se provádí i ohumusování a vegetační ochrana. Povolný podélný sklon je 3–20 ‰, při malém průtoku až 50 ‰. Pokud příkopy odvádějí větší množství vody a jsou napájeny dalšími příkopy či trativody, nazývají se sběrné a po stranách nad průtočným profilem se navrhuje alespoň 0,50 m volné plochy.

**Zpevněné příkopy** se navrhují v rozsahu podélných sklonů mimo nezpevněné příkopy a při nedostatečné kapacitě nezpevněných příkopů. Používají se betonové prefabrikáty podobné jako v tuzemských podmínkách a v případech strmých sklonů a velkých průtoků kamenná koryta pro zpomalení vody.

**Příkopové žlaby** se používají prefabrikované obdobné s typy obvyklými v /CZ/. Odvodňovací otvory jsou umístěny v několika výškových úrovních a v podélném směru se spojují ozuby.

**Trativody** se používají ve stanicích mezi kolejemi nebo na trati v kombinaci s otevřeným odvodněním. Do profilu DN 150 se používají trubky s perforací cca 230°, u větších trub s menší perforací kolem 100°. Trouby jsou obvykle z polyetylenu s kruhovou tuhostí SN 8 a ukládají se na 10cm podklad z betonu C20/25-X0 včetně opěrek po úroveň perforace. Rýha musí mít šířku na každé straně alespoň 0,20 m mimo trubku. Pro zásyp rýh se používá kamenivo frakce 16/32 a rýha se vykládá separačně filtrační geotextílií po zemní pláň (v širé trati), pod horní konstrukční vrstvu (mezi kolejemi bez zapuštěného lože) nebo po pláň tělesa (mezi kolejemi se zapuštěným ložem). Standardní podélný sklon činí 5 ‰, má se pohybovat v rozmezí 2,5–30 ‰. Při větších sklonech se navrhují spadiště. Horní povrch trativodní trubky musí mít krytí alespoň v hodnotě nezámrazné hloubky a musí být vždy pod zemní plání. Vyústění trativodů se provádí formou seříznuté betonové trubky s odlážděním. Osa trativodu nesmí být pod příkopem. Maximální výška vody v zakrytém odvodnění musí být více než 1,5 m pod TK.

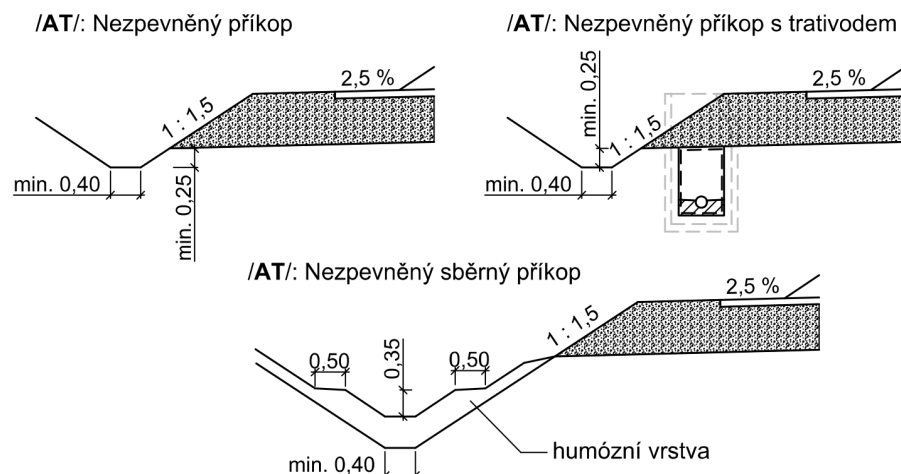
**Sběrná potrubí** pro transport většího množství vody z odvodňovacích zařízení se navrhují z plastových či betonových trub minimálního profilu DN 200, při odvádění vody z povrchového odvodnění betonových trub minimálně DN 500. Podélný sklon může být 2,5–30 ‰. V místech změny směru se navrhují šachty, v místech změny profilu potrubí šachty s kalovým prostorem výšky minimálně 0,40 m. Horní povrch trub musí být alespoň v nezámrazné hloubce. Trouby se ukládají podobně jako trativody a v oblasti zatížení dopravou se obetonovávají.

Šachty jsou používány betonové profilu DN 1000 mm (pro trouby do DN 600 včetně) a DN 1500 (pro trouby do DN 1000, variantně čtvercové 1,20x1,20 m). Při výšce šachty do 3 m lze též použít profil DN 800. Vstupy do šachet musí mít průměr alespoň DN 600. Poklopy se dimenzují pro zatížení B 125 až D 400 dle podmínek. Standardní vzdálenost šachet činí 60–80 m, vrcholové šachty musí umožňovat odvětrání.

**Náhorní příkopy** se navrhují 3–5 m od hrany zářezu a není-li možné je odvodnit mimo zářez, provádí se v intervalu cca 50–100 m kamenné skluzy k podélnému odvodnění v zářezu.

**Retenční a vsakovací nádrže** musí mít rezervu alespoň 0,5 m výšky oproti návrhovým podmínkám.





Obrázek 89: /AT/: Uspořádání podélného odvodnění.

### POUŽITÍ ODVODNĚNÍ

Na nově budovaných HL tratích převažuje otevřené odvodnění. Zakryté odvodnění se standardně používá mezi kolejemi na vícekolejných tratích a ve stanicích. V hlubších zářezech jsou obvyklé kombinace příkopů a trativodů či příkopů a sběrných potrubí. Sběrná potrubí se dle předpisu navrhují pouze v případech, kdy nelze navrhnout sběrné příkopy.



Obrázek 90: /AT/: Zářez na trati Koralmbahn odvodněný nezpevněnými příkopy a trativodem (u již položené koleje; zdroj: [www.styria-mobile.at](http://www.styria-mobile.at)).

### DIMENZOVÁNÍ ODVODNĚNÍ

Návrh vychází z hodnoty 15minutového deště. Pro velká povodí se provádí redukce objemu dešťových srážek s ohledem na čas průtoku vody v odvodňovacím zařízení a rychlost vody na přilehlých plochách (na zatravněných plochách se uvažuje 0,02–0,05 m/s). Musí se však posoudit nejhorší možný směr a rychlost postupu srážek, kumulující postupující vodu

v odvodňovacím zařízení. Základní vztahy pro posouzení jsou podobné jako v /DE/ (viz další kapitoly).

Tabulka: /AT/: Návrhové srážky pro dimenzování odvodnění

Situace odvodnění	Požadované n-leté srážky
	rok
Příkop	10
Sběrný příkop	10 (100*)
Příkopový žlab	10
Trativod	10
Svod pod kolejí	100
Náhorní příkop	**100
Čerpací stanice	100
Retenční či vsakovací nádrž	10 (100*)

\* Pokud hrozí riziko velkých škod v okolí.

\*\* Pro povodí větší než 1 km<sup>2</sup> individuálně.

Tabulka: /AT/: Odtokové součinitele pro dimenzování odvodnění

Odvodňovaná plocha	Odtokový součinitel
Zpevněné plochy včetně pláň z asfaltobetonu, nástupišť apod.	0,9
Pláň s kol. ložem s nestmelenou konstrukční vrstvou	0,5
Svahy sklonu do 1 : 1,5 v jílovitých zeminách	0,5
Svahy sklonu do 1 : 1,5 v jílovitopísčitých zeminách	0,4
Svahy sklonu do 1 : 1,5 v písčitých a štěrkovitých zeminách	0,3
Zatrávněné plochy sklonu do 1 : 5	0,2
Plochy z propustných zemin či lesy sklonu do 1 : 5	0,1

Tabulka: /AT/: Rychlostní součinitel K<sub>st</sub>

Typ odvodnění	Materiál povrchu	Součinitel K <sub>st</sub>
Příkop	nezpevněný průtočného profilu do 1 m <sup>2</sup>	20
	zpevněný průtočného profilu do 1 m <sup>2</sup>	30
	nezpevněný průtočného profilu nad 1 m <sup>2</sup>	25
	z kamenné dlažby průtočného profilu nad 1 m <sup>2</sup>	35
	prefabrikovaný průtočného profilu nad 1 m <sup>2</sup>	45
Příkopový žlab	hladký beton	90

#### 4.4.2 NĚMECKO

##### TYPY ODVODNĚNÍ

**Nezpevněné příkopy** lichoběžníkového tvaru jsou základním typem odvodnění. Minimální hloubka příkopu 0,40 m pod PTŽS a 0,10 m pod zemní plání je na VRT ovlivněna i dalšími požadavky (viz následující kapitoly). Svah směrem ke koleji, který není tvořen konstrukční vrstvou, musí být zajištěn proti erozi. Pro příkopy na stávajících tratích existuje množství úlevových ustanovení, která však nejsou relevantní pro VRT. Svahy nezpevněných příkopů se zatravňují travním semenem.

Podélný sklon dna nezpevněného příkopu je optimální navrhovat shodný se sklonem koleje, povolené rozmezí je 3–30 ‰. Nižší sklony jsou přípustné:

- u propustných zemin s  $k_f > 10^{-5}$  m/s, kde příkopy fungují jako vsakovací příkopy,
- pokud je pod příkopem na propustném podloží zřízena vsakovací jámka,
- pokud i příkop s menším sklonem zajistí odvodnění a nebude docházet k nepřijatelným zdvihům hladiny vody.

**Zpevněné příkopy** se navrhuje, pokud:

- je podélný sklon mimo povolené rozpětí pro nezpevněný příkop,
- je požadavek na nepropustné odvodnění s transportní funkcí,
- musí být zvýšena kapacita oproti nezpevněnému příkopu,
- je nutné zabránit erozi svahů,
- je nutné zabránit prorůstání vegetace v příkopu,
- hrozí kapilární vztlínání vody pod plání.

Ve strmých podélných sklonech při velkém množství odtokové vody má být snížena průtoková rychlost prostřednictvím koryta z velkých kamenů.

**Trativody** se provádějí ve výkopech minimální šířky 0,60 m, mezi trubkou a stěnou výkopu má být alespoň 0,15 m. Typ potrubí se volí v závislosti na charakteru odvodnění, jako materiál se standardně používá plast a profily jsou od DN 100 do DN 400, standardně DN 150 a DN 250. Pokud se trativody používají k odvedení podzemních vod a pro snížení hladiny spodní vody, pak se využívají vsakovací, plně perforované trubky. Částečně vsakovací trubky s perforováním v rozsahu cca 230° lze využít v případě, že trativod má zachytit a odvést vodu z konstrukčních vrstev a povrchovou vodu. V případě, že trativod musí odvést větší množství vody nebo převládá funkce tranzitní nad odvodňovací, pak lze využít víceúčelové potrubí s perforací v rozsahu cca 100°. Separační a filtrační geotextilie se používá buď kolem celého zásypu drénu (pak trativod neodvádí povrchovou vodu), nebo pouze kolem trativodní trubky. Potrubí musí být přesypáno alespoň o 50 cm. Výplň rýhy musí splňovat požadavky na zrnitost ( $D_{10} > 0,1$  mm;  $I_D \geq 0,33$ ; obsah rozpustných nebo organických částic do 1 %).

Trativody mají být zřizovány v takových sklonech, aby mohla být dodržena rychlost průtoku vody 0,5–3,0 m/s. Minimální hodnota podélného sklonu je však 3 ‰, pro některé případy

jsou možné úlevy až na 2,5 ‰ pro betonové a 1,5 ‰ pro plastové trubky. Trativody mezi šachtami mají mít přímý směrový i výškový průběh, v obloucích je možný ekvidistanční směrový návrh vůči koleji.

Standardní vzdálenost šachet je 50 m, maximální 100 m. **Šachty** se navrhují plastové a betonové. Plastové mají minimální profil DN 400 a používají se do výšky 1,75 m. Betonové se navrhují vnitřního profilu DN 1000, kruhový poklop má průměr větší než DN 600. Kalový prostor se navrhuje v šachtách, které jsou dobře přístupné pro čištění. Kryt šachet z pevného a trvanlivého materiálu musí odolávat zatížení dle třídy A 15 (dle EN 124) a může vystupovat maximálně 0,10 m nad stezku či dno příkopu. Odstup mezi šachtami a stožáry TV či návěstidly musí být min. 5,0 m.

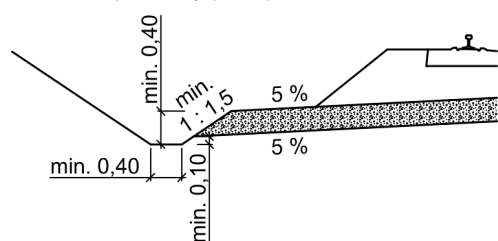
**Trativody s nezpevněným příkopem** se používají při umístění trativodu vně kolejí, šachty jsou pak standardně situovány ve dně příkopu, betonové šachty mají vstup buď excentricky mimo osu příkopu, nebo formou odlážděné uliční vpusti na dně příkopu (zaústěné do sběrného potrubí).

**Trativod se sběrným potrubím** se používá při odvádění velkého množství vody. Trubky se situují nad sebou, v některých případech bývá sběrné potrubí umístěno dále od koleje pro jednodušší konstrukci šachet (mimo profil příkopu). Pro podélné sklony platí stejné požadavky jako u trativodů.

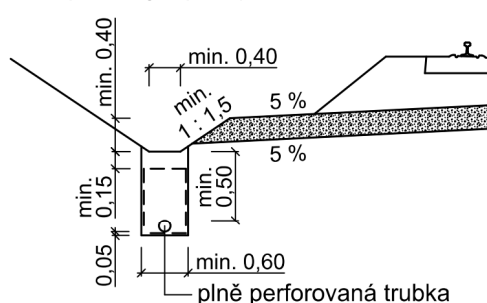
**Vsakovací příkopy** minimální šířky 0,40 m se navrhují se zapuštěním alespoň 0,5 m do propustné vrstvy, výška nad ní ležící nepropustné vrstvy může činit až 2,0 m.

Dále se navrhují náhorní a patní příkopy, v obou případech i nezpevněné, minimálně 2 m od hrany svahu, vsakovací jímky, svahová žebra atd. dle v tuzemsku běžných zvyklostí.

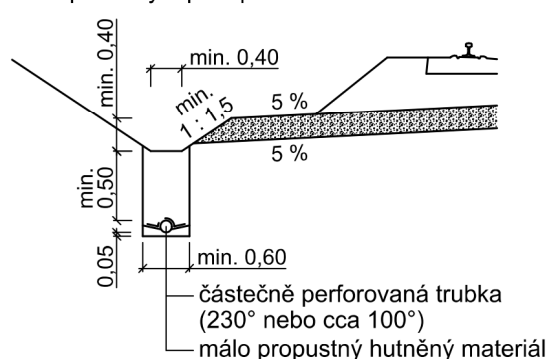
/DE/: Nezpevněný příkop



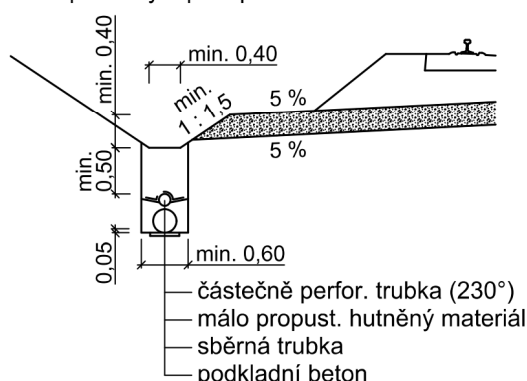
/DE/: Trativod (pro spodní vodu) s nezpevněným příkopem



/DE/: Trativod (pro povrchovou vodu) s nezpevněným příkopem



/DE/: Trativod se sběrným potrubím a nezpevněným příkopem



Obrázek 91: /DE/: Uspořádání podélného odvodnění.

## POUŽITÍ ODVODNĚNÍ

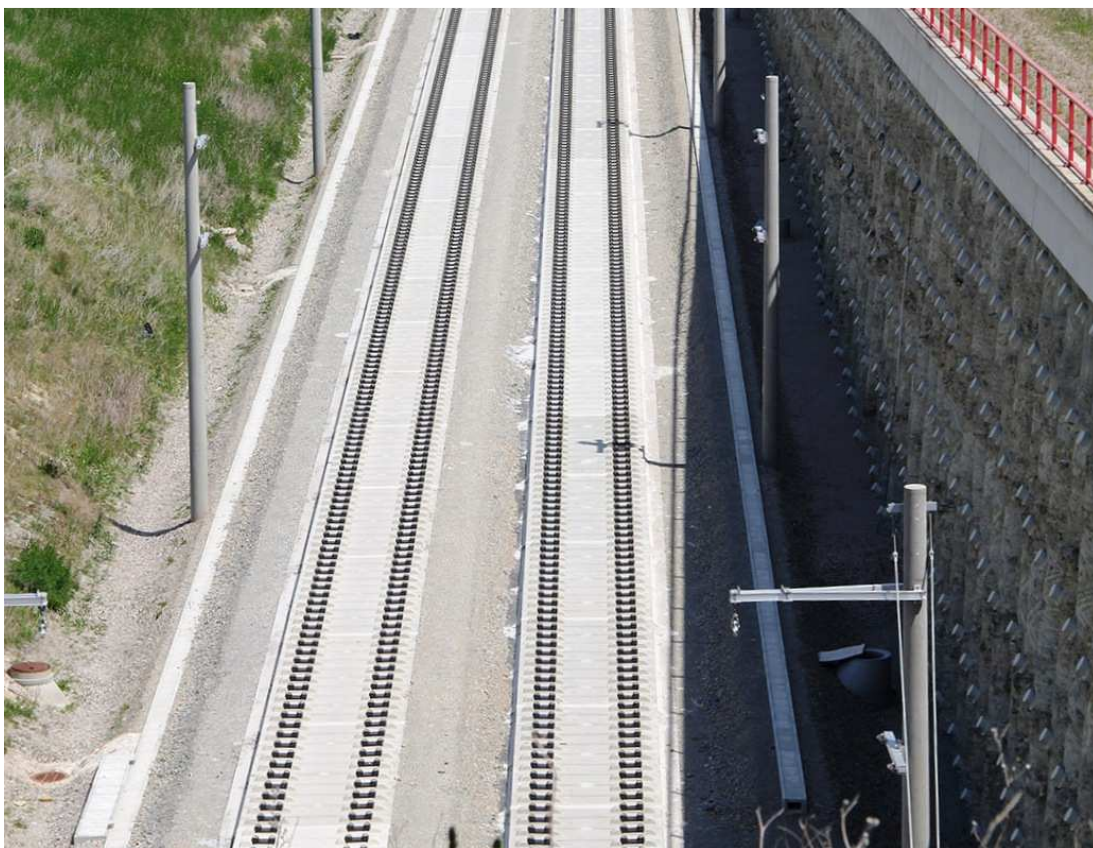
Dešťová voda zachycená v prostoru železničního spodku má být vsakována nebo odváděna mimo těleso primárně otevřeným odvodněním, zatímco spodní voda má být gravitačně zachycena i odvedena zakrytým odvodněním. V zeminách s indexem plasticity vyšším než 0,30, obsahem jemných zrn (pod 0,002 m) přes 20 % a filtračním koeficientem menším než  $10^{-7}$  m/s již zakryté odvodnění neumožňuje odvodnit zemní těleso (dobře funguje pouze v místech propustnějších nehomogenit).

Do podélného odvodnění železničního spodku nesmí být svedena žádná voda jiného původu, než dešťová nebo spodní z drážního tělesa.

Hladina vody v zakrytém odvodňovacím zařízení nesmí být výše než 1,50 m pod TK. V případě nejvyšší HPV méně než 1,5 m pod TK jsou na podélné odvodnění kladeny další požadavky: doporučuje se použití příkopových žlabů nebo zvýšení podélného sklonu odvodnění. Jako nejvyšší HPV se uvažuje pro tratě s rychlostí do 230 km/h včetně 10letá hladina, pro vyšší rychlosti 100letá hladina.

Na novějších VRT zcela převládá odvodnění pomocí trativodů (nebo částečně či zcela vsakovacích žebor) umístěných pod nezpevněnými příkopy.





Obrázek 92: /DE/: Nezpevněný příkop s trativodem a kanalizací na novostavbě trati Erfurt - Leipzig (zdroj: DB).

### DIMENZOVÁNÍ ODVODNĚNÍ

Dimenzování odvodňovacích zařízení vychází z hodnoty 15minutového deště s jednoletou periodicitou a pro různé případy odvodnění se násobí koeficientem stanoveným z tabulky pro požadovanou periodicitu.

Tabulka: /DE/: Návrhové srážky pro dimenzování odvodnění

Situace odvodnění	Požadované n- leté srážky	Násobek hodnoty jednoletého 15min. deště
	rok	
Zakryté pod příkopem	10 (1*)	2,3 (1*)
Zakryté mezi kolejemi	10 (2*)	2,3 (1,4*)
Příkop	10 (1*)	2,3 (1*)
Svod pod kolejí	20	2,8
Údolicové lomy	20(5*)	2,8 (1,8*)
Trať mezi zárubními zdmi (podle podmínek)	10–20	2,3–2,8
Vsakovací zařízení centralizované	5	1,8
Vsakovací zařízení liniové	10	2,3

\* Úlevu lze použít mimo kolejí s PJD po ověření, že případné zvýšení hladiny vody na méně

než 1,5 m pod TK nemůže ohrozit konstrukci zemního tělesa. Zvýšená hladina platná pro 10letou vodu nesmí zasahovat výše než 0,5 m pod patu kolejového lože.

Tabulka: /DE/: Odtokové součinitele pro dimenzování odvodnění

Odvodňovaná plocha	Odtokový součinitel
Nepropustné povrchy komunikací, nástupišť a PJD	0,9
Pláš s kol. ložem s málo propustnou konstr. vrstvou KG1 (minerální směs)	0,4–0,6
Pláš s kol. ložem s málo propustnou konstr. vrstvou KG2 (šterkodrt)	0,1–0,2
Svahy sklonu do 1 : 1,5 v soudržných zeminách či skalních horninách	0,2–0,6
Svahy sklonu do 1 : 1,5 v nesoudržných zeminách	0,1–0,3
Svahy sklonu nad 1 : 1,5 v soudržných zeminách či skalních horninách	0,4–0,9
Svahy sklonu nad 1 : 1,5 v nesoudržných zeminách	0,3–0,7

K vypočtenému množství dešťové vody se přičítá též průtočná voda z povodí zapojeného odvodnění a podzemní voda v množství dle hydrogeologického průzkumu.

V příkopech se omezuje rychlost vody (tzv. střední rychlost proudění) podle materiálu dna a stěn příkopu. Rychlost se stanovuje podle vztahu:

$$v = k_s \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

kde R je hydraulický poloměr a I podélný sklon. Součinitel  $k_s$  nabývá hodnot dle následující tabulky.

Tabulka: /DE/: Rychlostní součinitel  $k_s$

Typ odvodnění	Materiál povrchu	Součinitel $k_s$
Nezpevněný příkop	hrubozrnné a oblázkové zeminy	30
	zatravněný povrch	40
	jemnozrnné zeminy	50
Zděný příkop	hrubé kamenné zdi nebo dlažby	50
	běžné kamenné či cihlové zdi	60
	lícované kamenné či cihlové zdi	75
Betonový příkop	hrubý a nerovný povrch	50
	dřevem bedněný povrch	70
	hladký povrch	95

Zakryté odvodnění se navrhuje podle některých dalších předpisů (ATV A 110).

#### 4.4.3 FRANCIE

##### TYPY ODVODNĚNÍ

Ve **/FR/** se pro podélné odvodnění na tratích LGV používá otevřené i zakryté odvodnění, základní typy jsou popsány níže.

**Nezpevněné příkopy** se navrhují lichoběžníkového tvaru se šířkou dna minimálně 0,50 m (standardně do 1,50 m), sklony svahů 1 : 1,5 nebo 1 : 2 a výškou definovanou ode dna do 5 cm pod okraj skloněné zemní pláně (standardně mezi 0,50 a 1,00 m). Základní šířka příkopu 3,0 m zahrnuje kromě dna a svahů i rezervní prostory po obou stranách v šířce minimálně 0,30 m (z důvodu možné eroze, technických úprav a údržby). Minimální podélný sklon je 4 ‰, na délku maximálně 60 m pak 2 ‰. Maximální rychlost vody musí odpovídat geotechnickým parametrům zeminy, nezpevněné příkopy se nenavrhují například v nesoudržných zeminách, zeminách podléhajících rozpouštění nebo krasovým jevům.

**Zpevněné příkopy** se navrhují podobně jako nezpevněné, mohou mít i strmější sklon svahů 1 : 1. Horní okraj zpevnění musí být minimálně 5 cm pod okrajem skloněné zemní pláně. Minimální podélný sklon je 2 ‰ s výjimkou začátků příkopů v suchých zářezech, kde lze v délce 60 m navrhnout nižší sklon. Nejvyšší povolená rychlost vody je 5 m/s (4 m/s při trvalém průtoku). Pro některé případy se navrhují částečně zpevněné příkopy se spodní částí zpevněnou (do výšky 30 cm) pro odvodnění menšího, ale trvalého přítoku (a současně zamezení zanesení vegetací), a horní částí nezpevněnou pro odvodnění návrhových srážek.

Zpevnění se provádí monolitickým drátkobetonem nebo železobetonem se svařovanými sítěmi tl. 10 cm s jalovými spárami po 6 metrech a dilatačními po 30 metrech, které se vyplňují pružným tmelem. V některých případech se pro zamezení tvorby vodních kapes provádějí do zpevnění otvory Ø 80 mm. Vlastní realizace zpevnění probíhá pomocí šablon tažených různými vozidly, technologií Curb-King nebo jí podobnou. Vyloučeny jsou příkopy z prefabrikovaných tvarovek lichoběžníkového tvaru.



Obrázek 93: **/FR/**: Realizace monolitického zpevněného příkopu (zdroj vlevo: Planete TP; zdroj vpravo: SNCF).

**Kynety** jsou zpevněné příkopy tvaru „V“ s příčným sklonem 10 % a povrchem z betonu nebo živичného materiálu. Asfaltový povrch je dimenzován na přímé poježdění lehkými vozidly



údržby. Tento typ odvodnění se používá například v kombinaci se zakrytým odvodněním nebo v suchých zářezech. Požadavky na podélný sklon jsou podobné jako u zpevněných příkopů. Výhodou tohoto řešení je omezení zanášení dna příkopů nečistotami. Na posledních stavbách se tento typ odvodnění prosazuje i se strmějšími (případně nesymetrickými) svahy ve funkci a s kapacitou standardních zpevněných příkopů.



Obrázek 94: /FR/: Zářez na trati LGV Rhin-Rhône odvodněný kombinací trativodu a poježděné kynety s obrubníky (foto G CHP, dostupné z URL [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LGV\\_Rhin-Rh%C3%B4ne\\_bifurcation\\_de\\_Villers-les-Pots4.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LGV_Rhin-Rh%C3%B4ne_bifurcation_de_Villers-les-Pots4.JPG); CC-BY-SA 2.5)



Obrázek 95: /FR/: Pláň tělesa trati LGV Est européenne odvodněná kombinací trativodů a kynet či příkopů tvaru „V“. Kabelové trasy jsou převážně délce trati vedeny ve výkopech místo pochozích kabelových žlabů (zdroj: <http://www.trainsfrancais.com/>).

**Příkopové žlaby** se navrhují zejména ve vlhkých zářezích, kde se očekává častý až trvalý přítok spodní vody. Používají se též ve skalních zářezích a v místech zapuštěného kolejového lože u služebních přístupů do kolejíště. Požadavky na podélný sklon a omezení rychlosti vody jsou shodné se zpevněnými příkopy. Provádějí se formou stavebnicové konstrukce z malých prefabrikátů. Na díl dna s obým vnitřním tvarem se kladou svislé díly s perforovanými stěnami a rozpěrkami a betonový kryt s otvory, který je každých 50 m nahrazen mřížemi nebo odnímatelnými rošty. Jednotlivé díly i celá konstrukce umožňují pojíždění lehkými vozidly údržby a jsou dimenzovány na umístění v zóně s dynamickým zatížením od provozu (viz dále). Konstrukci lze vybudovat s poměrně lehkou mechanizací a jednoduchým odstupňováním výšky, rozpěrky ale mohou komplikovat odvodnění při extrémních průtocích nebo mechanické čištění žlabu.



Obrázek 96: /FR/: Příkopový žlab z prefabrikátů a zářez odvodněný příkopovými žlaby (vlevo zdroj: SNCF[66]).

**Trativody** se navrhují v širokém rozmezí profilů na velké vzdálenosti a jedna trubka vždy zastává současně funkci transportní i odvodňovací prostřednictvím perforace v horní části. Minimální podélný sklon je 2 ‰ a maximální rychlost vody 5 m/s. Pro podélné odvodnění v zářezích je požadován standardní sklon 10–35 ‰ (optimálně shodný se sklonem koleje). Při nižších sklonech se zvyšuje riziko zanášení a jsou požadována další opatření, zahrnující především zajištění pravidelného čištění či zkrácení intervalů čištění. Trubky jsou vyráběny z keramických nebo termoplastických materiálů s kruhovou tuhostí SN8 a ukládají se zásadně do betonového lože včetně obetonování po úroveň perforace. Profil trubek se standardně pohybuje od DN 300 do DN 1200.

Minimální nadloží nad horním povrchem zakrytého odvodnění je 0,95 m pro možnost situování různých sloupků, skříní a dalších zařízení na pláni. Při kombinaci s kynetou je minimální výškový odstup 0,50 m. Naopak maximální výškový rozdíl mezi hladinou vody a okrajem PTŽS je standardně 3,00 m. Maximální vzdálenost šachet pro zajištění možnosti údržby proplachováním je 80 m. Do zakrytého odvodnění může být otevřené odvodnění svedeno pouze výjimečně. Pokud zakryté odvodnění zasahuje do zóny dynamického zatížení provozem, musí splňovat další dodatečné podmínky. Tato zóna je vymezena



sklonem 1 : 1 od vnějšího okraje ložné plochy pražce až po PTŽS, dále sklonem 1 : 1,5 v konstrukčních vrstvách a 1 : 1,5 až 1 : 2 v zemním tělese podle geologie.

Šachty jsou standardně betonové prefabrikované minimálního profilu DN 1000.



Obrázek 97: /FR/: Zářez na trati LGV Est européenne s asfaltobetonovou konstrukční vrstvou odvodněný trativody.

**Kanalizace** s neperforovanými trubkami, ale jinak podle předchozího odstavce, se navrhuje především v místech, kde je nezbytné zamezit úniku převáděné vody, například v okolí přechodových klínů mostů, služebních úrovnových přístupů do kolejí apod. Délka takových úseků nesmí překročit 40 m.

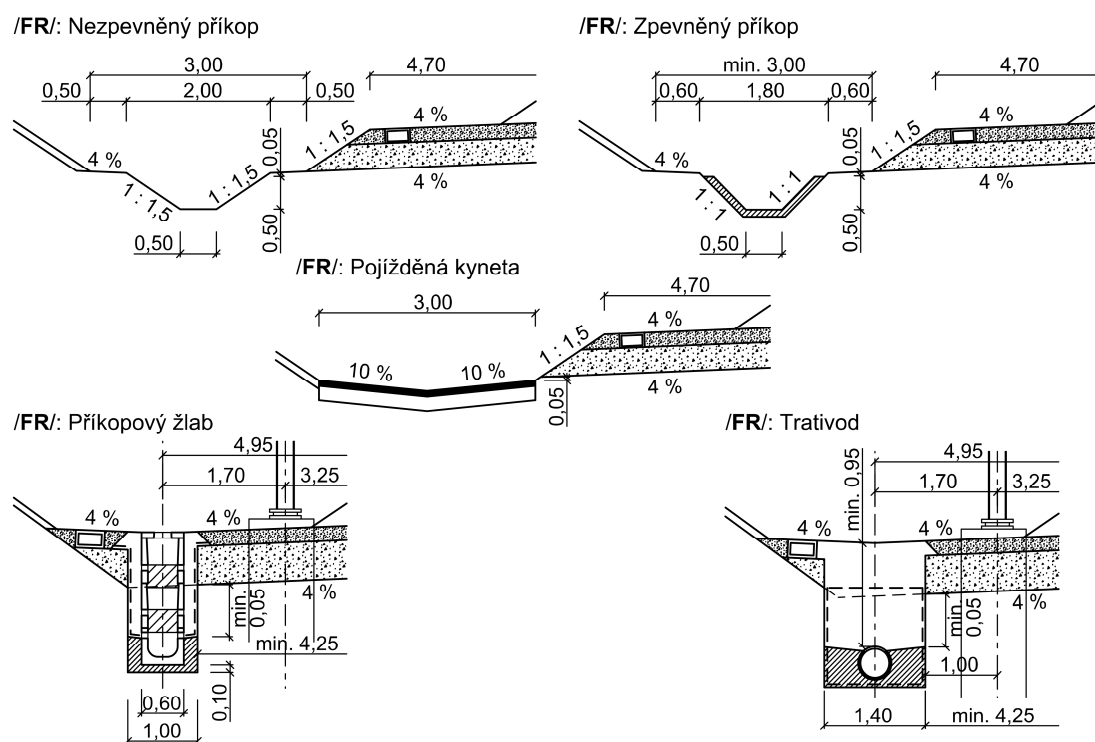
**Příčná žebra** odvodňující svahy nebo těleso se navrhují podle běžných zvyklostí pro trativody. Musí být vyústěna do otevřeného odvodnění.

**Prahy a kaskády** se navrhují pro snížení rychlosti vody v příkopech pod výše uvedené dovolené hodnoty. Na nezpevněných příkopech se používají svislé prefabrikované žb. prahe s trubkami DN 150, jejichž okolí je zpevněno betonem a vydlážděno. Minimální vzdálenost zídek je 15 m. Na zpevněných příkopech se používá snížení podélného sklonu dna a kaskády s výškou maximálně 0,50 m. Alternativou k těmto konstrukcím jsou příkopy se dnem a svahy vyskládanými hrubými kusy betonu. Propojení a vyústění různých otevřených odvodňovacích zařízení se provádí jako otevřené příkopy nebo odlážděním kamenem.

**Retenční, vsakovací nebo usazovací nádrže** se budují velmi často v okolí dlouhých zářezů a zejména u stanic. Mívají obdélníkové nebo zaoblené tvary a konstrukční uspořádání obvyklé u staveb na dálniční síti.



Obrázek 98: /FR/: Příklady retenčních nádrží (zdroj vlevo: Le Bloc de Frédéric Cuvillier; zdroj vpravo: SNCF)



Obrázek 99: /FR/: Příklady standardního podélného odvodnění.

## POUŽITÍ ODVODNĚNÍ

Patní příkopy se navrhují minimálně 2 metry od paty náspu. Na straně náspu s příkloněným terénem musí být vždy.

Odvodňovací zařízení v zářezích musí vždy zajistit odvodnění pláně tělesa a horní i spodní konstrukční vrstvy a v případě potřeby též propustné vrstvy v aktivní zóně pod zemní plání. Do tzv. suchých zářezů (nad hladinou HPV) se primárně používají nezpevněné nebo zpevněné příkopy. Ostatní odvodňovací zařízení mohou být použita jenom výjimečně. Do vlhkých zářezů s přítomností podzemní vody se musí navrhnout výška odvodnění tak, aby zajistila depresi HPV na úroveň minimálně 1,50 m pod střechou PTŽS. Primárně se opět mají používat nezpevněné příkopy doplněné o obložení do výšky 30 cm. Pokud by příkopy byly

příliš hluboké nebo by nebylo možné zajistit jejich stabilitu, se navrhují příkopové žlaby, zakryté odvodnění nebo kombinace zakrytého a otevřeného odvodnění. Je-li výška HPV méně než 2 m pod střechou PTŽS, zakryté odvodnění či příkopové žlaby se navrhují automaticky.

Náhorní příkopy jsou vždy zpevněné a mají minimální sklon 4 ‰. Návrhová hladina nesmí dosáhnout více než 0,5 m nad dno příkopu (při nedostatečné kapacitě se příkop rozšiřuje). Terén mezi příkopem a hranou zářezu v šířce standardně 5 m musí být v příčném sklonu alespoň 4 ‰ na libovolnou stranu. Náhlé změny směru náhorního příkopu je třeba ověřit z hlediska eroze.

Otevřené odvodnění nemá křížit trasy migrace drobné zvěře, v případě křížení má být zakryto či zatrubněno.

Společné odvodnění železniční trati a souběžné pozemní komunikace je vždy součástí dráhy. V místě silničních nadezdů a podobných mostních konstrukcí se otevřené příkopy standardně zatrubňují.

Minimální hloubka dna odvodnění od střechy PTŽS je vždy alespoň 1,50 m, u zpevněného odvodnění se místo dna počítá s místem vtoku vody do zařízení (například odvodňovací otvory v příkopových žlabech).

Použití příčných odvodňovacích žebér s minimálním sklonem 15 ‰ a trubkou alespoň DN 300 uloženou na betonovém podkladu je předepsáno pod násypem při splnění všech následujících podmínek:

- podélný sklon koleje větší než 20 ‰ v délce alespoň 150 m v místě překlápění sklonu pláně nebo v místě přechodového klínu umělé stavby; nebo lokalita údolního lomu sklonu,
- nezlepšená spodní konstrukční vrstva s propustností větší než zemní těleso,
- vzdálenost do 30 m od místa překlápění sklonu pláně, přechodového klínu umělé stavby nebo údolního lomu sklonu.

## DIMENZOVÁNÍ ODVODNĚNÍ

Podélné odvodnění na tratích LGV je dimenzováno v zářezích a jim podobných místech (například mezi protihlukovými valy), stejně jako u náhorních příkopů a na náspech nižších než 1,50 m na desetileté srážky, na vyšších náspech na pětileté srážky. V potenciálně nebezpečných případech (údolnicové lomy sklonu v zářezích, prudké změny směru odvodnění a zúžení odvodnění například u mostů nebo v místech převedení odvodnění pod trati), kdy hrozí zaplavení pláně, se podélné odvodnění dimenzuje na 1,8násobek navrhovaného průtoku. Otevřené odvodnění se navrhuje s výškovou rezervou alespoň 5 cm mezi návrhovou hladinou vody a okrajem příkopu. Důležitým parametrem pro návrh je maximální povolená rychlost vody pro různé povrchy odvodnění.

Zvláštní podmínky jsou definovány též pro odvodnění tratí v okolí Středozemního moře. Koeficient odtoku pro výpočty návrhového množství vody je pro pláň tělesa bez asfaltobetonové konstrukční vrstvy 0,85.



Zvláštní posouzení a ověření návrhu je požadováno v případě odvodnění s návrhovým průtokem větším než  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tento limit je požadován pro veškerá podélná odvodňovací zařízení a při jeho překročení se navrhuje buď rozměrné odvodňovací kanály u paty zářezu, nebo lze zdvojit standardní typy odvodnění.

Použití čerpacího zařízení (například v zářezích s údolnicovým lomem sklonu) musí být vždy až poslední variantou odvodnění s doloženým porovnáním nákladů též na řešení s gravitačním odvodněním. Čerpání musí být ověřeno též pro 1,8násobek návrhového průtoku.

#### 4.4.4 ŠPANĚLSKO

Pro odvodnění tělesa železničního spodku se standardně používají příkopy a trativody. Podélné odvodnění se obecně navrhuje na déšť s periodicitou 50 let a v případě, že by zahlcení odvodnění mohlo vést ke znečištění kolejového lože, dokonce 100 let. Otevřené příkopy jsou menší prefabrikované, větší převážně monolitické lichoběžníkového tvaru, zřizované buď ručně, formou taženou traktorem, nebo technologií Curb-King. Maximální rychlost vody v příkopu má být mezi 0,50 a 1,00 m/s. Nezpevněné příkopy se často kombinují s trativody podobně jako v /DE/.



Obrázek 100: /ES/: Manuální realizace monolitického příkopu (zdroj: [60]).

Trativody obvykle tvoří částečně perforované plastové či betonové trouby profilů DN 100 až DN 600. U delších trativodů se používá kombinace kanalizace (hlavního sběrače) s trativodem, rozdělenými nepropustnou vrstvou. Pro výplň trativodních rýh se používá obvykle štěrk frakce 20/60 obalený geotextilií o minimální hmotnosti  $150 \text{ g/m}^2$ .



Obrázek 101: /ES/: Zřizování trativodu v zářezu (zdroj: [61]).

---

#### 4.4.5 ITÁLIE

---

Na italských VRT převažuje otevřené odvodnění se zpevněnými příkopy. Konstrukce odvodnění odpovídá odlišným klimatickým podmínkám, nepravidelným srážkám a jiné geologii.

Patní příkopy pod náspy jsou obvykle monolitické lichoběžníkového tvaru, buď na místě betonované, nebo prefabrikované. Standardní šířka těchto příkopů je 1,5 m, šířka i hloubka dna 0,5 m a sklony svahů 1 : 1. Při nedostatku kapacity se používají větší tvary. Prefabrikované konstrukce příkopů jsou z drátkobetonu s tenkými stěnami, délky 1,0–2,5 m a spojují se pomocí ozubů. Patní příkopy se umísťují 1,0 m od paty svahu.





Obrázek 102: /IT/: Monolitický na místě zhotovený příkop u paty budovaného náspu na trati Terzo Valico (zdroj: COCIV).



Obrázek 103: /IT/: Prefabrikované příkopy šířky 1,50 m (zdroj vlevo: Bosetti srl, zdroj vpravo: ROSSI PIERO & C. srl).

V zářezích se standardně používají menší prefabrikované příkopové žlaby obdélníkového tvaru ze železobetonu světlé šířky 0,30 až 0,50 m hloubky do 0,50 m bez zakrytí. U vyšších zářezů se provádí lavička, ve které je obdobný žlab rovněž umístěn.



Obrázek 104: /IT/: Zářez odvodněný malým příkopovým žlabem u paty a ve svahové lavičce (zdroj: Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani).

Významnou odlišností v konstrukci odvodnění oproti ostatním sledovaným zemím je ochrana náspů i jejich svahů před dešťovou vodou stékající z asfaltobetonové pláně za účelem zamezení jejich degradace a eroze, zejména při velkých a nepravidelných srážkách. Konstrukční vrstva je proto zřizována až na okraj pláně (i pod stezkou), kde je ukončena asfaltovým obrubníkem a v pravidelných intervalech je voda sváděna prefabrikovanými kaskádami do patního příkopu. V /IT/ jde o standardní prvek převzatý ze silničního stavitelství.



Obrázek 105: /IT/: Provádění asfaltové obruby na okraji pláně a kaskáda v místě přerušení obrubníku vyústěná do patního příkopu (zdroj: MASSENZA S.r.l.).

#### 4.5 NÁSTUPIŠTĚ

V /AT/ se nástupiště zřizují u kolejí, kde návrhová rychlost nepřekračuje 160 km/h. V praxi se i na novostavbách nacházejí nástupiště v obloucích, doporučený poloměr oblouku je 500 m a více. Převýšení koleje u nástupiště nemá překročit 60 mm a nesmí překročit 100 mm. Výška hrany je 550 mm nad TK, vzdálenost od osy koleje 1 665–1 680 mm podle poloměru oblouku. Užiténá délka nástupišť v hlavních stanicích je větší než 400 m, v menších stanicích je navržena dle místních potřeb. Konstrukci nástupiště obvykle tvoří pevná hrana z „L“ prefabrikátů, uložených do monolitického základu, založeného na spodní konstrukční vrstvě železničního spodku (obvykle 10 cm pod PTŽS). Povrch nástupišť se převážně zřizuje dlážděný. Zastřešené části nástupišť jsou obvykle odvodněny do koleje, nástupiště bez zastřešení směrem od koleje. Nebezpečná část nástupiště je vyznačena bílým pruhem ve vzdálenosti vnějšího okraje 2,50 m od osy koleje (dříve 2,30 m). Vodící linie je situována samostatně ve vzdálenosti min. 2,98 m od osy koleje. Vně nebezpečné oblasti je požadována průchozí šířka 1,30 m nebo větší.

V /DE/ je přímo na VRT minimum mezilehlých stanic pro osobní dopravu. Nástupiště jsou délky 405 m, výška hrany je 760 mm nad TK. Nástupiště jsou situována v přímé, ale pro zkrácení stanic někdy zasahují konce nástupišť do oblouků u předjízdových kolejí. Nástupiště mají pevnou hranu a dlážděný povrch skloněný od koleje. Končí obvykle kolmou zídou.

Ve /FR/ jsou nástupiště na tratích LGV standardně umístěna u kolejí s rychlostí 170 km/h nebo nižší. Užiténá délka činí 400 m (na LGV Atlantique 475 m) a výška nad TK 550 mm. Nástupiště má být umístěno v přímé, pouze výjimečně může být v oblouku s převýšením do 60 mm. Pod kolejí u nástupiště se navrhuje pláň ve sklonu 6 % (z nestmeleného materiálu). Nástupiště jsou odvodněna směrem od koleje. Nástupiště má pevnou hranu a povrch je obvykle z asfaltového betonu.



V **/ES/** se nástupiště navrhují u kolejí s rychlostí do 200 km/h, u již provozovaných se připouští až 250 km/h. Pro novostavby tratí LAV (zařazené do dopravního kódu F1) se navrhuje užitná délka nástupišť 410 m a výška 760 mm nad TK. Nástupiště má být u koleje v poloměru alespoň 500 m, minimum je 300 m. Maximální převýšení kolejí u nástupišť je pak 110 mm. Vzdálenost hrany od osy koleje činí 1 750 mm v přímé a až 1 810 mm v oblouku s převýšením [32]. Na nových tratích jsou nicméně nástupiště navrhována obvykle u přímých kolejí. Pro případ vykolejení doporučuje vyhláška [33] ukončit nástupiště šikmou rampou se zídou lineárně se vzdalující od koleje o 1,5 m na 30 metrech délky. V praxi převažuje ukončení nástupišť čelní zídou bez zábradlí (se schůdky). Nebezpečná zóna u hrany nástupiště nabývá šířky od 600 do 1 400 mm v závislosti na rychlosti a přítomnosti nákladní dopravy, poloha varovného pásu se však u novostaveb provádí pouze v uspořádání pro šířku zóny 1 200 a 1 400 mm. Vzdálenost překážek od nebezpečné zóny musí být 0,80 m (délka překážky do 1 m) nebo 1,20 m (délka do 10 m) nebo 1,60 m (délka přes 10 m). Maximální příčný sklon nástupišť je 2 %, ostrovní nástupiště jsou obvykle odvodněna ke koleji. Nástupiště mají pevnou hranu a povrch je obvykle dlážděný nebo z monolitického betonu.

Na nových stanicích na VRT v **/IT/** jsou zřizována nástupiště délky minimálně 450 m, zásadně v přímé. Výška hrany je 550 mm nad TK.

## 5 SEZNAM ZKRATEK

<b>/AT/</b> ..... Rakousko	<b>FAKOP</b> ... Fahrkinematische Optimierung; německý pojem pro systém rozšíření rozchodu ve výhybkách
<b>/CZ/</b> ..... Česká republika	<b>FF</b> ..... Feste Fahrbahn; německý pojem pro pevnou jízdní dráhu
<b>/DE/</b> ..... Německo	<b>FS</b> ..... Ferrovie dello Stato Italiane; italské státní dráhy (zastřešují provozovatele dopravy i správce infrastruktury)
<b>/ES/</b> ..... Španělsko	<b>GC</b> ..... kinematický obrys pro sestavení průjezdného průřezu
<b>/FR/</b> ..... Francie	<b>GPK</b> ..... geometrické parametry koleje
<b>/IT/</b> ..... Itálie	<b>HGT</b> ..... Hydraulisch gebundenen Tragschicht; německý pojem pro hydraulicky stmelenu roznášecí vrstvu pevné jízdní dráhy
<b>AB</b> ..... asfaltobeton	<b>HL</b> ..... Hochleistungsstrecke; rakouský pojem pro hlavní vysoce výkonné tratě
<b>ABS</b> ..... Ausbaustrecke; německý pojem pro modernizovanou trať s rychlostí do 230 km/h	<b>HPV</b> ..... hladina podzemní vody
<b>ADIF</b> ..... Administrador de Infraestructuras Ferroviarias; španělský správce železniční infrastruktury	<b>I</b> ..... nedostatek převýšení
<b>AF</b> ..... Autoroute Ferroviaire; francouzský pojem pro kombinovanou dopravu	<b>IC</b> ..... InterCity; kategorie dálkových vlaků
<b>ASP</b> ..... automatická strojní podbíječka	<b>ICE</b> ..... Intercity-Express; německá kategorie vlaků; též označení pro soupravy
<b>AV/AC</b> ... Alta Velocità/Alta capacità; italský pojem pro vysokorychlostní trať (s možností nákladní dopravy)	<b>JKS</b> ..... jednoduchá kolejová spojka
<b>BK</b> ..... bezстыková kolej	<b>KDZ</b> ..... kolejové dilatační zařízení
<b>BT</b> ..... Bituminöse Tragschicht; rakouský pojem pro konstrukční vrstvu z asfaltobetonu	<b>KGO</b> ..... Kinematic gauge optimization; anglický pojem pro systém rozšíření rozchodu ve výhybkách
<b>CBR</b> ..... California bearing ratio; anglický pojem pro Kalifornský poměr únosnosti	<b>KV</b> ..... konstrukční vrstva
<b>CNM</b> ..... Contournement Nîmes – Montpellier; vysokorychlostní trať ve Francii	<b>LA</b> ..... otlukovost Los Angeles
<b>c<sub>u</sub></b> ..... číslo nestejzornosti	<b>LAV</b> ..... Línea de alta velocidad; španělský pojem pro vysokorychlostní trať
<b>D</b> ..... převýšení koleje	<b>LCC</b> ..... Life-cycle cost; anglický pojem pro náklady životního cyklu
<b>DB</b> ..... Deutsche Bahn; německé dráhy (provozovatel dopravy i správce infrastruktury)	
<b>DK</b> ..... drcené kamenivo	
<b>DZ</b> ..... dilatační zařízení (kolejové)	
<b>E</b> ..... přebytek převýšení	
<b>E</b> ..... modul (přetvárnosti)	
<b>EPDM</b> .... ethylen-propylen pryž	
<b>EVA</b> ..... etylvinylacetát	



<b>LGV</b> .....	Ligne à grande vitesse; francouzský pojem pro vysokorychlostní trať	infrastruktury; součást skupiny FS
<b>LGV SEA</b> .....	Ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique; vysokorychlostní trať ve Francii	<b>SC</b> .....
<b>LNMP</b> .....	Ligne à grande vitesse Montpellier – Perpignan; vysokorychlostní trať ve Francii	cementová stabilizace
<b>MS</b> .....	minerální směs	<b>SFS</b> .....
<b>n</b> .....	součinitel sklonu vzestupnice	Schnellfahrstrecke; německý pojem pro vysokorychlostní trať
<b>NBS</b> .....	Neubaustrecke; německý pojem pro novostavbu (vysokorychlostní) trati pro rychlost 250–300 km/h	<b>SNCF</b> .....
<b>n<sub>1</sub></b> .....	součinitel změny nedostatku převýšení	Société nationale des chemins de fer français; francouzské dráhy (provozovatel dopravy i správce infrastruktury)
<b>NK</b> .....	nosná konstrukce (mostu)	<b>SR-GV</b> .....
<b>ÖBB</b> .....	Österreichische Bundesbahnen; rakouské spolkové dráhy (provozovatel dopravy i správce infrastruktury)	kategorie meziregionálních vlaků využívajících vysokorychlostní tratě ve Francii
<b>PJD</b> .....	pevná jízdní dráha	<b>ŠD</b> .....
<b>PRA</b> .....	Patins Réducteurs d'Attrition; francouzský pojem pro tuhé podpražcové podložky	šterkodrt
<b>PS</b> .....	Proctor standard; zkouška zhutnitelnosti	<b>TER-GV</b> ..
<b>PTŽS</b> .....	plášť tělesa železničního spodku	kategorie meziregionálních vlaků využívajících vysokorychlostní tratě ve Francii
<b>PVC</b> .....	Polyvinylchlorid	<b>TGV</b> .....
<b>R</b> .....	poloměr kružnicového oblouku	Train à grande vitesse; francouzský pojem pro vysokorychlostní vlak; též označení souprav i kategorie vlaků
<b>RCF</b> .....	Rolling contact fatigue; anglický pojem pro únavové kontaktní namáhání (kolejnic)	<b>TK</b> .....
<b>RENFE</b> ....	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles; španělské státní dráhy (provozovatel dopravy)	výška temene nepřevýšené kolejnice
<b>RFF</b> .....	Réseau ferré de France; francouzský správce železniční infrastruktury; nyní součástí SNCF	<b>TPU</b> .....
<b>RFI</b> .....	Rete ferroviaria italiana; italský správce železniční	termoplastický polyuretan
		<b>TSI</b> .....
		technické specifikace pro interoperabilitu; vydávané formou Nařízení (rozhodnutí) Komise EU
		<b>TV</b> .....
		trakční vedení
		<b>UIC</b> .....
		Union internationale des chemins de fer; mezinárodní železniční unie
		<b>USP</b> .....
		Under sleeper pads; anglický pojem pro podpražcové podložky
		<b>UT</b> .....
		upínací teplota bezstykové koleje
		<b>V</b> .....
		rychlost
		<b>VRT</b> .....
		vysokorychlostní trať
		<b>ZLR</b> .....
		Zero longitudinal restraint; anglický pojem pro kluzné upevnění kolejnic

## 6 SEZNAM ZDROJŮ

---

- [1] Nařízení Komise EU č. 1299/2014 o technických specifikacích pro interoperabilitu subsystému infrastruktura železničního systému v Evropské unii.
- [2] Příručka pro používání TSI infrastruktura ze dne 14. 12. 2015, verze 3.00.
- [3] ČSN EN 13674-1:2011 Železniční aplikace – Kolej – Kolejnice – Část 1: Vignolovy železniční kolejnice o hmotnosti 46 kg/m a větší.
- [4] Předpis SŽDC S3 se změnou č. 2 ze dne 1. 10. 2014.
- [5] UIC Leaflet 721, Recommendations for the use of rail steel grades.
- [6] INNOTRACK: D.4.1.3 Interim Guidelines on the selection of rail grades. 2008.
- [7] SNCF IN 3278 Référentiel Technique pour la réalisation des LGV – Partie Génie Civil. 2006.
- [8] SNCF IN 3279 Référentiel Technique pour la réalisation des LGV – Partie Équipements Ferroviaires. 2006.
- [9] SNCF IN0272 Infrastructure de conception du tracé de la voie courante à  $V \leq 220$  km/h. 2004.
- [10] ÖBB B 50 – Teil 2 Linienführung von Gleisen. 2004.
- [11] Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen HOCHLEISTUNGSSTRECKEN. 2002.
- [12] RFI TCAR IT AR 01 001 A Norme tecnica per la progettazione dei tracciati ferroviari. 2006.
- [13] PING, Wang. *Design of High-Speed Railway Turnouts: Theory and Applications*. 2nd ed. London: Elsevier, 2015. ISBN 978-0-323-39617-2.
- [14] Especificación Técnica 03.360.571.8 Traviesas monobloque de hormigón pretensado (2009)
- [15] RFI TCAR SF AR 03 002 E Traverse marca “RFI 230”, “RFI – 240” e “RFI – 260” in calcestruzzo vibrato, armato e precompresso. 2013.
- [16] BUGARÍN, M. R.; GARCÍA DÍAZ-DE-VILLEGAS, J. M. *Improvements in railway switches*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Rail and Rapid Transit. Vol 216, s. 275–286. 2002.
- [17] EKBERG A.; PAULSSON B. INNOTRACK: *Concluding Technical Report*. Solna: Intellecta Infolog, 2010. ISBN 978-2-7461-1850-8.
- [18] MARTIN, Antoine; CHUPIN, Olivier; PIAU, Jean-Michel; HICHER, Pierre-Yves. *Effets des paramètres de conception des Lignes à Grande Vitesse sur les niveaux d'accélération dans le ballast*. AFM, Maison de la Mécanique, 2013.
- [19] EN 13450:2013 Aggregates for railway ballast
- [20] Artificial Ballast Research Consortium. *Final report on the main results and advances of the Artificial Ballast project*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2012.
- [21] MANZO, N. Constanto; LÓPEZ, A. Pita; FONTSERÈ, V.; CASADO, J.A.; CARRASCAL, I.; DIEGO, S. NEOBALLAST: Desarrollando el balasto del futuro. *Vía Libre Técnica e Investigación Ferroviaria*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2016, vol. 11, s. 49–61. ISSN: 2174-0194.
- [22] UIC Leaflet 774-3 R, Track/bridge Interaction – Recommendations for calculations, 2001.
- [23] Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril (IAPF), Ministerio de Fomento, 2010.
- [24] ESVELD, Coenraad. Design of high speed track on long bridges. Esveld consulting services. [online]. [cit. 2016-10-17]. Dostupné z: <http://www.esveld.com/Download/TUD/bridges.pdf>
- [25] ČSN EN 15273:2013 Železniční aplikace – Průjezdové průřezy tratí a obrysy vozidel – Část 3: Průjezdové průřezy tratí.
- [26] SNCF RH0350 Règlement sur la Sécurité du Personnel vis à vis des Risques Ferroviaires – Prescriptions particulières applicables sur les lignes à grande vitesse où la vitesse des

- circulations ne dépasse pas 300 km/h et sur la ligne à grande vitesse Est Européenne parcourue à une vitesse de 320 km/h .2007.
- [27] Eisenbahn-ArbeitnehmerInnenschutzverordnung, Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Verkehrs-Arbeitsinspektorat, Wien, 1. 7. 2012
  - [28] ÖBB 40 Schriftliche Betriebsanweisung Arbeitnehmerschutz, 11. 10. 2015
  - [29] Richtlinie 800.0110 Netzinfrastuktur entwerfen; Linieführung, 20. 11. 2015
  - [30] Richtlinie 800.0120 Netzinfrastuktur Technik entwerfen; Auswahl der Weichen, Kreuzungen und Hemmschuhauswurfvorrichtungen, 1. 11. 2012
  - [31] Richtlinie 800.0130 Netzinfrastuktur Technik entwerfen; Streckenquerschnitte auf Erdkörpern, 1. 2. 1997
  - [32] Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria de gálibos»,
  - [33] Borrador de Orden FOM, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI-2016)», 2. 2. 2016 (návrh vyhlášky)
  - [34] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 15. 12. 2016
  - [35] DS 800 02 Bahnalagen entwerfen – Neubaustrecken, 1991
  - [36] Declaración de Red 2016, TP Ferro, 2016.
  - [37] Identification of High-Speed Rail Ballast Flight Risk Factors and Risk Mitigation Strategies – Final Report, U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Washington, 2015.
  - [38] GAUTIER, Pierre-Etienne; POISSON, Franck; BARCENA, Sergio; JOSSE, Frederic. TGV AT 360 km/h: A research program following a test campaign, SNCF, 2011.
  - [39] D'ANGELO, Giacomo; THOM, Nicholas, LO PRESTI, Davide. Bitumen stabilized ballast: A potential solution for railway track-bed, Construction and Building Materials, Vol. 124, s. 118–126. 2016.
  - [40] ÖBB Schotteroberbau – Gleise: Planung und konstruktive Ausführung, 2015.
  - [41] ÖBB Planung und konstruktive Ausführung von Weichen, Kreuzungen und Schienenauszugsvorrichtungen, 2016.
  - [42] ÖBB Regelwerk 09.02 Tragschichten, Gestaltung der Randbereiche einschließlich Kabeltrogagen, 2014.
  - [43] DB Richtlinie 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke, stav 2016.
  - [44] DBS 918 062 Korngemische für Trag- und Schutzschichten, 2007.
  - [45] BUGARÍN, M. R.; NOVALES, M., ORRO, A. *Modelling high speed turnouts*. University of La Coruña. La Coruña.
  - [46] STEINER, Ekkehard; KUTTELWACHSER, Christoph; PRAGER, Günter. Druckausbreitung von belasteten Eisenbahnschwellen im Gleisschotter. *ETR Austria*. Hamburg: DVV Media Group GmbH. 2012, vol. 12, s. 71–75. ISSN 0013-2845.
  - [47] AUER, Florian; POTVIN, Rodolphe. USP in Track - Summary Report, UIC, 2013.
  - [48] SCHILDER, Rudolf. USP (Under Sleeper Pads) – A contribution to save money in track maintenance. 2013.
  - [49] KNOLL, Bernhard. Experiences with Turnout Refinements. ÖBB, 2013.
  - [50] Le ministre de l'équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer: Arrêté du 19 mars 2012 fixant les objectifs, les méthodes, les indicateurs de sécurité et la réglementation technique de sécurité et d'interopérabilité applicables sur le réseau ferré national.
  - [51] MORAVEC, Lukas. Auswirkungen von Achslast- und Geschwindigkeitserhöhungen auf den bestehenden Eisenbahnunterbau. Universität für Bodenkultur Wien, 2011.

- [52] EISENMANN, Josef. Gleisstabilität von HGV-strecken unter Berücksichtigung der Linearen Wirbelstrombremse. *EI – Eisenbahningenieur*. Frankfurt/Main: Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. 2002, vol. 5, s. 12–18. ISSN 0013-2810.
- [53] LEHMANN, Henry; BALDAUF, Wilhelm; PETKOVA, Maya; EICKSTÄDT, Silvia. Eddy current brake compatibility. [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.ecuc-project.eu/delivrables/>.
- [54] KOČAN, Denis. Erfahrung mit der Fahrbahn der SFS Köln-Rhein/Main nach drei Jahren Betrieb. *EI – Eisenbahningenieur*. Frankfurt/Main: Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. 2005, vol. 11, s. 28–40. ISSN 0013-2810.
- [55] MARSCHNIG, Stefan; BERGHOLD, Armin. Besohlte Schwellen im netzweiten Einsatz. *ETR*. Hamburg: DVV Media Group GmbH. 2011, vol. 5, s. 10–12. ISSN 0013-2845.
- [56] Orden FOM/1631/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto y construcción de obras ferroviarias IF-3. Vía sobre balasto. Cálculo de espesores de capas de la sección transversal.
- [57] Rolling Contact Fatigue: A Comprehensive Review. U.S. Department of Transportation. Washington. 2011.
- [58] UNI 10006 Construzione e manutenzione delle strade, 2002.
- [59] RFI 00 C IF SP CO 01.01 Capitolato di Construzione Opere Civili.
- [60] MARTÍNEZ, Rubén. Cunetas revestidas de hormigón. [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <https://construblogspain.wordpress.com/2014/01/09/cunetas-revestidas-de-hormigon/>.
- [61] MARTÍNEZ, Rubén. Dren francés. Ejecución y características. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://construblogspain.wordpress.com/2014/01/23/dren-frances-ejecucion-y-caracteristicas/>.
- [62] PG-3 Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, 2017.
- [63] MARTÍNEZ, Rubén. Pedraplenes. Ejecución y características. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://construblogspain.wordpress.com/2013/11/07/pedraplenes-ejecucion-y-caracteristicas/>.
- [64] MARTÍNEZ, Rubén. Capa de forma. Ejecución y propiedades. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://construblogspain.wordpress.com/2013/11/05/capa-de-forma-ejecucion-y-propiedades/>.
- [65] MELIS, Manuel. Ingeniería forense en infraestructuras ferroviarias. Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [66] KABOUR, Saâdane. Optimisation du calage du drainage profond des plateformes ferroviaires. Université Pierre et Marie Curie, MinesParisTech & AgroParisTech. 2013.
- [67] Ligne Nouvelle Languedoc – Roussillon, Countounement de Nîmes et Montpellier, Enquête Publique. RFF.
- [68] PFEIFER, Rolf H.; MÖLTER, Tristan M. Handbuch Eisenbahnbrücken: Grundsätze für Planung und Konstruktion sowie Hinweise auf Bauverfahren. Hamburg: DVV Media Group, 2008. ISBN 978-3-7771-0378-5.
- [69] ÖBB Regelwerk 09.04 Gestaltung und Dimensionierung von Entwässerungsanlagen, 2013.
- [70] Projekty železničních tratí na webu Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. [online]. [cit. 2017-03]. Dostupné z <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/eisenbahn/index.html>.
- [71] ÖBB Regelwerk 09.09 Rohrdurchlässe und Leitungsquerungen inkl. Vorgaben für grabenlose Verfahren. 2015.
- [72] ÖBB B 45 Technische Richtlinien für Eisenbahnbrücken, Bahnüberbrücken und verwandte Bauwerke. 2005.
- [73] ÖBB Planungsgrundsätze für Eisenbahnbrücken. 2008.

- [74] ÖBB DB 740 Untergrund und Unterbau. 2009–2015.
- [75] OBERLERCHNER, Gerhard; FRITSCH, Michael. Die Drauquerung der Koralmbahn – eine außergewöhnliche Taktschiebebrücke. Baukongress 2014.
- [76] MACH, Michael. Instandhaltungsstrategie Fahrweg der ÖBB-Infrastruktur AG.
- [77] DRASCHITZ, C.; PAGLIARI, G.; SIMON, S.; STEINER, H.; WILLI, U. Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers. *tunnel: Sachstandsbericht 2011 „Sanierung von Eisenbahntunneln“*. Gütesloh: Bauverlag BV GmbH. 2011. s. 12–29.
- [78] DB NETZ Streckenprospekt Neubaustrecke Erfurt – Leipzig/Halle. [online]. [cit. 2017-02]. Dostupné z: [http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/medien/2015\\_33\\_streckenprospekt\\_vde.html](http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/medien/2015_33_streckenprospekt_vde.html).
- [79] Neubaustrecke Ebensfeld – Erfurt: Erläuterungsbericht. 2007.
- [80] Ausbau und Neubaustrecke Stuttgart – Augsburg, Bereich Wendlingen – Ulm: Erläuterungsbericht. 2008.
- [81] Neubaustrecke Rhein/Main – Rhein/Neckar: Erläuterungsbericht. 2008.
- [82] HANF, Peter, FRICKE, Ronald. Erfahrungen bei der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main aus Sicht der Arbeitsgemeinschaft Mittelstand.
- [83] ILIEV, Dimitre L. Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch besohnten Schwellen. Technische Universität München. 2011.
- [84] KRAFT, Oliver. Perspektiven des Güterverkehrs auf der neuen Hochgeschwindigkeitstrasse von Hochgeschwindigkeitstrasse von Nürnberg – Erfurt – Leipzig/Halle – Berlin, DB Netz. 2009.
- [85] SCHUHR, Peter. Übergangsbogen für Bahnen mit hohen Fahrgeschwindigkeiten. Deutsche geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. 2007.
- [86] UIC Leaflet 724 E, Track equipment for 25 tons (250 kN) axle loads on ballasted track, 2005.
- [87] MATTHEWS, Volker. Bahnbau: mit 60 Tabellen. 7., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Teubner, 2007. ISBN 978-3-8351-0013-8.
- [88] BOTELHO, Roberto Teixeira. Les Matériaux de voie ferrée sur Ligne grande vitesse (LGV). Faculdade de engenharia, Universidade do Porto. 2010.
- [89] Etudes complémentaires suite au débat public. Conception technique générale: méthodologie. 2008.
- [90] Document de référence de la ligne LGV SEA Tours – Bordeaux. LISEA. 2017.
- [91] DIELEMAN, Luc. Expérimentation d'une section de voie sans ballast sur la nouvelle LIGNE TGV EST EUROPÉENNE. 2009.
- [92] AMBERT, Régis. Mesures de l'état du réseau Domaine Voie Tendances, perspectives et innovations. Symposium Infra. 2013. HOSSEINGHOLIAN, Mohsen. Expérimentation sur le comportement de plates formes bitumineuses sous sollicitations dynamiques. Journées géotechnique. 2011.
- [93] CUCCARONI, Alain. Europäische Hochgeschwindigkeitsstrecke LGV Est – Ziele, Planung, Schotteroberbau, Testserien. *ETR*. Hamburg: DVV Media Group GmbH. 2009, vol. 4, s. 172–178. ISSN 0013-2845.
- [94] COLLARDEY, Bernard. La LGV Est-européenne ouverte de bout en bout. *Rail Passion*. Paris: LES ÉDITIONS LA VIE DU RAIL. 2016. vol. 227, s. 16–29. ISSN 1261-3665.
- [95] MEILLASSON, Sylvain. LGV Est seconde phase: des innovations pour la pose de la voie. *Rail Passion*. Paris: LES ÉDITIONS LA VIE DU RAIL. 2014. vol. 202, s. 44–45. ISSN 1261-3665.
- [96] LGV Sud Europe Atlantique: Utilité Publique. RFF. 2007.
- [97] Ligne Nouvelle Montpellier – Perpignan. [online]. [cit. 2016-12]. Dostupné z: <http://www.ligne-montpellier-perpignan.com/>.



- [98] Ligne Poitiers – Limoges. [online]. [cit. 2016-12]. Dostupné z: <http://www.lgvpoitierslimoges.com/>.
- [99] Ligne Nouvelle Provence Côte d'Azur. [online]. [cit. 2016-09]. Dostupné z: <http://www.lignenouvelle-provencecotedazur.fr/>.
- [100] Ligne à Grande Vitesse Est: Sous les rails, le bitume. Bitume.info.
- [101] ROBINET, Alain. Design of the asphalt layer on high speed lines. 2013.
- [102] Grave-bitume sous ballast: Sous les rails, le bitume. bitume.info. 2014.
- [103] Asphalt in Railway Tracks. EAPA. 2014.
- [104] ROSE, Jerry G.; TEIXEIRA, Paulo F.; VEIT, Peter. International design practices, applications and performances of asphalt/bituminous railway trackbeds.
- [105] KABOUR, Saâdane. Optimisation du calage du drainage profond des plateforme ferroviaires. Université Pierre et Marie Curie, MinesParisTech & AgroParisTech. 2013.
- [106] ROBINET, Alain. Les couches de forme traitées pour les lignes ferroviaires à grande vitesse. 2013.
- [107] CAZIER, Olivier. HOSSEINGHOLIAN, Mohsen. La tenue de la géométrie des voies ballastées à 320 km/h et les essais au CER. 2016.
- [108] COUDERT, Frédéric. Appareils de voie. 2012.
- [109] Ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique. [online]. [cit. 2017-01]. Dostupné z: <http://www.lisea.fr/>.
- [110] Ligne à grande vitesse Bretagne – Pays de la Loire. [online]. [cit. 2017-01]. Dostupné z: <http://www.lgv-bpl.org/>.
- [111] Recommandation: Envois de ballast. EPSF. 2015.
- [112] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Strassenbau (ZTVE-StB). 2009.
- [113] Technical Regulatory Standards on Japanese Railways. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Neoficiální překlad do angličtiny. 2006.
- [114] California High-Speed Train Project: Technical Memorandum. 2009.
- [115] Orden FOM/1269/2006, de 17 de abril, por la que se aprueban los Capítulos: 6.–Balasto y 7.-Subbalasto del pliego de prescripciones técnicas generales de materiales ferroviarios (PF).
- [116] Projekty železničních tratí na webu Ministerio de Fomento. [online]. [cit. 2016-10]. Dostupné z: <http://www.fomento.gob.es/>.
- [117] Descripción de la Red. ADIF. 2016.
- [118] GUERRERO, Belén. La alta velocidad Illega a León. Vía Libre Técnica e Investigación Ferroviaria. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2015, vol. 8, s. 4–28. ISSN: 2174-0194.
- [119] MURO, Alexandre Vidal. Vibraciones en las Vías de Ferrocarril. Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Barcelona. 2009.
- [120] MARTÍNEZ, Ángel Higuera. El Montaje de la vía de Alta Velocidad. Informes de la Construcción. 1992. Vol. 44, s. 49–66.
- [121] GONZÁLEZ, Pedro; CUADRADO, Manuel; NASARRE, Jorge; ROMO, Eduardo. Alta Velocidad: El Fenómeno de Interacción Vía-Tablero en Puentes. Revista de Obras Públicas. 2002. Madrid: Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Vol. 3, s. 61–68. ISSN 0034-8619.
- [122] MARTÍNEZ, Alberto Reguero. TIPOLOGÍAS DE VIADUCTOS EN LA L.A.V. MADRID–BARCELONA–FRONTERA FRANCESA. Revista de Obras Públicas. Madrid: Colegio de Caminos, Canales y Puertos. 2004. Vol. 3, s. 109–114. ISSN 0034-8619.
- [123] Observatorio del Ferrocarril en España. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011.
- [124] RUIZ, Luis López. Infrastructure for High Speed. International Practicum on Implementing High-Speed Rail in the United States.

- [125] Diseño y Puesta en Valor de Paneles Antivibración Fabricados con Material Secundario Procedente de Neumáticos Usados para su Aplicación en el Campo de las Infraestructuras Ferroviarias. 2012.
- [126] COBO, Marta Jiménez. Análisis del cruce entre trenes de alta velocidad y de mercancías en líneas con tráfico mixto desde el punto de vista aerodinámico. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- [127] FRANCO, Ricardo Insa. DISEÑO DE VÍAS DE ALTA VELOCIDAD: CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO. 2008.
- [128] Sistema Alta Velocita: Sezione VI: Specifica di controllo qualita per rilevati. Italferr. 1993.
- [129] RFI TCAR SF AR 05 010 A Sistema di Attacco completo per Traverse in Cap. 2013.
- [130] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'Esecuzione dei Ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario. 2011.
- [131] RFI DTC INC SP IFS 010 B Petrisco per Massiciata ferroviaria. 2012.
- [132] RFI TCAR SF AR 02 001 B, C Rotaie e Barre per Aghi. 2014.
- [133] RFI TC/DIN/DMA AR NT AR 08 001 A Line Guida per l'Impiego di Armamento senza Massiciata. 2006.
- [134] RFI TCAR SF AR 03 007 B Tappetini sotto Traversa (USP). 2016.
- [135] RFI TCAR SF AR 03 008 A Manufatti in Calcestruzzo con Tappetini sotto Traversa (USP). 2015.
- [136] RFI TCAR SP AR 06 007 B Scambi S 60/400/0,074 con Cuore a Punta mobile. 2003.
- [137] RFI TCAR SP AR 06 008 B Scambi S 60/1200/0,040 con Cuore a Punta mobile. 2003.
- [138] RFI TCAR SP AR 06 009 A Scambi per Velocita in deviata di 160 km/h noc Cuori a Punta mobile. 2003.
- [139] RFI TCAR ST AR 07 001 A Norme Tecniche per la saldatura in opera di rotaie eseguita co i procedimenti alluminotermico ed elettrico a scintillio. 2001.
- [140] d'Elia, Sergio; FESTA, Demetrio; GUIDO, Giuseppe. Corso di Progettazione di Sistemi ed Infrastrutture di Trasporto: Il Tracciato. 2007.
- [141] GIUNTA, Marinella. La Strada ferrata: Corpo stradale e Sovrastruttura Ferroviaria. Universita „Mediterranea“ di Regio Calabria.
- [142] GIUNTA, Marinella. Andamento plano-altimetrico del Tracciato di una Linea ferroviaria. Universita „Mediterranea“ di Regio Calabria.
- [143] VIGANÒ, Sergio. l'Infrastruttura ferroviaria. Il Corpo stradale. l'Armamento. Corso di formazione di Tecnica e cultura ferroviaria. 2014.
- [144] ZUCCHI, Erica. La qualità del binario nelle linee AV/AC: studio dei dati rilevati dai treni diagnostici di RFI e analisi degli interventi manutentivi in previsione dell'aumento di velocità a 360 km/h. Scuola di Ingegneria e Architettura DICAM. 2013.
- [145] Projekty železničních tratí dostupné z webových stránek italských měst. [online].
- [146] MARZILLI, E.; TESTA, M.; SENESI, F.; ROSSI, S.; CARONTI, D.; FILIPPINI, N. Passante AV Bologna: Innovazione tecnologica dell'armamento e del segnalamento. 3° Convegno Nazionale Sicurezza ed Esercizio ferroviario: Tecnologie e Regolamentazione per la Competizione.
- [147] RFI Servizi di Vigilanza Linea armamento e Sede. 2005.
- [148] LAY, Ekkehard; ABLINGER, Peter. Feste Fahrbahn Köln-Rhein/Main – eine richtige Entscheidung. EI – Eisenbahningenieur. Frankfurt/Main: Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. 2002, vol. 12, s. 30–35. ISSN 0013-2810.
- [149] AFTES Recommendations: Rail tracks and track beds in tunnels. French Tunnelling and Underground space Association. 2013.
- [150] KASSA, Elias. Switch design optimisation: Optimisation of track gauge and track stiffness. Norwegian University of Science and Technology – Trondheim. 2015.

- [151] VINOLAS, Jordi; ALONSO, Asier; AIZPUN, Miguel. The Infulence of Track Elasticity when travelling on a Railway Turnout. 2014.
- [152] SMOLKA, Marek; ZBOŘIL, Josef. Řešení problematiky zpružnění ve výhybkách. Nová železniční technika. Brno: KPM Consult, a.s. 2011. Vol. 2, s. 24–28. ISSN 1210-3942.
- [153] SHU, Xinggao; DAVIS, David; PETERSON, Blaine. O.; LEE, Sung. FRA BAA High speed Turnout design Project. AREMA. 2013.
- [154] PUDA, Bohuslav. Výhybky pro vysokorychlostní tratě. Seminář železniční dopravní cesta 2006.
- [155] BUGARÍN, Miguel Rodríguez. Introdução à Geometria dos Aparelhos de mudança da Via para alta Velocidade. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2008.
- [156] SMOLKA, Marek; KREJČÍŘKOVÁ, Hana; SMUTNÝ, Jaroslav. Zvýšení kvality jízdní dráhy ve výhybkách pomocí zpružnění. 17. konference Železniční dopravní cesta 2012.
- [157] ASMUSSEN, Bernd a kol. RIVAS: Description of the vibration generation mechanism of turnouts and the development of cost effective mitigation measures. 2003.
- [158] UIC Leaflet 713 E Design of monoblock concrete sleepers. 2004.
- [159] ANTONI, Marc. Schottergleis mit 400 km/h. GRAZ 12. 2011.
- [160] ADIF NAV 7-1-4.1 Montaje de vía: Neutralización y Homogenización de Tensiones del Carril en la Vía sin juntas. 2009.
- [161] VAQUERO, Isidro Alfonso Carrascal. Optimización y Análisis de Comportamiento de Sistemas de Sujeción para vías de Ferrocarril de Alta Velocidad Española. Universidad de Cantabria. 2006.
- [162] JACOBINI, Francesco Bedini; TUTUMLUER, Erol; SAAT, Mohd Rapik. Identification of High-Speed Rail Ballast Flight Risk Factors and Risk Mitigation Strategies. 10th World Congress on Railway Research Sydney. 2013.
- [163] Ballast: Issues & Challenges. International Workshop UIC Paris. 2013.
- [164] ROCCHI, Daniele; SCHITO, Paolo; TOMASINI, Gisella; GIAPPINO, Stefano, PREMOLI, Antonio. Numerical-experimental study on flying ballast caused by high-speed trains. Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano. 6th European and African Conference on Wind Engineering.
- [165] MEDINA, Fermin Navarro; SANZ-ANDRES, Angel; PEREZ-GRANDE, Isabel; ARTINEZ, Alejandro; VEGA, Enrique; RODRIGUEZ-PLAZA, Miguel; IGLESIAS-DIA, Ignacio Jorge; ANDRES-ALGUACIL, Alvaro; ALONSO-GIMENO, Diana. The ballast pick-up problém. A theoretical approach and two experimental campaigns.
- [166] LAZARO, Benigno J.; GONZALEZ, Ezequiel; RODRIGUEZ, Manuel; RODRIGUEZ, Manuel; OSMA, Salvador; IGLESIAS, Jorge. Characterization and Modeling of Flying Ballast Phenomena in High-speed Train Lines. 9th World Congress on Railway Research. Lille. 2011.
- [167] ALLAIN, E.; PARADOT, N.; GAILLOT, V. Ballast Flying Risk Assessment Method for High Speed Line. 9th World Congress on Railway Research. Lille. 2011.
- [168] QUEZADA, Juan-Carlos. Mécanismes de tassement du ballast et sa variabilité. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2012.
- [169] POWRIE, William; PRIEST, Jeffrey. Behaviour of ballasted track during high speed train passage. University of Southampton. 2011.
- [170] FENDRICH, Lothar; FENGLER, Wolfgang. Handbuch Eisenbahn-infrastruktur. 2. vydání. Berlin: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-30020-2.
- [171] Informační materiály a konzultace se správci infrastruktury ve sledovaných zemích.
- [172] Informační a propagační materiály výrobců.