VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK V TUNELU

PERMANENT WAY IN TUNNEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Daniela Kulhavá

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Richard Svoboda, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2024

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav železničních konstrukcí a staveb
Studentka:	**Bc. Daniela Kulhavá**
Vedoucí práce:	**Ing. Richard Svoboda, Ph.D.**
Akademický rok:	2023/24
Studijní program:	N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Železniční svršek v tunelu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude rozdělena do těchto částí:
- popis konstrukcí železničního svršku
- popis lokality tunelu Mezno - souvislosti s technologickými postupy, dostupností materiálu, přístupů apod.
- popis konstrukce tunelu Mezno a změn konstrukce v případech jiných konstrukcí železničního svršku
- porovnání technologie stavby různých konstrukcí železničního svršku pro lokalitu Mezno
- porovnání technologie údržby různých konstrukcí železničního svršku pro lokalitu Mezno
- vyhodnocení porovnání

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je porovnání různých konstrukcí železničního svršku (klasická konstrukce, různé konstrukce pevné jízdní dráhy) v tunelu jak z pohledu konstrukce tunelu - velikosti výrubu, tak technologie provádění stavby a údržby.
Pro konkrétní porovnání bude využita stavba tunelu Mezno.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Modern Railway Track, Esveld C.

Feste Fahrbahn, Darr E., Fiebig W.

ČSN 73 63 60-1

Předpis SŽDC S9 Pevná jízdní dráha

Přednášky k železničním stavbám a podzemním stavbám

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 29. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D. vedoucí ústavu	Ing. Richard Svoboda, Ph.D. vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá srovnáním konstrukcí železničního svršku v tunelu. Je porovnávána konstrukce kolejového lože a pevné jízdní dráhy – konkrétně typu se zabetonovaným kolejovým roštem a typu s prefabrikovanými deskami. Konkrétně je řešena pevná jízdní dráha typu Rheda 2000 a ÖBB-PORR. Dále je navržena technologie výstavby a údržby zmíněných konstrukcí. Je zhotoveno závěrečné porovnání výhod a nevýhod jednotlivých typů při použití v tunelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

železniční svršek v tunelu, železniční svršek, kolejové lože, pevná jízdní dráha, železniční tunel

ABSTRACT

The master thesis deals with the comparison of railway superstructure structures in a tunnel. It compares the construction of the ballast bed and the slab track - specifically the type with sleepers embeded in concrete and the type with prefabricated concrete slabs. Specifically, the slab track type Rheda 2000 and ÖBB-PORR are considered. Furthermore the construction and maintenance technology of these structures is proposed. A final comparison of the advantages and disadvantages of the different types in tunnel applications is made.

KEYWORDS

permanent way in tunnel, superstructure, ballast base (gravel ballast, ballast bed), ballastless track (slab track), railway tunnel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KULHAVÁ, Daniela. *Železniční svršek v tunelu*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí Ing. Richard Svoboda, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Železniční svršek v tunelu* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Daniela Kulhavá
autor

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Richardovi Svobodovi, Ph.D. za čas, cenné rady a odborné vedení, které mi během zpracovávání diplomové práce poskytl.

Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Vlastimilovi Horákovi za poskytnutou konzultaci ohledně úpravy geometrických parametrů tunelu.

Bc. Daniela Kulhavá

Obsah

Seznam zkratek ... 10

1 Úvod ... 13

2 Konstrukce železničního svršku ... 15

2.1 Klasická konstrukce ... 15

2.1.1 Materiál kolejového lože ... 16

2.1.2 Profil kolejového lože ... 19

2.2 Moderní konstrukce ... 22

2.2.1 Nosná deska PJD ... 25

2.2.2 Roznášecí vrstva ... 25

2.2.3 Pružnost, systém upevnění PJD ... 26

2.2.4 Přechodová oblast ... 30

2.2.5 ÖBB-PORR ... 32

2.2.6 Rheda 2000 ... 40

3 Železniční tunely ... 45

3.1 Vnitřní vybavení železničních tunelů ... 47

3.2 Bezpečnostní opatření v tunelech ... 49

3.3 Projektování tunelů ... 50

3.4 Traťové odpory v tunelu ... 53

3.5 Výstavba tunelů ... 54

3.6 Rizika spojená s výstavbou a provozem tunelů ... 56

4 Cíle práce ... 58

5 Popis tunelu Mezno ... 59

5.1 Dodávka materiálů ... 61

6 Technologie výstavby různých konstrukcí železničního svršku ... 62

6.1 Klasická konstrukce ... 63

6.2 Moderní konstrukce ... 66

6.2.1 ÖBB-PORR ... 67

6.2.2 Rheda 2000 ... 76

6.3 Bezstyková kolej ... 80

7 Technologie údržby různých konstrukcí železničního svršku ... 82

7.1 Klasická konstrukce ... 82

7.1.1 Čištění kolejového lože ... 82

7.1.2 Úprava GPK ... 84

7.2 Moderní konstrukce ... 86
7.2.1 ÖBB PORR ... 87
7.2.2 Rheda 2000 ... 89
7.3 Reprofilace kolejnic ... 89
7.4 Údržba bezstykové koleje ... 90
7.5 Výměna kolejnic a pražců ... 91
7.5.1 Výměna kolejového roštu v klasické konstrukci ... 92
7.5.2 Výměna kolejnic na PJD ... 93
7.6 Údržba tunelů ... 94
8 Vyhodnocení porovnání různých konstrukcí železničního svršku ... 95
8.1 Porovnání PJD s klasickou konstrukcí ... 95
8.2 Porovnání PJD ... 99
9 Závěr ... 101
10 Seznam obrázků ... 102
11 Seznam tabulek ... 104
12 Seznam příloh ... 105
13 Literatura ... 106

Seznam zkratek

A	parametr klotoidy	(m)
AC	střídavá napájecí trakční soustava	(kV/Hz)
AL	mez sledování	
APK	absolutní poloha koleje	
ASP	automatická strojní podbíječka	
AVR	antivibrační rohož	
BK	bezstyková kolej	
c	statická tuhost	(kN/m)
ČSN	česká technická norma	
D	převýšení koleje	(mm)
DC	stejnosměrná napájecí trakční soustava	(kV)
E	modul přetvárnosti	(MPa)
ERRI	European Rail Research Institute (Evropský železniční výzkumný ústav)	
FST	Floating Slab Track (plovoucí jízdní dráha)	
GPK	geometrické parametry koleje	
HGT	směs stmelená hydraulickými pojivy	
IAL	mez bezodkladného zásahu	
I	nedostatek převýšení	(mm)
I_D	index ulehlosti zemin	(-)
IL	mez zásahu (opravy)	
IZS	integrovaný záchranný systém	
KL	kolejové lože	
KV	konstrukční vrstva	
L_i	délka směrového prvku konstantní křivosti	(m)
L_K	délka krajní přechodnice ve tvaru klotoidy	(m)

m	odsazení kružnicového oblouku od tečny přechodnice v jejím počátku	(m)
MFS	zásobníkový vůz	
MSS	Mass Spring Systém (systém odpružené hmoty)	
n	součinitel sklonu vzestupnice	(-)
NRTM	nová rakouská tunelovací metoda	
OTH	odbor traťového hospodářství	
o_t	měrný odpor z jízdy tunelem	(‰)
OTP	ostatní technické podmínky	
PJD	pevná jízdní dráha	
PK	převýšení koleje	(mm)
PPK	prostorová poloha koleje	
PS	Proctor Standard	(%)
PTŽS	pláň tělesa železničního spodku	
R	poloměr kružnicového oblouku	(m)
RK	rozchod koleje	(m)
RK100	střední hodnota rozchodu koleje na délce 100 m	(mm)
RP	rychlostní pásmo	
scc	Self-Compacting Concrete (samozhutnitelný beton)	
SČ	strojní čistička	
SMD	obnovovací stroj pro kontinuální výměnu kolejnic a pražců	
SŽ	Správa železnic	
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace	
STPP	sdružený tunelový průjezdný průřez	

TBM	Tunnel Boring Machine (plnoprofilový razící štít)	
TK	temeno (nepřevýšeného) kolejnicového pásu	
TPD	technické podmínky dodací	
TPP	tunelový průjezdný průřez	
TV	trakční vedení	
u	rozdělení pražců	(mm)
UIC	Union Internationale des Chemins de fer (Mezinárodní železniční unie)	
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví	
V	rychlost	(km/h)
V_{130}	rychlost při nedostatku převýšení I = 130 mm	(km/h)
V_K	rychlost pro jednotky s naklápěcí skříní	(km/h)
X_K	x-ová souřadnice koncového bodu přechodnice tvaru klotoidy	(m)
Y_K	y-ová souřadnice koncového bodu přechodnice tvaru klotoidy	(m)
ZPK	zařízení na přepravu kolejnic	
ZR	změna rozchodu koleje na stanovené délce	(mm/2m)
ŽPSV	Železniční průmyslová stavební výroba (ŽPSV s.r.o.)	
ŽSp	železniční spodek	
ŽSv	železniční svršek	
α	středový úhel oblouku	(g)
T_K	úhel tečny v koncovém bodě přechodnice tvaru klotoidy	(g)

1 Úvod

Dříve byly tratě vedeny zejména po povrchu terénu, pomocí směrových oblouků menších poloměrů, které byly využívány místo umělých staveb železničního spodku, jako jsou tunelové a mostní konstrukce. V začátcích trasování železnic navrhované tratě vyhovovaly původním poměrům, ale v dnešní době se požadavky na traťové rychlosti, plynulost dopravy a snižování jízdních dob zvyšují. Proto dochází k optimalizacím směrových poměrů a modernizacím nevyhovujících úseků.

V některých úsecích lze traťovou rychlost zvýšit pomocí úpravy geometrických parametrů koleje, například zvýšením převýšení ve směrových obloucích. Dalším ze způsobů modernizace, který má sice vyšší finanční náročnost, ale za to velmi vhodnou úpravu u výrazně nevyhovujících úseků, jsou přeložky tratí. V tomto případě je trať vedena po nově vybudovaném tělese s výraznou změnou směrového řešení a s nově postavenými umělými stavbami. U přeložek je třeba myslet na koordinaci s okolní zástavbou, inženýrskými sítěmi a jinými stavbami, případně zajistit i přeložky těchto objektů. V některých úsecích tratě obcházejí terénní vyvýšeniny pomocí směrových oblouků menších poloměrů, a v těchto případech je vhodné trať přeložit do tunelu skrz terénní vyvýšeninu.

Tunely patří k nejnáročnějším stavebním konstrukcím, zejména z hlediska technologické a investiční náročnosti. Dříve se jednalo o velmi náročnou stavbu z hlediska proveditelnosti, a hlavně bezpečnosti dělníků. Z těchto důvodů byla snaha se tunelovým stavbám vyhýbat. Realizaci tunelu v současnosti velmi usnadňují moderní technologie, které snižují množství manuální práce na minimum, zrychlují proces výstavby a zvyšují bezpečnost dělníků. Díky dnešním požadavkům na kvalitní geotechnický průzkum se zjistí dostatečné informace ohledně dotčeného území, které umožňují a zjednodušují optimální navržení celé konstrukce.

U nově stavěných tunelů je velikost samotného výrubu ovlivněna zejména průjezdným profilem, trakčním vedením a typem konstrukce železničního svršku. Do dnešních dob se používá zejména klasická konstrukce kolejového lože, která je sice jednodušší na provedení, ale je třeba ji pravidelně udržovat zejména kvůli přesnosti geometrických parametrů koleje, na které je v tunelové konstrukci dáván vyšší důraz kvůli dodržení tunelového průjezdného profilu. V dnešní době je možnost použití modernější konstrukce železničního svršku – pevné jízdní dráhy, která má vyšší stabilitu geometrických parametrů koleje, přičemž odpadá podbíjení koleje, které je v tunelu ztěžováno zvýšenou prašností. Pevná jízdní dráha má oproti klasické konstrukci nižší stavební výšku, čímž se změní i velikost výrubu u nově stavěných tunelů.

Z těchto důvodů se jeví porovnání konstrukcí železničního svršku v návaznosti na konstrukci tunelu jako zajímavé téma pro vypracování diplomové práce. Porovnání konstrukcí je důležité posoudit i z dalších úhlů pohledu, jako je technologie výstavby a údržby, ekonomická náročnost a investiční návratnost.

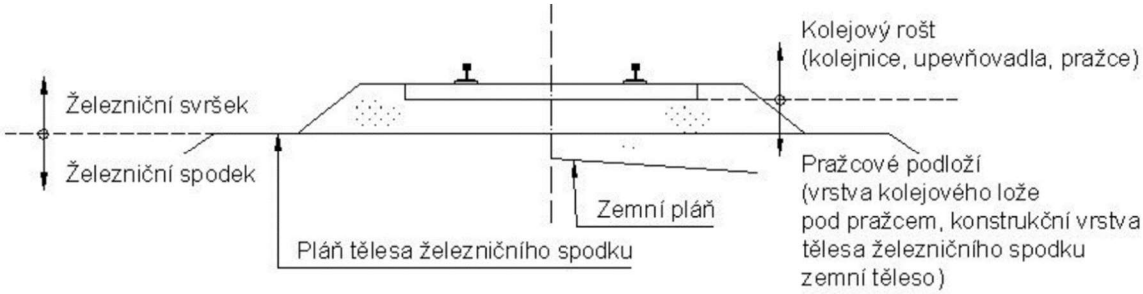
2 Konstrukce železničního svršku

Konstrukce železničního svršku zajišťuje přenos zatížení vyvolané jedoucími vozidly z kolejnic, přes uzel upevnění, do kolejnicových podpor a následně do KL nebo PJD a dále do podloží. Konstrukce svršku se navrhuje na dovolenou hmotnost železničních vozidel na nápravu, nejvyšší dovolenou by rychlosti a provozní intenzitu. Konstrukce měla být jednoduchá na montáž a stavbu, snadná na údržbu, úpravu GPK a výměnu opotřebovaných částí konstrukce i během provozu bez nutnosti delších výluk.

Diplomová práce se zabývá pouze částí železničního svršku, a to klasickou konstrukcí kolejového lože (dále také ,,KL“) a některými typy pevné jízdní dráhy (dále jen ,,PJD“). Soustava železničního svršku je zvolena UIC 60, tzn. kolejnice 60 E2 v úklonu 1:40, bezstyková kolej, pružné upevnění Vossloh W14/Vossloh 300 a betonové pražce s hmotností větší než 300 kg (B 91T/1) s rozdělením ,,u“ (600 mm)/pevnou jízdní dráhu. V tunelu a v předportálových oblastech se použijí spojovací a upevňovací části železničního svršku se schválenou antikorozní úpravou podle příslušných TPD [8]. Pro porovnání byly zvoleny konstrukce pevné jízdní dráhy ÖBB-PORR a Rheda 2000.

2.1 Klasická konstrukce

Klasickou konstrukcí rozumíme kolejové lože s příčnými kolejnicovými podporami. Příčné kolejnicové podpory – pražce utvářejí spolu s kolejnicemi tzv. kolejový rošt. Část KL pod úrovní ložné plochy kolejnicových podpor tvoří spolu s konstrukcí tělesa železničního spodku pražcové podloží. Základní části konstrukce koleje jsou zobrazeny na obr. č. 1.



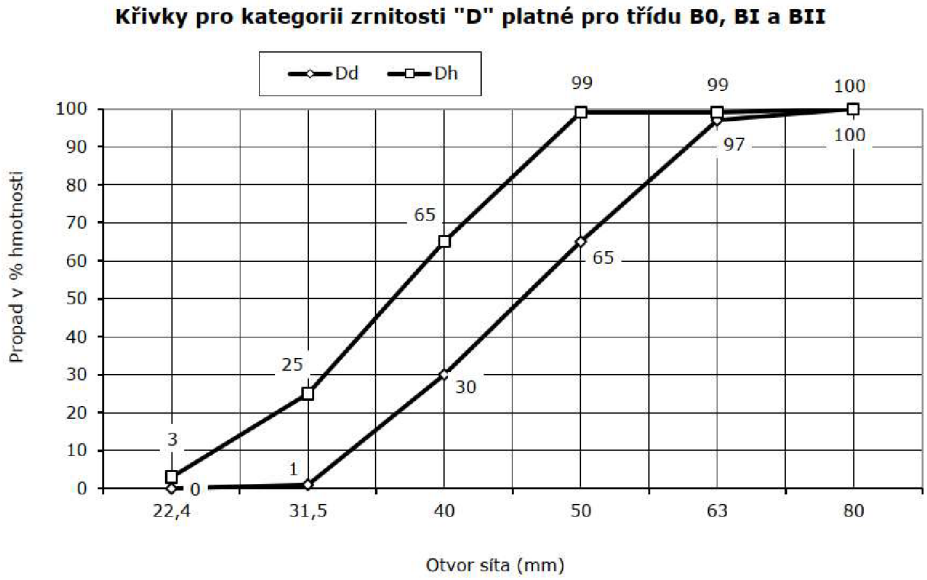
obr. č. 1: Základní části konstrukce koleje

Mezi základní funkce kolejového lože patří pružné uložení kolejového roštu, roznos zatížení z kolejového roštu na pláň tělesa železničního spodku (dále také ,,PTŽS“), zajištění odporu proti příčnému a podélnému posunutí koleje a umožnění výškové a směrové úpravy koleje. Správný tvar kolejového lože zajišťuje bezpečný přenos všech sil (svislých, podélných i příčných), a tím i bezpečný železniční provoz.

Kolejové lože musí být pro zachování potřebných parametrů pravidelně udržováno (údržba a korekce geometrických parametrů koleje), musí probíhat kontroly s využitím vysoké míry lidské činnosti.

2.1.1 Materiál kolejového lože

Pro KL se používá štěrk s frakcí 31,5/63 a objemovou hmotností min. 2000 kg/m3. Křivka požadované zrnitosti kameniva je zobrazena na obr. č. 2. Materiál KL musí po celou dobu předpokládané životnosti stavby zajistit dostatečnou stabilitu, mechanickou odolnost, ochranu zdraví a životního prostředí a ochranu hluku.



obr. č. 2: Křivka zrnitosti kameniva KL [16]

Použití třídy kameniva dle jakosti, druhu kameniva a dle řádu koleje je zobrazeno v tab. č. 1 . Vlastnosti nového kameniva dle třídy jakosti jsou zobrazeny v tab. č. 2. Ostatní technické parametry, technické požadavky, četnosti zkoušek, metodiky stanovení geotechnických vlastností kameniva (tvar zrn, index plochosti, tvarový index, délka zrn, atd.) jsou uvedeny v dokumentu OTP Kamenivo pro kolejové lože železničních drah [16]. Kamenivo nesmí obsahovat žádné škodlivé složky.

tab. č. 1: Druh kameniva dle řádu koleje [10]

Koleje	Druh kameniva	
	Nové	Recyklované
v>120 km/h	BI	BI (pouze ve spodní vrstvě KL, nejvýše 50 mm pod úroveň ložné plochy pražců při konečné niveletě koleje)
v≤120 km/h	min. BII	min. BII (v celém profilu KL)

tab. č. 2: Vlastnosti nového kameniva dle třídy jakosti [16]

Vlastnost	Stanovena podle	Třída kameniva		
		B0	BI	BII
Podíl ostrohranných zrn (% zrn)	OTP, příloha E	≥ 90	≥ 80	≥ 80
Cizorodé částice (% hmotnosti)	OTP, příloha D	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,25
Trvanlivost – úbytek v % hmotnosti po 5 zkušebních cyklech	ČSN 72 1176	≤ 3	≤ 3	≤ 5

Přírodní kamenivo

Přírodní kamenivo je nejlépe drcené (ale může být i těžené) kamenivo z hornin, které mají pevnost a odolnost proti opotřebení, nebylo zasažené zvětrávacím procesem, je nenamrzavé a odolné proti povětrnostním vlivům.

Vhodným typem jsou magmatické horniny, například čedič, žula, diorit, znělec nebo andezit.

Nevhodné horniny jsou sedimentární a metamorfované horniny, které mají nevhodné chemické složení, snadněji zvětrávají, mají břidličnatý nebo kulovitý rozpad. Nevhodné jsou například rula, svor, vápenec nebo dolomit. Kamenivo do kolejového lože nesmí být vyráběno smícháním materiálů různého geologického původu.

Recyklované kamenivo

Recyklované kamenivo je vytěžené kamenivo z kolejového lože, které je upraveno recyklačním zařízením. Některé strojní čističky jsou vybaveny recyklačním zařízením, takže během údržby trati proběhne strojní čištění včetně obnovení ostrohrannosti zrn a zajištění potřebné frakce. Takové kamenivo lze znovu použít do plného profilu KL při rychlostech do 90 km/h včetně (při rychlostech nad 90 do 160 km/h včetně lze použít ve spodní vrstvě KL, a to nejvýše 50 mm pod úroveň ložné plochy pražců).

K recyklaci je vhodné kamenivo, které má maximálně 7 % obsahu vápencových a dolomitových zrn, maximálně 1 % cizorodých částic, maximálně 7 % vysokopecní strusky a maximální míru znečištění 55 % hmotnosti. Recyklaci je vhodné provádět, pokud není překročena vlhkost kameniva 7 %.

Za recyklované se nepovažuje kamenivo upravené v koleji strojními čističkami bez mechanické úpravy vlastností kameniva.

Umělé kamenivo

Umělé kamenivo je vyráběné drcením a tříděním vysokopecní strusky.

Geotechnické vlastnosti kameniva

Kamenivo do kolejového lože je nesoudržný zrnitý ostrohranný materiál, který je na základě úhlu vnitřního tření schopen přenášet svislá tlaková zatížení. Tahová zatížení kolejové lože nepřenáší a přenášení vodorovných zatížení je výrazně nižší. Kamenivo musí být propustné, kvůli odvodu vody z profilu KL a zabránění namrzání, čímž je zabráněno změně tvaru a stability KL.

Velikost napětí na ložné ploše závisí na tvaru kolejnice, typu upevnění, typu pražce, rozdělení pražců, na tuhosti KV spodku a tuhosti KL samotného. Namáhání KL je nerovnoměrné a vzhledem k nepravidelnému podepření pražců je i namáhání PTŽS nerovnoměrné. Ložná plocha pražců v KL musí být provedena tak, aby jedoucí vozidla vyvolala pouze pružné deformace.

Kolejové lože je pružné, ale má omezenou možnost tlumení vibrací, a tudíž jsou vibrace ve velké míře přenášeny do železničního spodku. Antivibrační rohož snižuje přenos nežádoucích vibrací dále do podloží, snižuje dynamické síly od pojíždění a snižuje náklady na údržbu KL. Zabraňuje vzniku strukturálního hluku vznikajícího kmitáním tuhého podloží tunelu. Bez použití antivibrační rohože může v tunelu docházet k drcení kameniva na povrchu desky tunelu a s antivibrační rohoží je tedy prodloužena životnost kolejového lože. Umístění AVR v tunelu je zobrazeno na obr. č. 3. [11, 21]

Lze použít antivibrační rohože s tloušťkou 10 – 50 mm. Pokud je AVR uložena přímo pod KL, pak se tloušťka KL musí zvýšit o ochrannou vrstvu 50 mm, aby nedošlo k jejímu poškození po provedení strojní úpravy KL. [11]

Rohože mohou být vyrobeny z přírodního syntetického kaučuku pomocí vulkanizace, polymerace, anebo jiné chemické reakce, z pryžového recyklátu z vyřazených pneumatik, pneumatik stmelených pojivem, anebo z kompozitního materiálu, přičemž je jeden ze dvou kompozitů elastomer pro redukci vibrací. Povrch AVR může být hladký, rýhovaný nebo s výstupky [11].

obr. č. 3: Antivibrační rohož pod KL v tunelu [21]

2.1.2 Profil kolejového lože

Kolejové lože má lichoběžníkový tvar se sklonem bočních šikmých ploch 1:1,25, který vychází z úhlu smykového tření kameniva fr. 31,5/63.

Tloušťka KL je měřena mezi PTŽS a ložnou plochou příčného pražce v místě pod kolejnicovým pásem, jehož svislá vzdálenost od PTŽS je menší, což je dáno převýšením v koleji a sklonem pláně tělesa železničního spodku. Tloušťka KL je závislá na kategorii trati a typu použitého pražce a odpovídá tab. č. 3. Pokud tloušťka KL v koleji s betonovými pražci nemůže být v odůvodněných případech výjimečně dodržena, použije se zpružněné upevnění E 14 nebo jiné vhodné stavebně-technické opatření. I při zajištění odpovídajících technických opatření musí být u betonových i dřevěných pražců zachována minimální tloušťka KL 200 mm. Toto řešení musí být odsouhlaseno pověřeným zástupcem správce v rámci projednání dokumentace stavby. Tloušťka KL při změně typu pražců se upraví pomocí plynulého výběhu v délce 5 m pod pražci s menší předepsanou tloušťkou. Výběh se neprovádí pod výhybkou, lepeným izolovaným stykem, anebo přejezdem. Tloušťka KL v tunelu je stanovená, tak jako na mostních objektech [32].

tab. č. 3: Tloušťka KL vzhledem ke kategorii trati a typu použitého pražce [10, 32]

	betonové pražce	dřevěné pražce
celostátní dráhy a regionální dráhy v traťových a staničních hlavních a předjízdných kolejích	350 mm	300 mm
celostátní dráhy a regionální dráhy v ostatních staničních kolejích	300 mm	250 mm
vlečky	250 mm	200 mm

	ocelové pražce	ocelové pražce Y
celostátní dráhy, regionální dráhy a vlečky v koleji	350 mm	300 mm

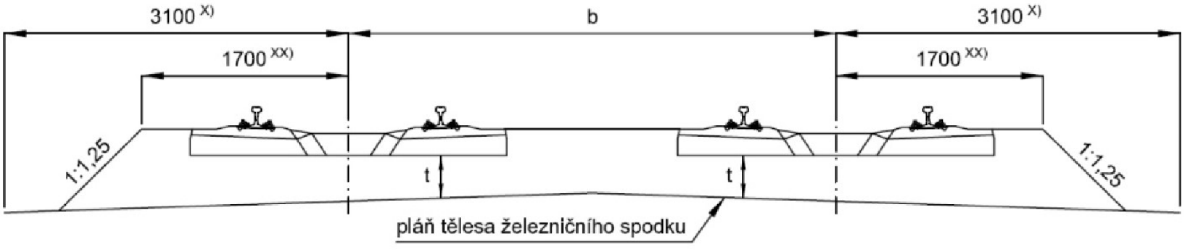
v koleji na mostních objektech a v tunelech s průběžným KL [32]	330 mm	330 mm

Výška kolejového lože je definována jako svislá vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem KL. Výška KL je dána převýšením koleje a sklonem pláně tělesa železničního spodku. Maximální hodnota výšky KL je 900 mm a je zobrazena na obr. č. 4.

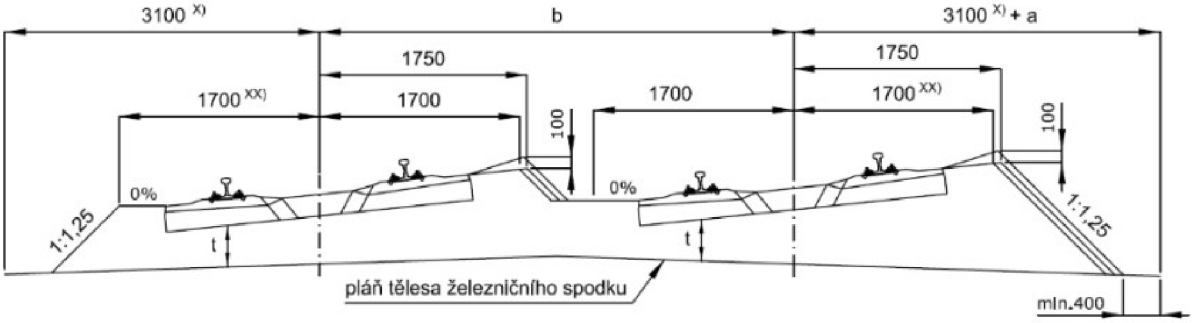
obr. č. 4: Maximální projektovaná výška kolejového lože [10]

Šířka KL je 1700 mm od osy koleje, přičemž kamenivo za hlavami pražců zvyšuje příčnou stabilitu kolejového roštu. Šířka spodní plochy kolejového lože je pak dána úhlem bočním šikmých ploch a tloušťkou KL pod pražcem.

U bezstykové koleje je v obloucích vyšší pravděpodobnost vybočení BK, proto se za hlavami pražců rozšiřuje o 50 mm a navyšuje o 100 mm v závislosti na poloměru oblouku. Převýšení BK je podrobně řešeno v předpise SŽDC S3/2 [38]. Tvar KL je pro dvoukolejnou trať zobrazen na obr. č. 6 a obr. č. 5.

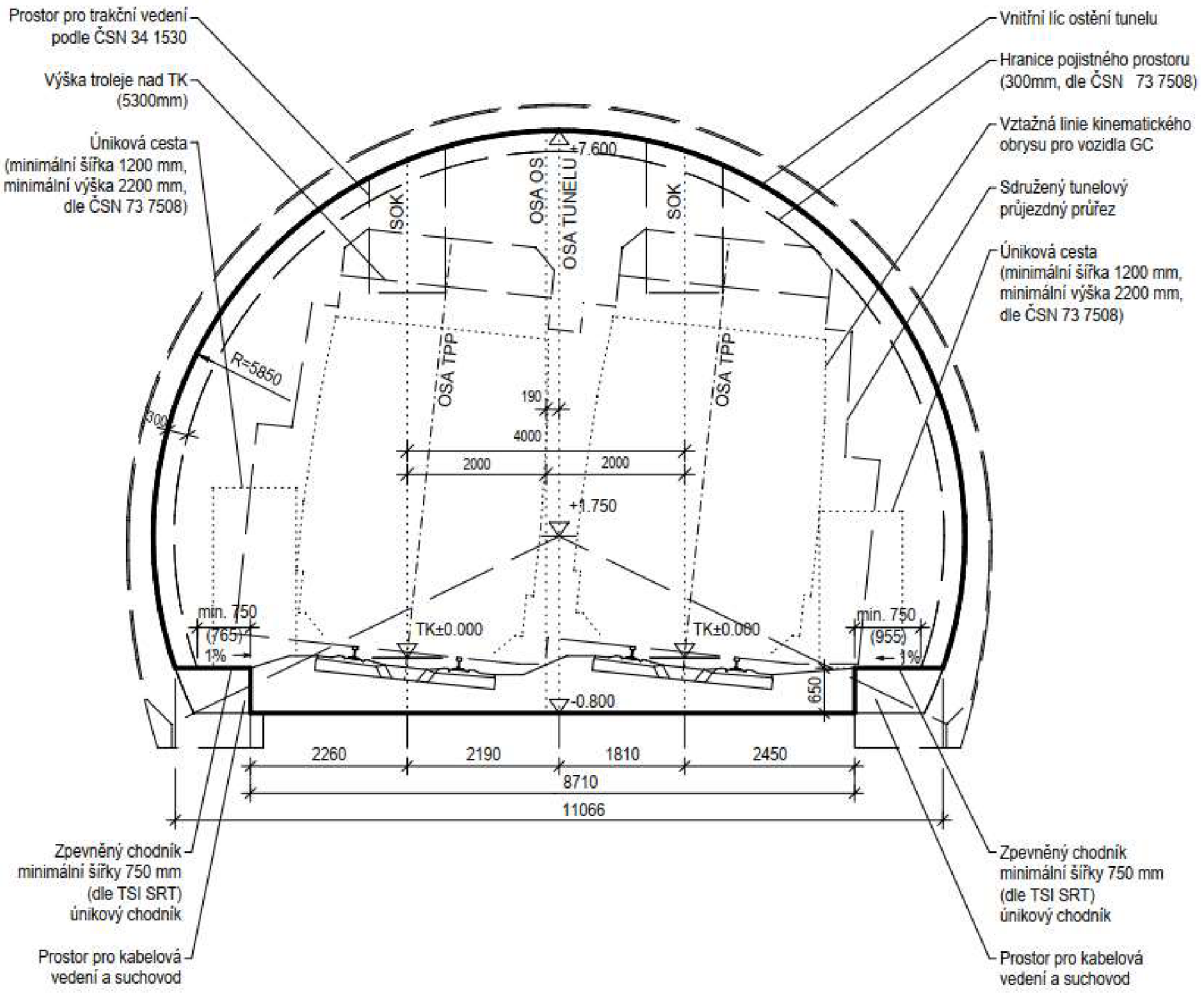


obr. č. 6: Dvoukolejná trať bez převýšení [10]

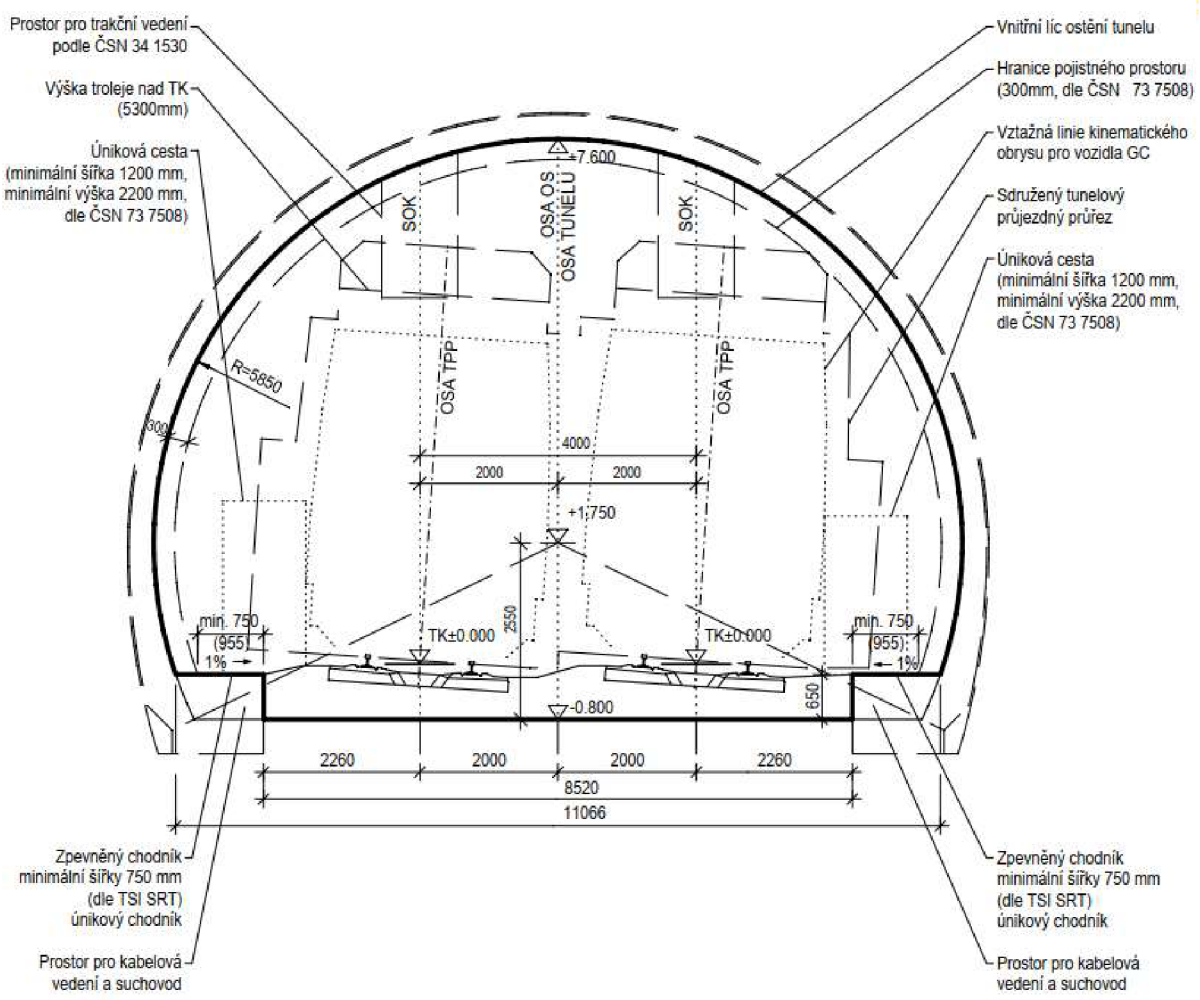


obr. č. 5: Dvoukolejná trať s převýšením s bezstykovou kolejí [10]

Úprava kolejového lože v tunelu je uvedena ve vzorovém listu „Světlý tunelový průřez“ [14]. Vzorový tvar KL v tunelu je zobrazen na obr. č. 7 a obr. č. 8 a platí pro elektrizovaný dvoukolejný tunel s jednou tunelovou troubou, s výškou trakčního nástavce 6,0 m v přímé nebo ve směrovém oblouku větším než 250 m a s rychlostí do 160 km/h. Vzorový list odpovídá sestavě železničního svršku do výšky 755 mm (soustava UIC 60 s bezpodkladnicovým pružným upevněním na betonových pražcích a tloušťkou kolejového lože 350 mm pod ložnou plochou pražce).



obr. č. 7: Tvar KL bez odsazení osy tunelu od osy os pro D=0 - 100 mm [14]



obr. č. 8: Tvar KL s odsazením osy tunelu od osy os pro D=101 - 160 mm [14]

V úsecích s kolejovými obvody zabezpečovacího zařízení nebo na elektrifikovaných tratích musí KL zajišťovat vzájemnou elektrickou izolaci kolejnicových pásů pro oddělení kolejových obvodů. Provádí se snížením KL pod patou kolejnice min. 30 mm , max 70 mm a v šířce 400 mm.

Ukolejnění a jiná vedení a zařízení se nesmí umisťovat do profilu KL. Je-li nezbytně nutné umístit je v oblasti kolejového roštu, uchytí se na kolejnicové podpory, popřípadě se uloží na patu kolejnice (do spojkové komory, aby nebránilo podbíjení KL). V lepším případě se ukolejnění a jiná vedení ukládají do kabelových žlabů, které jsou umístěny ve stezce nebo v kabelových žlabech tunelů.

2.2 Moderní konstrukce

Pevná jízdní dráha je konstrukce koleje, která nahrazuje funkci kolejového lože a pražců železobetonovou deskou. Základní funkcí, jako u kolejového lože, je přenášení statických a dynamických zatížení dále do spodních vrstev konstrukce. [7]

Požadavky na konstrukci železniční tratě jsou dány kvalitou zřízení, zatížením, údržbou a prostředím. Kvalita zřízení je podmíněna kvalitou stavebních prací, materiálům a požadavkům na tuhost konstrukce. Zatížení je dáno nápravovými hmotnostmi, rychlostmi vlaků a dynamickým zatížením. Údržba konstrukce je prováděna opravami a výměnou poškozených dílů. Prostředí je buď venkovní, v tunelu, se zvýšená vlhkostí nebo ovlivnění organickými a anorganickými hmotami. [3]

Použití PJD je vyloučeno na poddolovaném území, v území s dlouhodobými pohyby podloží (nestabilní podloží) a na mostech, kde nelze PJD technicky zřídit (např. otevřená prvková mostovka). [12]

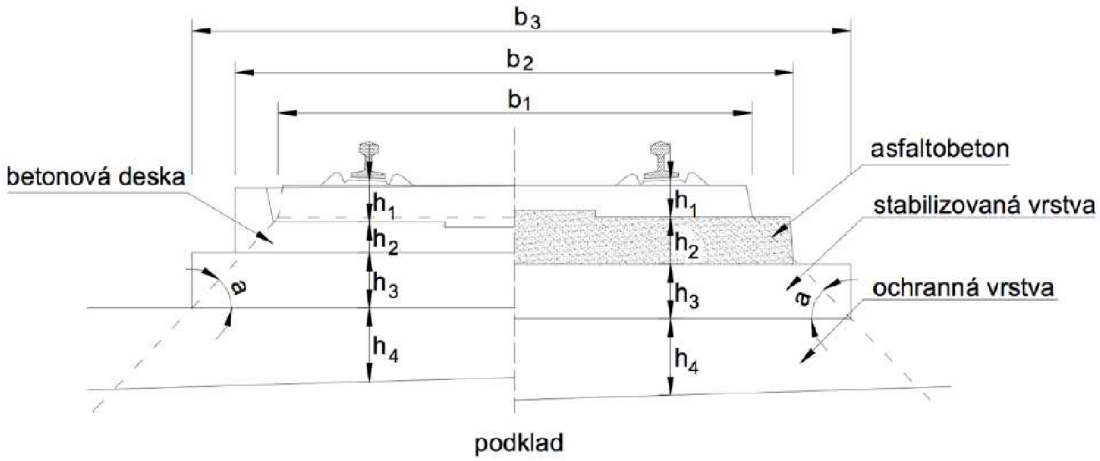
Použití PJD může být omezeno v území s vysokou hladinou podzemní vody (tj. je-li trvale výše než 1,5 m pod TK), v sesuvném území, v území tvořeného mocnými organickými vrstvami (rašelina, bahnité náplavy atd.), v území tvořeného prosedavými zeminami, v území s vyskytujícími se tektonickými poruchami, v inundačním území (při povodni nebo záplavě nesmí dojít k ohrožení stability svahu, podemletí zemního tělesa atd.) nebo pokud výsledek posouzení nákladů na zřízení a údržbu PJD po celou dobu životnosti není výhodný a nebo pokud nelze realizovat opatření pro dodržení limitních hodnot zátěže životního prostředí nebo by tato opatření vyvolávala enormní náklady. [12]

Návrh PJD musí zahrnovat odůvodnění jejího použití, návod na opravy a údržbu dané konstrukce pro konkrétní místní podmínky, popis opatření proti bludným proudům. Statický výpočet PJD musí být ve vztahu k zatížení běžným železničním provozem, speciálními vozidly a případné účinky vyvolané činností složek IZS, musí být zahrnut např. od pojíždění kolovými vozidly, vliv od zatížení opěrami mobilních jeřábů, vyprošťovací techniky apod. Geotechnický výpočet musí obsahovat zejména výpočet přechodové oblasti, kde hrozí rozdílné sedání konstrukce. Je třeba také posoudit hlučnost konstrukce a případně navrhnout příslušná technická opatření pro zmírnění šíření nežádoucího hluku. Dále je třeba zhodnotit vibrace způsobované konstrukcí a opatření zamezující šíření těchto vibrací dále do okolních konstrukcí. Dále je třeba vypracovat technologický postup provádění, a to konkrétně pro zřizování konstrukce ŽSp PJD, zřizování roznášecí vrstvy, zřizování nosné desky PJD, montáž systému upevnění, zřizování BK a stanovení kontrolních měření pro nevratné technologické úkony, při nichž dochází k fixaci prostorové polohy koleje. [12]

Dle zkušeností z jiných států, kde se PJD více využívá, se PJD jeví vhodná pro použití v tunelech delších než 300 m, pokud jsou vhodné geologické podmínky. Jako účelné se jeví i dodatečné vestavění PJD do stávajících tunelů při rekonstrukci/modernizaci. U novostaveb tunelů se při použití PJD oproti KL snižuje velikost výrubu. [1, 2]

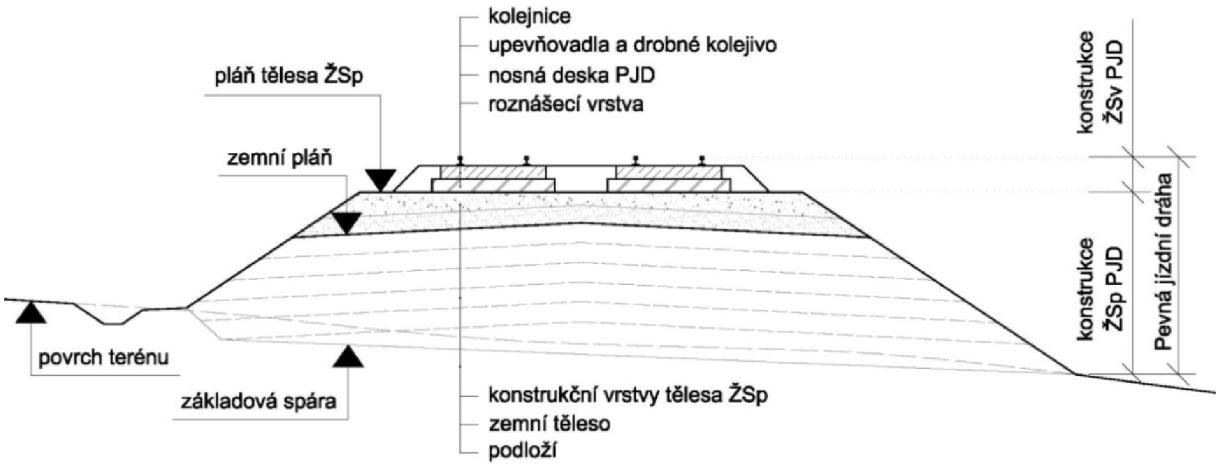
Jako PJD je může být definována taková konstrukce, která má délku větší jak 150 m.

U přenosu zatížení bylo zjištěno, že se úhel roznosu zatížení pohybuje kolem 45°, následně je pak šířka PJD v úrovni pražců uvažována 2,2 m. Každá další vrstva směrem dolů je pak širší než vrstva předchozí (obr. č. 9). [1, 2, 3, 12]



obr. č. 9: Šířka konstrukce PJD [2]

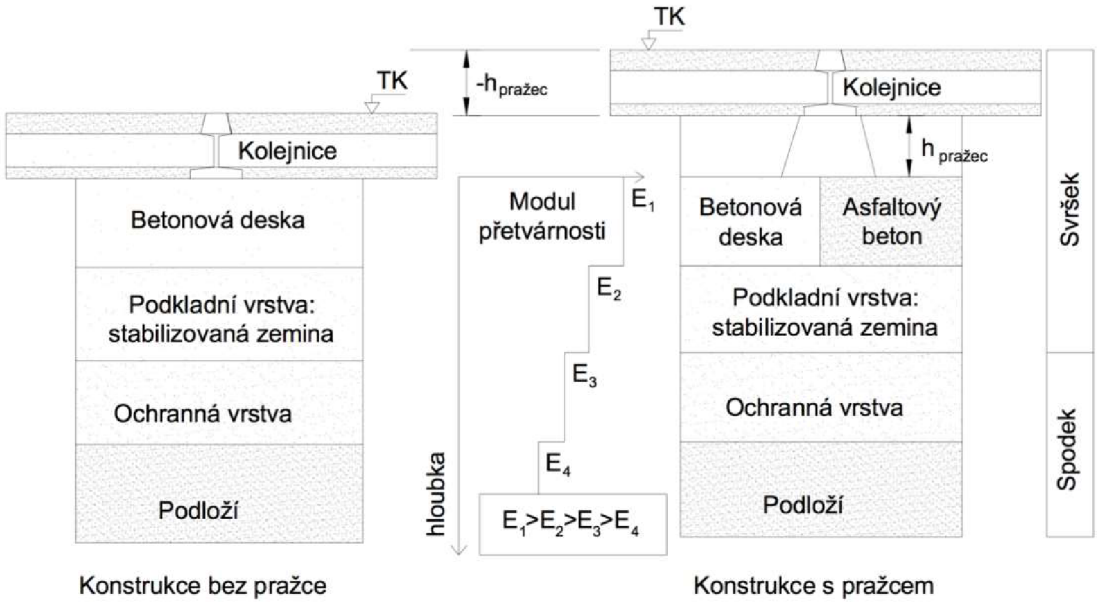
Pevná jízdní dráha se skládá z kolejnic, upevňovadel a drobného kolejiva, případně pražců, nosné desky PJD, která vznikne zmonolitněním jednotlivých nosných komponentů, jako jsou pražce, výztuže, bloky, prefabrikované desky, anebo desky betonované na místě, a roznášecí vrstvy, která je vybudována pod nosnou vrstvou a je zpravidla zhotovena ze směsi stmelené hydraulickým pojivem HGT. Hlavní části PJD jsou zobrazeny na obr. č. 10. [12]



obr. č. 10: Hlavní části pevné jízdní dráhy [12]

2.2.1 Nosná deska PJD

Z konstrukčního hlediska se nosné desky PJD dělí na několik kategorií: prefabrikované betonové desky, monolitické betonové desky se zabetonovaným kolejovým roštem, monolitické betonové desky a kolejový rošt uložený na asfaltové vrstvě. Tato práce se zabývá dvěma typy PJD, a to prefabrikovanou betonovou desku typu ÖBB-PORR a monolitickou betonovou deskou se zabetonovaným kolejovým roštem Rheda 2000. Použitý typ konstrukce také ovlivňuje celkovou výšku železničního svršku, což je zobrazeno na obr. č. 11. [2, 3, 12]



obr. č. 11: Konstrukce pevné jízdní dráhy bez pražců a s pražci (na zemním tělese) [2]

2.2.2 Roznášecí vrstva

Roznášecí vrstva se zřizuje při PJD na zemním tělese na upravené odvodněné PTŽS PJD o předepsané únosnosti podle tab. č. 1tab. č. 4.

tab. č. 4: Minimální požadovaná únosnost a míra zhutnění [12]

Rychlost [km/h]	Základová spára a technologické vrstvy zemního tělesa		Zemní pláň		Konstrukční vrstvy / pláň tělesa ŽSp	
	Modul přetvárnosti E [MPa]	Zhutnění I_D / PS [- / %]	Modul přetvárnosti E [MPa]	Zhutnění I_D / PS [- / %]	Modul přetvárnosti E [MPa]	Zhutnění I_D / PS [- / %]
V ≤ 160	40	0,95 / 100	60	1,00 / 100	70 / 80	0,90
160 < V ≤ 200	60	0,98 / 100	80	1,00 / 100	90 / 100	0,95
V > 200	80	1,00 / 100	100	1,00 / 100	110 / 120	1,00

Poznámka: Parametry pro základovou spáru v případě zvláštního zakládání stanoví projektová dokumentace.

Roznášecí vrstva se zpravidla zřizuje ze směsi stmelené hydraulickými pojivy (HGT) o specifických vlastnostech předepsaných garantem daného typu konstrukce ŽSv PJD.

Při dimenzování konstrukce ŽSv PJD v tunelu lze přistoupit k redukci roznášecí vrstvy, pokud je prokázáno, že odpovídající zatížení přenese dno tunelu. Zároveň je nutné respektovat požadavky technické specifikace interoperability pro bezpečnost v tunelech a ČSN 73 7508.

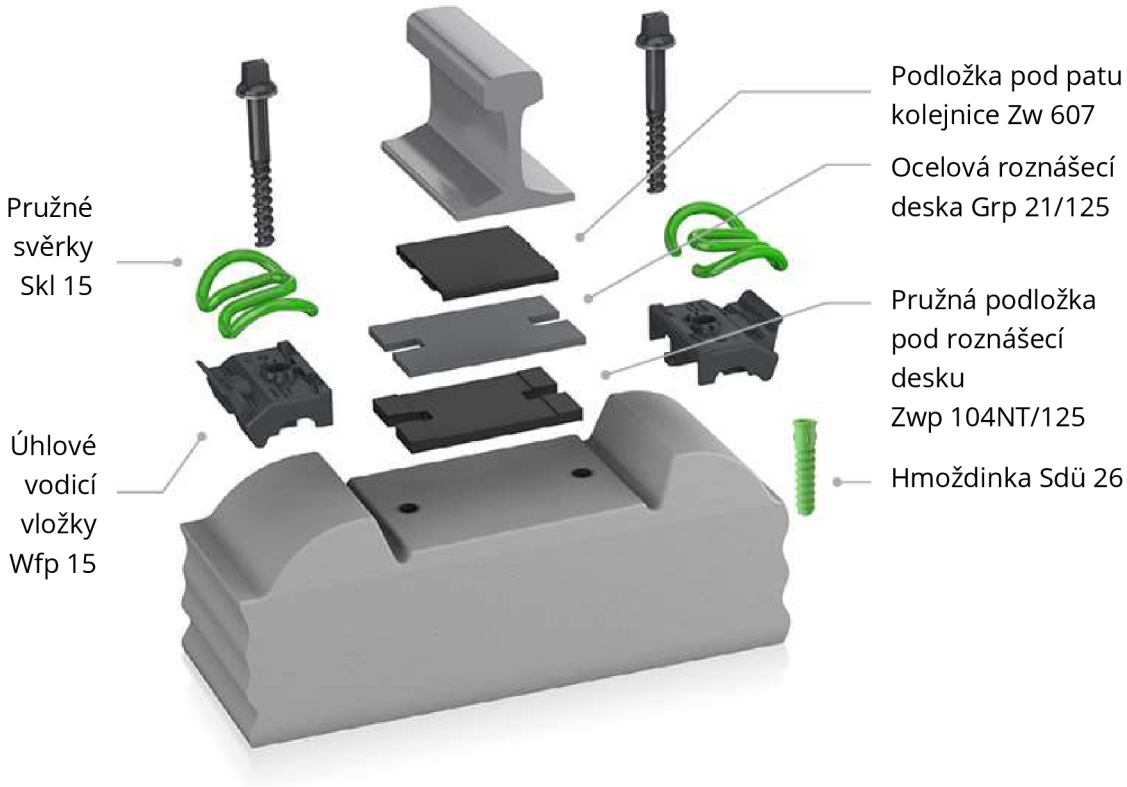
2.2.3 Pružnost, systém upevnění PJD

Kolejové lože je samo o sobě pružné a dokáže tlumit vibrace, což je nutné zajistit i u PJD. Pružnost se zde zajistí konstrukčními prvky. Konstrukce celé PJD se skládá z jednotlivých vrstev, jejichž modul přetvárnosti E se s konstrukční výškou směrem vzhůru zvyšuje (obr. č. 11). [2, 3]

Pružnost uložení kolejnice na tuhou betonovou desku se zajišťuje pomocí zpružněného uzlu upevnění Vossloh 300. Upevnění Vossloh 300 se skládá ze speciální podkladnice Ulp 300-1/125 s vysoce pružným elementem v soustavě podložek pod patou kolejnice a pružných svěrek Skl 15 se zvýšenou svislou pružností. Všechny součásti upevnění Vossloh 300 jsou podrobně rozepsány v tabulce 14a v předpise SŽ S3/7. Všechny součásti systému upevnění lze montovat na pražec i prefabrikovanou desku již během výroby.

Pružnost je navrhována tak, aby byl umožněn kontrolovatelný svislý pohyb kolejnice pod zatížením, a to zpravidla 1,5 mm, což přibližně odpovídá uložení kolejového roštu ve štěrkovém KL.

Systém upevnění musí umožňovat dodatečnou úpravu výškové polohy v rozsahu min. – 2 mm, + 40 mm a v příčném směru (rozchod koleje) min. ± 5 mm (při zachování dovolených odchylek dle ČSN 73 6360-2 [35]). Konkrétně u upevnění Vossloh 300, lze prostorovou polohu upravit až o – 4 až + 76 mm ve svislém směru a ± 16 mm v příčném směru (obr. č. 12). U PJD zřízené v tunelu s protiklenbou je možno definovaný rozsah úpravy výškové koleje zmenšit na 0 až + 15 mm (při zachování dovolených odchylek dle ČSN 73 6360-2[35]). Úprava výšky se provádí vkládáním podložek o různé tloušťce pod pružnou podložku. Úhlové vodicí vložky Wfp 15 umožňují úpravu rozchodu 16 mm až – 16 mm v krocích po 1 mm. Doporučený utahovací moment pro upevnění W 14 je 180 – 220 Nm, nejvýše 220 Nm. [2, 8, 12, 18, 30]



obr. č. 12: Upevnění Vossloh 300 [8, 18]

Systém odpružené hmoty (Mass Spring System – MSS) zamezuje přenosu vibrací (technické seismicity) dále do podloží. Tento systém se umisťuje mezi tuhými betonovými prvky, jako tomu je právě mezi nosnou deskou PJD a tunelem. Jedná se o typ antivibrační rohože, která je přilepena přímo k povrchu konstrukce tunelu, přičemž je tento povrch hladký, bez nerovností a zbavený nečistot. Hmotnost a tuhost dráhy musí být přizpůsobena tuhosti pružiny elastomerového prvku, aby se zajistilo oddělení mezi kolejí a okolím. Tento systém se dělí na lehký, středně těžký nebo těžký model. [21]

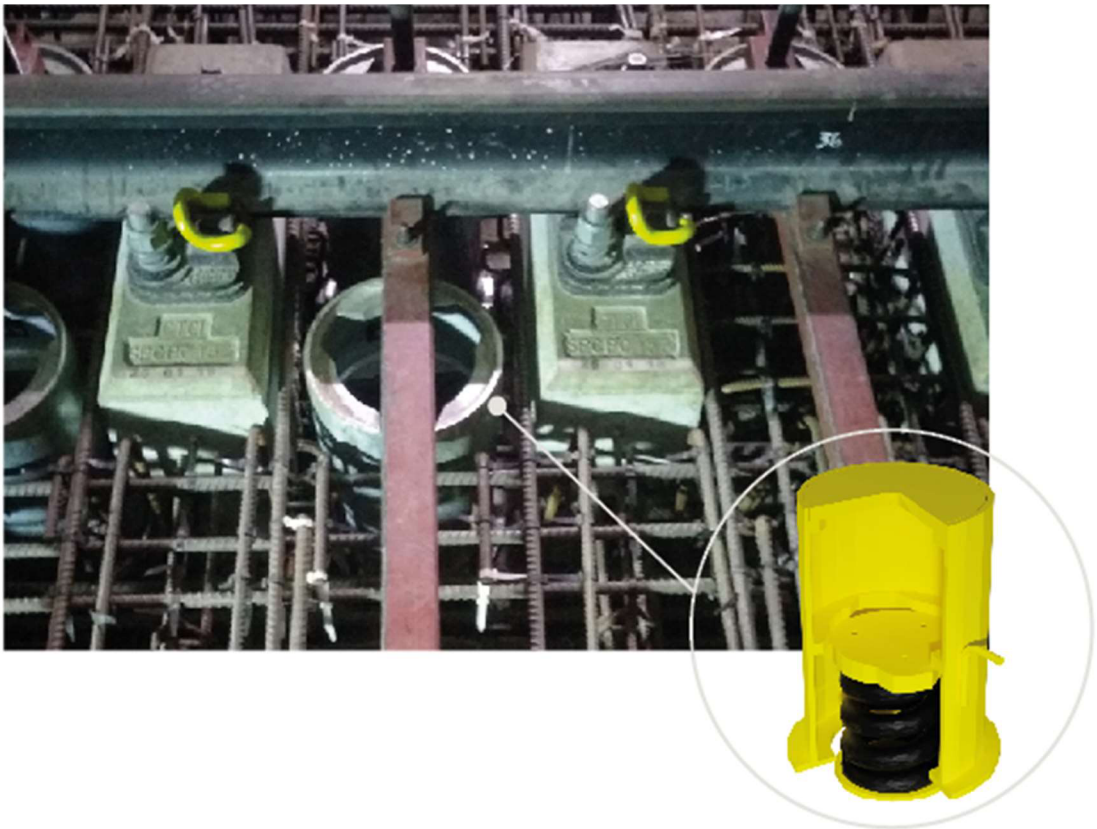
Lehký systém zahrnuje podložky mohou být celoplošné, pásové a bodové (obr. č. 13, obr. č. 14 a obr. č. 15). Podélné a bodové jsou umístěny pod kolejnicemi. MSS snižuje otřesy, snižuje hluk přenášený konstrukcí a sekundární hluk přenášený vzduchem, zvyšuje komfort cestování, chrání konstrukce citlivé na vibrace a má dlouhou životnost. [11, 21]

obr. č. 13: Celoplošné antivibrační podložky [21]

obr. č. 14: Pásové antivibrační podložky [21]

obr. č. 15: Bodové antivibrační podložky [21]

U těžkých systémů se používají ocelové pružiny (obr. č. 16), tzv. plovoucí jízdní dráha (FST – Floating Slab Track). Tento systém umožňuje zvýšené tlumení vibrací. Po použití takového systému je maximální vlastní frekvence maximálně 6,5 Hz a hlukový útlum je minimálně o 20 dB. Návrhová životnost těchto pružin je minimálně 40 let. [33]



obr. č. 16: Plovoucí jízdní dráha [33]

2.2.4 Přechodová oblast

Mezi dvěma zcela odlišnými konstrukcemi z hlediska sedání a tuhosti, je potřeba zřídit přechodovou oblast, která zajistí plynulý přechod svislé tuhosti kolejové dráhy. Přechodovou oblast se dělíme na:

- přechodovou oblast svršku (přechod PJD na kolej s KL nebo mezi jednotlivými typy PJD)
- přechodová oblast spodku (přechodová oblast tunelu, přechod PJD na kolej s KL)

Přechodová oblast svršku i spodku nesmí probíhat ve stejném místě.

V přechodové oblasti nesmí dojít k umístění dilatačního zařízení, umístění lepeného izolovaného styku či svaru prováděného na místě, kombinaci více zpružňujících elementů v jednom řezu, zřízení příčného přechodu inženýrských a datových sítí nebo prvků zajišťující obsluhu drážního zařízení atd.

Zároveň je třeba zřídit přechodový úsek uzlu upevnění, kdy je na PJD zpružněné upevnění Vossloh 300 a v KL je upevnění s menší pružností. Přechod pružnosti uzlu upevnění se zřizuje postupnou změnou tuhostí pružných podložek. Řešení přechodového úseku upevnění podléhá schválení SŽ OTH. [8]

Přechodová oblast PJD na kolej s KL

Při přechodu PJD na kolej s KL se buduje přechodová oblast svršku i spodku.

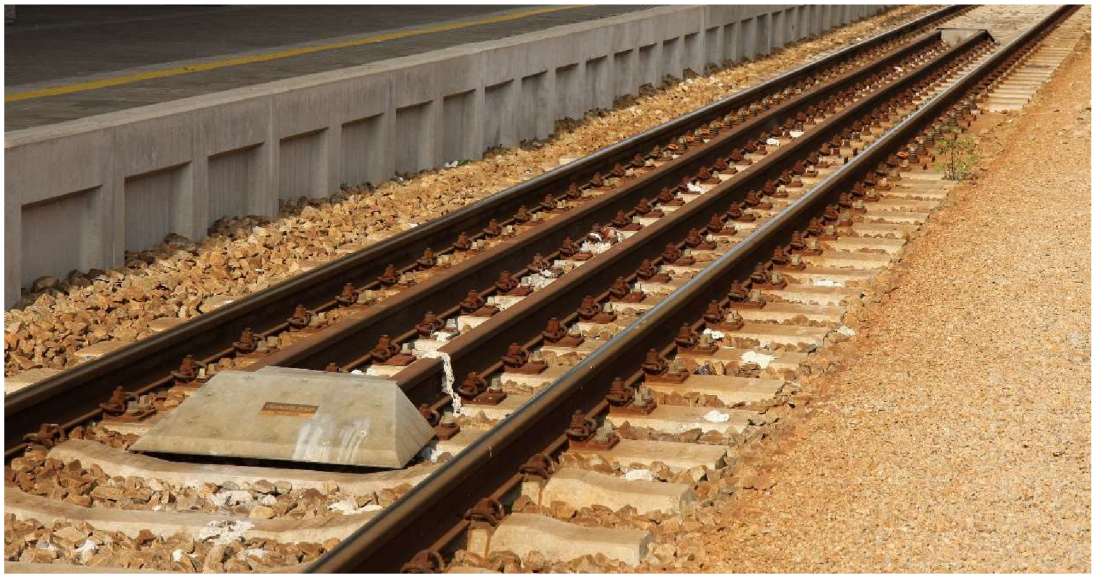
Ve spodku se zřizuje konstrukční opatření ke zvýšení únosnosti PTŽS za účelem omezení rozdílné deformace zemního tělesa. Takové opatření je podrobně řešeno v projektové dokumentaci. [12]

Přechodovou oblast svršku není vhodné zřizovat v oblouku. V případě nutnosti umístění přechodové oblasti ŽSv v kružnicovém oblouku platí ustanovení ČSN 73 6360-1 [3], a to že při zřízení přechodové oblasti v kružnicovém oblouku musí být v takovém místě omezena maximální hodnota nedostatku převýšení na I_{max} = 130 mm (pro V ≤ 200) [31]. Přechodová oblast železničního svršku se nesmí zřizovat v přechodnici a vzestupnici. Umístění přechodové oblasti ŽSv v zaoblení lomu sklonu nivelety koleje podléhá schválení SŽ OTH. [12]

Konstrukční řešení musí zaručit vertikální a horizontální stabilitu koleje a stálost GPK. [12]

Minimální délka přechodové oblasti ŽSv je definována časovým úsekem 0,5 sekundy jízdy maximální projektovanou rychlostí (tj. $L_{min} = 0{,}5V_{max}/ 3{,}6$). [12]

Využívá se i tzv. ztužujících kolejnic, které jsou uvnitř koleje připevněny na kolejnicové podpory pomocí upevnění KS (žebrová podkladnice a svěrka Skl 24). Čela ztužujících kolejnic musí být upravena ve sklonu 1:3 (výška k délce). Je také možné zřídit betonový klín dle obr. č. 17. [8, 9, 12, 20]



obr. č. 17: Úprava konce ztužujících kolejnic [20]

Z důvodu použití ztužujících kolejnic, kdy se nachází v koleji současně 4 kolejnice, je třeba využít pražce a přechodové desky, na které je možné zvýšený počet kolejnic připevnit.

Přechodová oblast svršku probíhá postupným přechodovým klínem stabilizovaného štěrku kolejového lože (technologie lepení štěrku, tzv. chemická stabilizace štěrku). Štěrk se pryskyřicí slepí na hranách a kontaktních plochách, čímž se stabilizuje kolejové lože, ochrání se lože před rozvolněním, zůstane zachována mřížkovitá struktura KL, dojde ke zlepšení vertikálního a horizontálního rozložení zatížení, propustnost lože je ovlivněna pouze minimálně, zvýší se příčný i podélný odpor pražce. Míra stabilizování se po délce směrem k PJD zvyšuje, a tím pomalu narůstá celková tuhost svršku. [3]

Existují dvě metody lepení štěrku, a to povrchová nebo strukturní. Povrchové lepení zamezuje uvolňování materiálu z povrchu a tloušťka lepené vrstvy je v řádu několika centimetrů. Strukturní lepení lze vytvořit až do hloubky 60 cm. [3]

Pozvolný přechod tuhosti se dá zajistit i pozvolnou výměnou podložek rozdílných tuhostí v uzlu upevnění.

Přechodová oblast ŽSv musí kotvit konec nosné desky a eliminovat tak její podélný pohyb. Zakotvení lze zajistit zřízením závěrné zídky, speciálním kotevním systémem apod.

Konstrukční řešení musí zohlednit zachycení vyšších dynamických rázů, které by mohly vznikat v přechodové oblast svršku vlivem změn tuhosti jízdní dráhy. [12]

Návrh pozvolného přechodu svislé tuhosti jízdní dráhy při přechodu PJD na kolej s KL musí být doložen grafem znázorňujícím změny svislé tuhosti po celé délce přechodové oblasti. [12]

Přechodová oblast tunelu

Přechodová oblast tunelů je řešena, pokud její potřeba vyplyne z výsledků geotechnického průzkumu a z konstrukce tunelu. V případě, že je potřeba přechodovou oblast tunelu řešit, navrhuje se zesílená konstrukce pražcového podloží (dále také „ZKPP“) pomocí přechodového klínu, který zajistí plynulý přechod tuhosti. Na konci ZKPP, kdy ZKPP přechází na KV se provede úprava úrovně zemní pláně ve sklonu 1:1. Minimální tloušťka ZKPP je 1,2 m. Pro budování přechodové oblasti spodku se používá např. mezerovitý beton štěrkodrť stabilizovaná cementem, minerální směs, mechanicky zpevněné kamenivo nebo směs stmelená hydraulickým pojivem. Požadovaná únosnost jednotlivých technologických vrstev přechodové oblasti ŽSp je uvedena v tab. č. 5. Podrobněji je přechodová oblast železničního spodku řešena v příloze 24 předpisu S4. [11, 12]

Délka přechodové oblasti železničního spodku se navrhuje minimálně v_{max}/3,60 m a výsledná hodnota je zaokrouhlena nahoru na celých 5 m.

tab. č. 5: Minimální hodnoty modulů přetvárnosti v přechodových oblastech ŽSp [11]

Rychlost [km/h]	Modul přetvárnosti [MPa]		
	na technologické vrstvě přechodového klínu	na zemní pláni	na plání tělesa železničního spodku
V ≤ 160	50	70	90
160 < V ≤ 200	70	90	110
V > 200	90	110	130

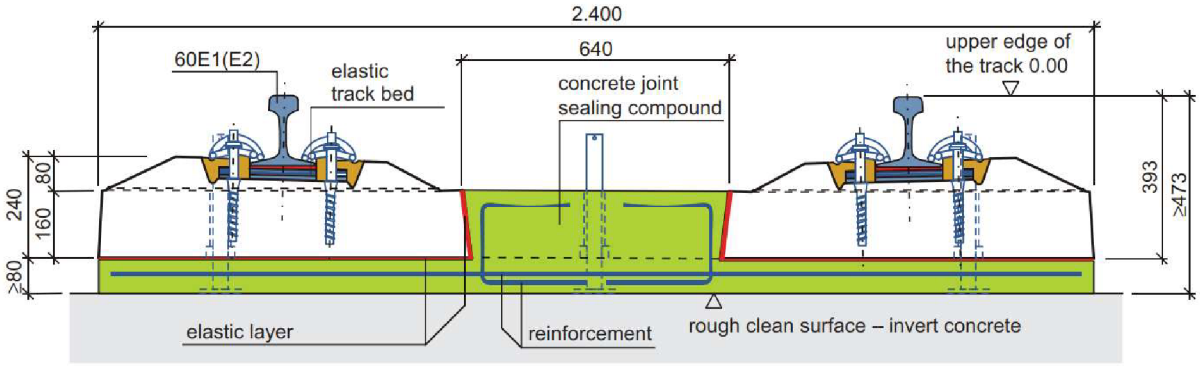
2.2.5 ÖBB-PORR

Z konstrukčního hlediska se tato konstrukce řadí mezi prefabrikované desky. Konstrukce také bývá nazývána jako STA (Slab Track Austria).

Kolejové desky jsou vyrobeny z vyztuženého (nepředpjatého) železobetonu třídy C 30/37 – XC3, XF3, XA1L, GK 16, F 52. Každá prefabrikovaná deska je, jako betonové pražce, označena místem a datem výroby pro přesnou identifikaci. Hmotnost samotné betonové desky je 4953 kg (zaokrouhleně 5 t, s upevněním Vossloh 300-1 bez elastické vrstvy je hmotnost desky 5,14 t). Deska má 8 párů integrovaných kolejových podpor pro upevnění typu Vossloh 300 v osové vzdálenosti 650 mm. [24, 34]

V desce jsou 2 kónické obdélníkové otvory, které se směrem vzhůru rozšiřují. Rozměr otvorů je ve spodní části 870 x 600 mm a v rozšířené horní části 920 x 640 mm. Do těchto otvorů je vložena výztuž, která po zalití samozhutnitelným betonem tvoří uzamčenou tvarovou vazbu, která drží desku ve správné poloze po celou dobu životnosti konstrukce. Všechny rozměry desky jsou zobrazeny na obr. č. 18 a obr. č. 19. [17, 24]

Výška celé konstrukce je měřena od horní plochy roznášecí vrstvy po TK. Prefabrikovaná deska je uložena na tenké vrstvě podkladního samozhutnitelného betonu s minimální tloušťkou 80 mm (obr. č. 18), a pak je celková minimální výška konstrukce 473 mm. Pokud se použije modifikovaný beton bez výztuže, je možné minimální tloušťku vrstvy podkladního betonu snížit na 40 mm, a pak je celková minimální výška konstrukce 433 mm. Snížená vrstva vytvořená modifikovaným betonem zajistí nezbytnou flexibilitu, například pro snížení výšky konstrukce PJD, kvůli zajištění průjezdného průřezu v již existujících tunelech. Samozhutnitelný beton je pro tloušťku> 80 mm využit C25/30, XC3, XF3, XA1L, GK8, T 73 (scc) nebo C25/30, XC3, XF3, XA1L, GK16, T 73 (scc); pro tloušťku> 40 mm je využit C 55/67, XC3, XF3, XA1L, GK4, T 73 (scc). Výška celé konstrukce vždy záleží na tloušťce podkladního betonu. [24]

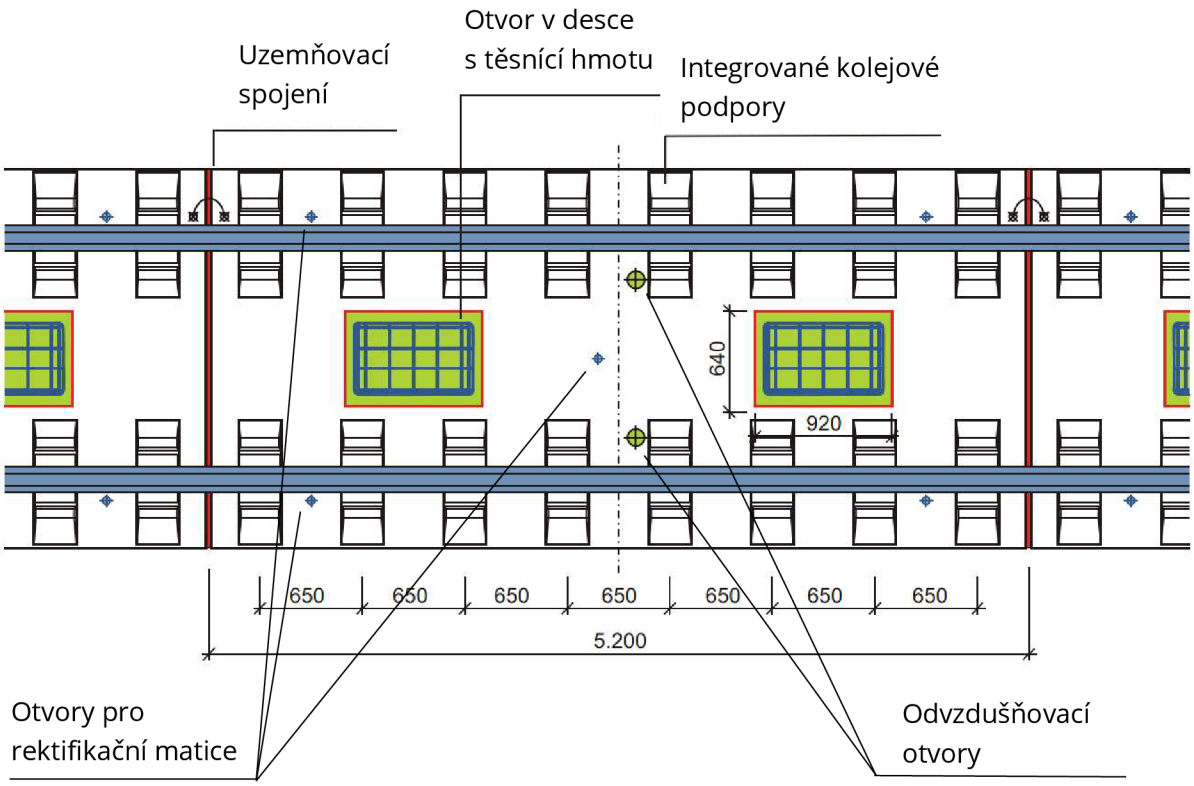


obr. č. 18: Příčný řez konstrukcí ÖBB PORR [24]

Samozhutnitelný beton umožňuje homogenní podepření po celé ploše desky a umožňuje tak i snadné uložení desky do správné výškové a směrové polohy. Během výstavby je třeba dbát na to, aby se beton rozlil rovnoměrně a nevznikaly dutiny. [24, 34]

Součástí jsou také otvory pro rektifikační matice (modře vyznačené body na obr. č. 19) a odvzdušňovací otvory (zeleně vyznačené body na obr. č. 19). Rektifikačních otvorů je celkem 5. [34]

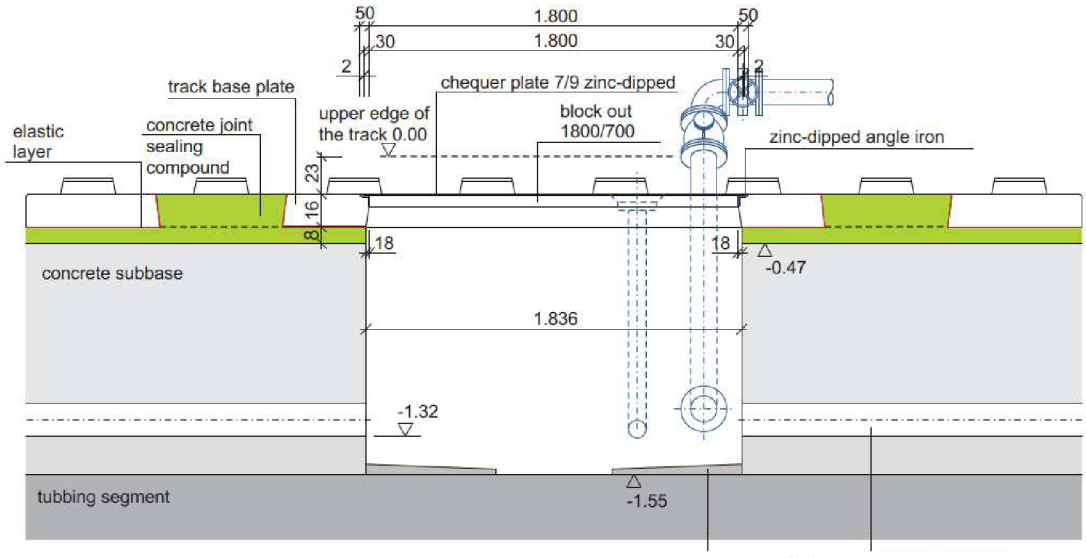
Mezi jednotlivými deskami v podélném směru jsou spáry široké 40 mm, kompenzující účinky smršťování, dotvarování a dilatování od teplotních změn. Tyto spáry mohou sloužit jako povrchové odvodnění, nebo drážka pro příčně ložené kabely. [24]



obr. č. 19: Půdorys základní kolejové desky ÖBB-PORR [24]

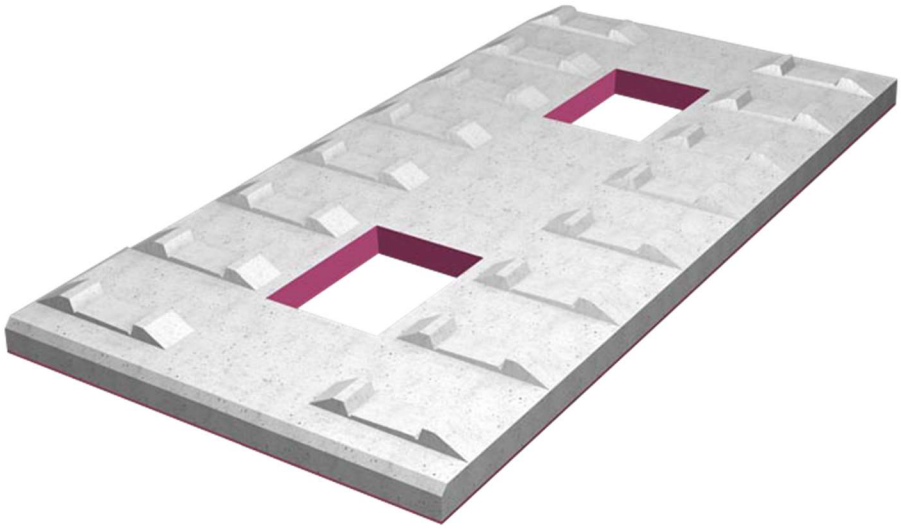
Desky jsou vyráběny buď v základním tvaru pro přímou kolej (R > 3697 m), nebo je možnost vyrobit desky pro kolej v kružnicovém oblouku pro poloměry od R = 200 až 3697 m. [24]

Na rozdíl od konstrukce, která je tvořena pražci je možné u těchto velkých desek, vytvořit desku s otvorem pro prostup šachty (obr. č. 20). Prostupy pro šachty mohou být až 1,80 x 0,80 velké (což bylo využito v tunelu severo-jižního spojení v Berlíně). [24]

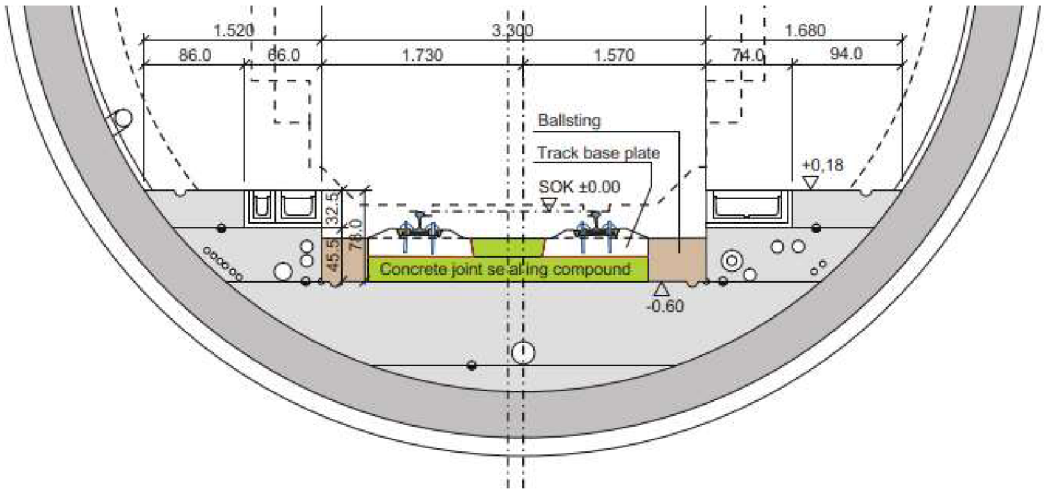


obr. č. 20: Otvor pro šachtu v nosné desce [24]

Spodní plocha desky i stěny kónických otvorů jsou pro zajištění autonomnosti desky pokryty dělící elastickou vrstvou (obr. č. 21, červeně zobrazená na obr. č. 22) sloužící pro tlumení vibrací přenášených dále do podloží. Výsledkem je pak konstrukce s dvojí pružností (pružný uzel upevnění a pružná vrstva na desce), která potlačuje přenos vibrací do okolí a také snižuje přenos strukturálního hluku. Elastická vrstva na desce zajišťuje cca 10 % celkové pružnosti konstrukce. Zbývající pružnost konstrukce se odehrává v uzlu upevnění (a díky MSS). Konstrukce má hmotnost 1 t na běžný metr, a proto se řadí mezi lehké systémy hmotné pružiny (MSS). [2, 24, 26]

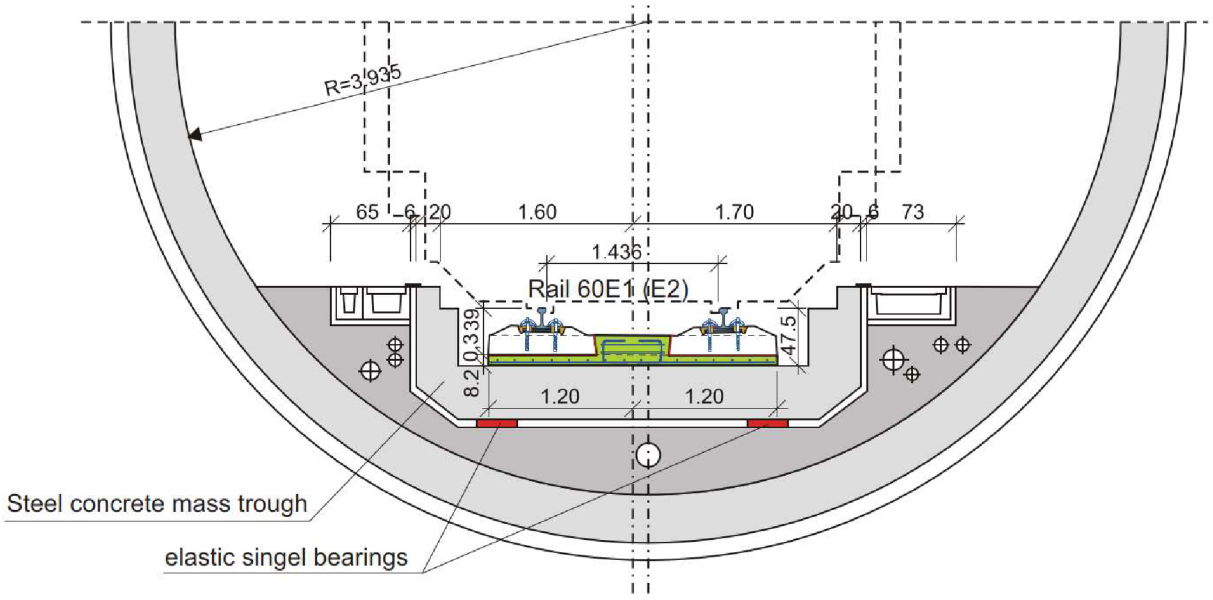


obr. č. 21: Základní kolejová deska ÖBB-PORR s elastickou vrstvou [26]



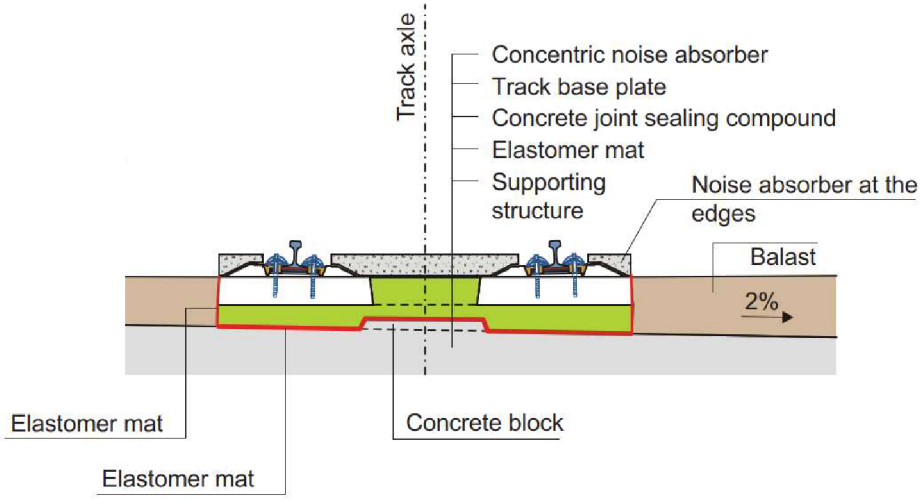
obr. č. 22: Jednokolejný tunel s nosnou deskou ÖBB-PORR [24]

Systém odpružené hmoty (MSS) u OBB-PORR může být realizován dvěma možnostmi. V případě vysokých nároků na hlučnost a množství vibrací přenášených do konstrukce tunelu je konstrukce PJD uložena v železobetonovém korytě, které je uloženo na elastických podložkách (obr. č. 23). Toto řešení má vyšší konstrukční výšku, ale je účinnější, co se týče vibrací konstrukcí a přenášení strukturálního hluku. [24]



obr. č. 23: Železobetonové koryto na elastických podložkách [24]

V případě menších nároků na hluk je nosná deska PJD přímo uložena na celoplošných elastických podložkách. Zároveň toto řešení má nižší konstrukční výšku. Je možnost provést blokové výstupky v libovolné části základové desky umožňující prostorově úsporné rozmístění bodových elastických podložek (obr. č. 24). Přes blokové výstupky je vhodné položit měkčí elastomer (žlutý elastomer na obr. č. 25), aby se zabránilo proražení. [24]



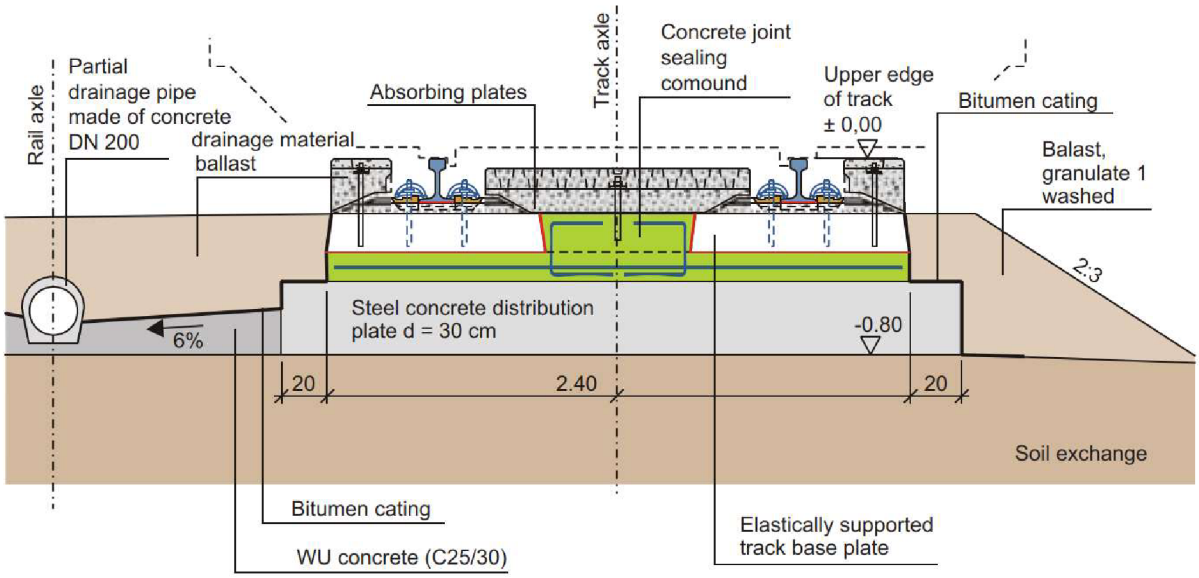
obr. č. 24: Blokové výstupky v podkladním betonu [24]

obr. č. 25: Elastomerové podložky [24]

U této konstrukce je požadováno únosné podloží, složené z více vrstev. Celá deska je pak uložená na pružném podloží po celé ploše. V tunelu je únosné dno tunelu.

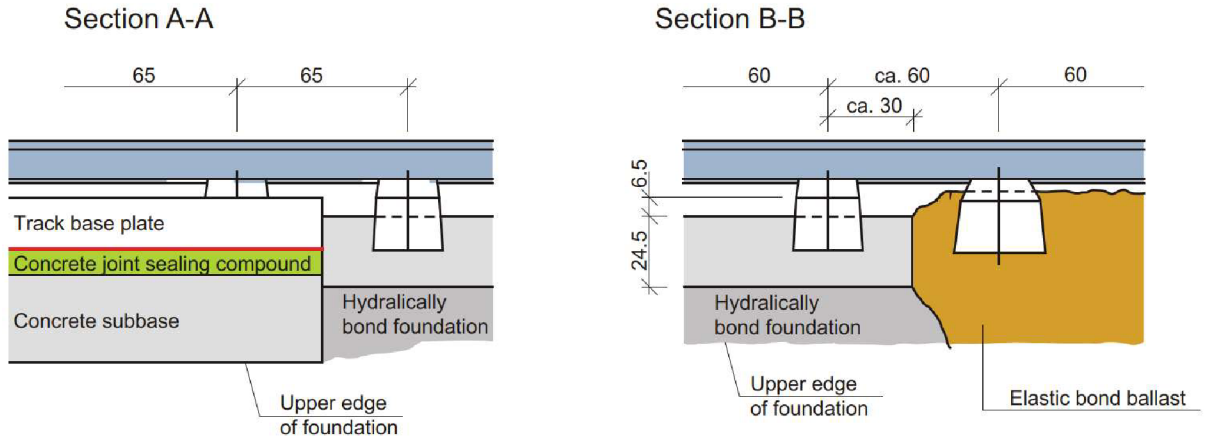
V tunelu je pro plošné odvodnění každých 50 m, resp. v portálových oblastech každých 25 m, se do betonové spárovací hmoty diagonálně vkládají položlaby. Zbývající prostory až po vrchní vrstvu betonu jsou obvykle vyplněny štěrkem nebo betonem (výplň je zobrazena na obr. č. 22 hnědou barvou).

V předportálové oblasti bude nosná deska PJD na zemním tělese a z boků v tunelu bude opatřena ochranným izolačním nátěrem a následně bude přihrnuta štěrkem (obr. č. 26).

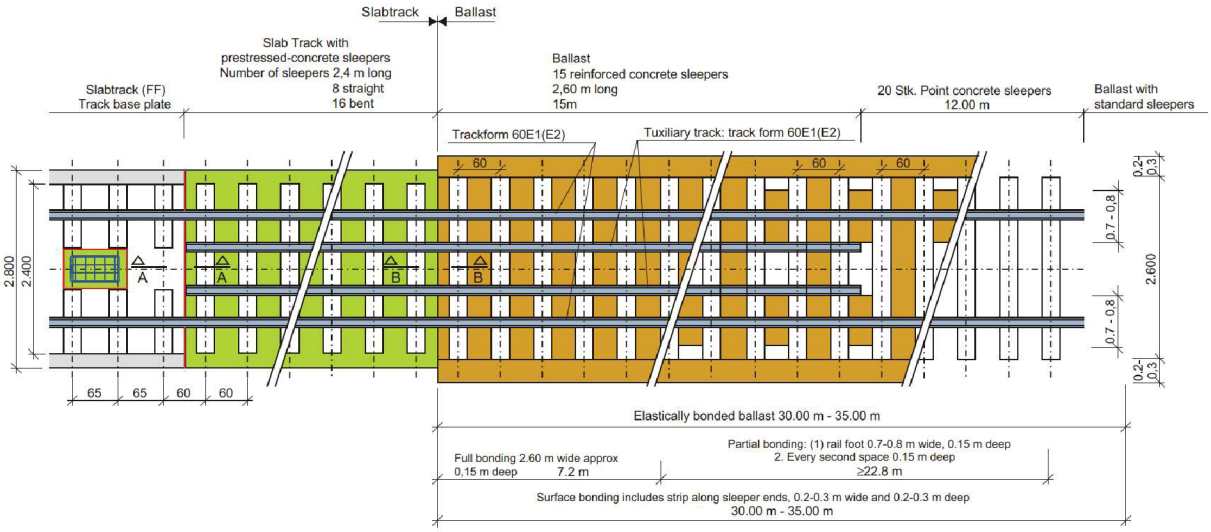


obr. č. 26: ÖBB-PORR na zemním tělese [24]

Přechodové prefabrikované desky jsou poloviční délky oproti základní desce a jsou vybaveny o místo pro upevnění ztužujících kolejnic (obr. č. 28 a obr. č. 29). Ztužující kolejnice jsou upevněny upevněním KS (žebrové podkladnice, pružné svěrky Skl 24). Přechodové předepnuté betonové pražce jsou robustnější a svým tvarem připomínají pražce výhybkové (obr. č. 29). Pro plynulý přechod je zajištěno štěrkové lože dvousložkovou pryskyřicí v proměnných objemech a hloubkách a dále v postupném přechodu pružnosti pružných podložek v upevnění kolejnic (obr. č. 27 a obr. č. 28). [2, 17, 21, 24, 27]



obr. č. 27: Přechodová oblast ÖBB-PORR [24]

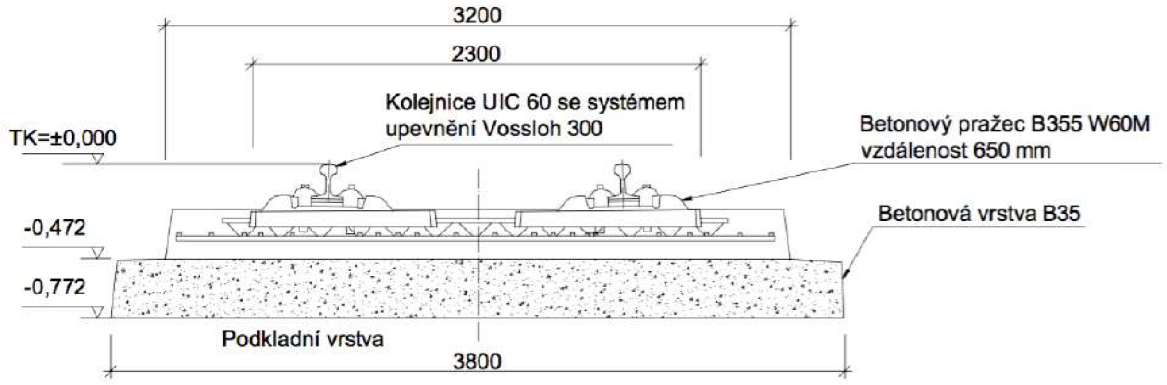


obr. č. 28: Přechodová oblast ÖBB-PORR [24]

obr. č. 29: Přechodová oblast ÖBB-PORR [20]

2.2.6 Rheda 2000

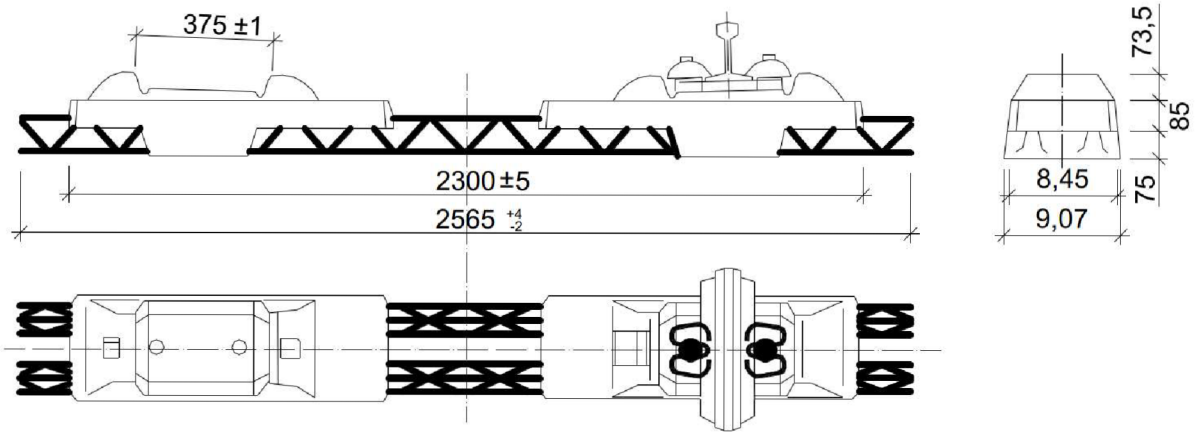
Z konstrukčního hlediska se tato konstrukce řadí mezi monolitické desky se zabetonovaným kolejovým roštem (obr. č. 30).



obr. č. 30: Konstrukce Rheda 2000 v přímé [2]

Kolejový rošt se skládá ze speciálních dvoublokových pražců B355 s rozdělením u = 650 mm, upevněním Vossloh 300 a kolejnic 60 E2. Dvoublokové pražce B355 jsou spojeny příhradovou výztuží (obr. č. 31, obr. č. 32), která v konstrukci přenáší zejména příčné síly. Pražec je dlouhý 2300 mm a včetně výztuže 2565 mm. Tento pražec má hmotnost 197 kg a je vyroben z betonu C 50/60 [25].

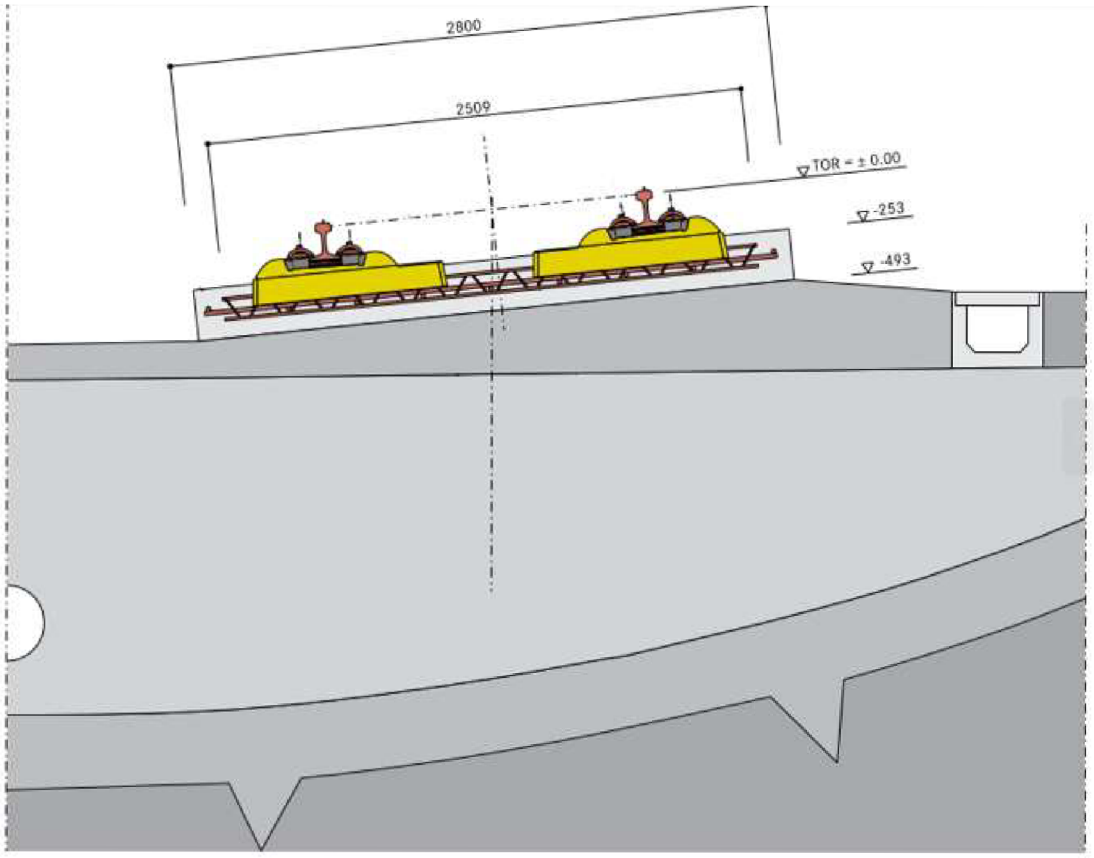
obr. č. 31: Pražec B355.1 [23]



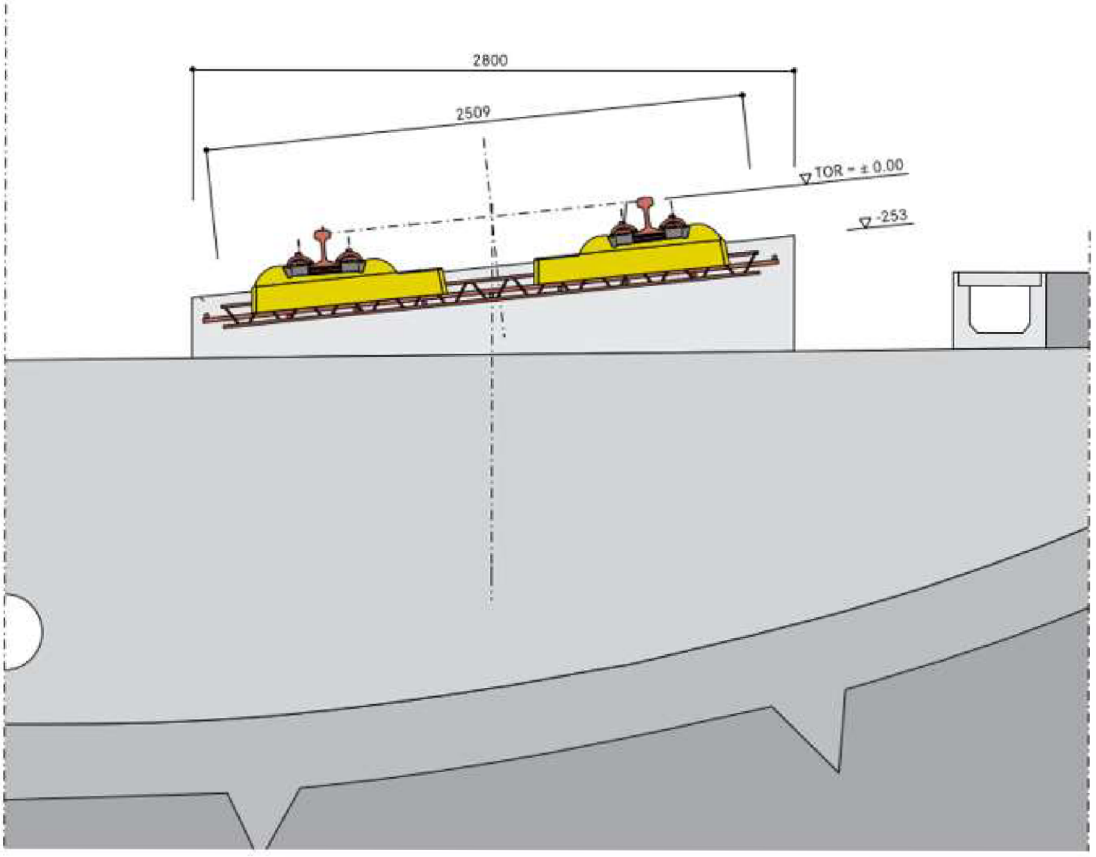
obr. č. 32: Rozměry pražce B355.1 [1]

Do konstrukce je následně vložena příčná a podélná výztuž, která se spolu s výztuží pražců spojí a po zabetonování dochází k dokonalému spojení pražců a výztuže. [1, 2, 5, 40]

Beton nosné desky PJD musí mít minimální pevnost 30/37. Pokud je Rheda 2000 v tunelu, lze ji realizovat dvěma způsoby. První způsob je vybetonování podkladní roznášecí vrstvy a následně vybetonování nosné desky PJD (obr. č. 33). Druhý způsob je vybetonování nosné desky včetně již převýšeného roštu (obr. č. 34). [28]

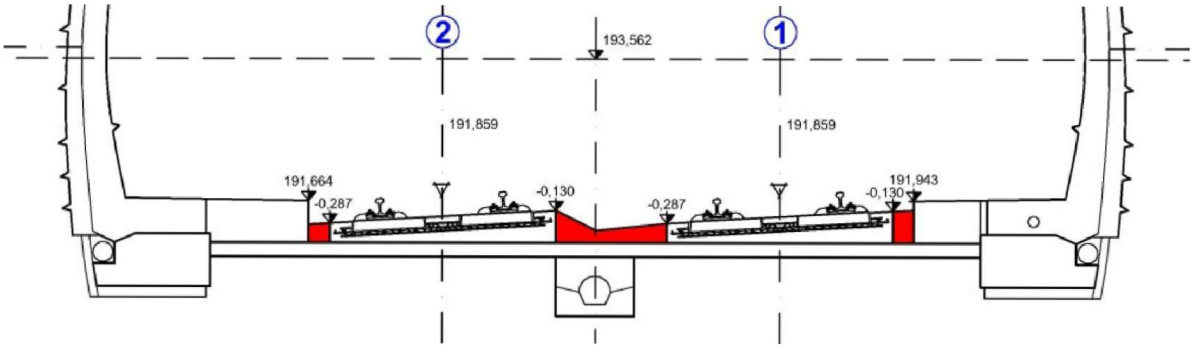


obr. č. 33: Rheda 2000 v převýšení s vyrovnávací vrstvou [28]



obr. č. 34: Rheda 2000 v převýšení bez vyrovnávací vrstvy [28]

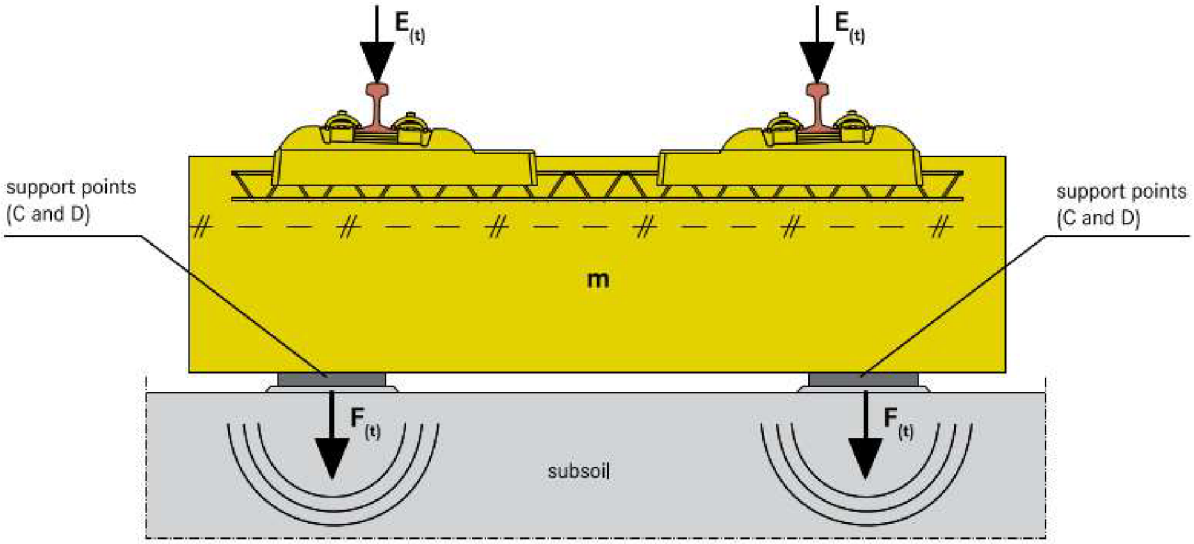
Na obr. č. 35 je červeně znázorněn výplňový beton mezi kolejemi a mezi kolejí a ostění tunelu. [29]



obr. č. 35: Výplňový beton mezi jednotlivými kolejemi [29]

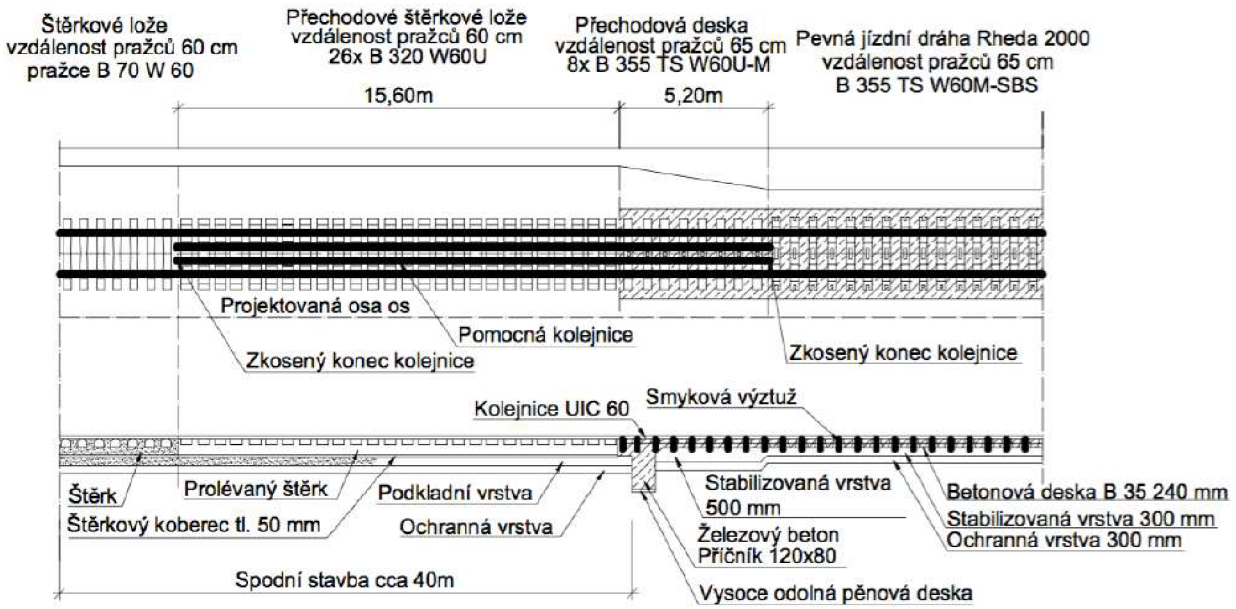
Prostřednictvím pryžové podložky pod patu kolejnice, plastové úhlové vodicí vložky a plastové hmoždinky je celý uzel upevnění elektricky izolován. [2]

Pružnost a vibrace jsou u této konstrukce řešeny pomocí MSS. Lze použít jak pásové, bodové (obr. č. 36) nebo celoplošné pružné rohože.



obr. č. 36: Bodové podepření konstrukce Rheda 2000 [28]

Přechodová oblast (obr. č. 37, obr. č. 38) je tvořena stabilizovaným štěrkem, který je pro pozvolnou změnu tuhosti proléván více směrem k PJD. Proti podélným posunům je konstrukce zakotvena pomocí železobetonového příčníku. Celá přechodová oblast je navíc ztužena tzv. ztužujícími kolejnicemi, které jsou v této oblasti připevněny na speciální přechodové pražce, které již nejsou dvoublokové, ale monoblokové, a to s místem pro upevnění KS (obr. č. 39). [1, 2, 5, 40]



obr. č. 37: Přechodová oblast konstrukce Rheda 2000 [20, 22]

obr. č. 38: Přechodová oblast mezi konstrukcí Rheda 2000 a klasickou konstrukcí [20, 22]

obr. č. 39: Přechodový pražec pro konstrukci Rheda 2000 [20]

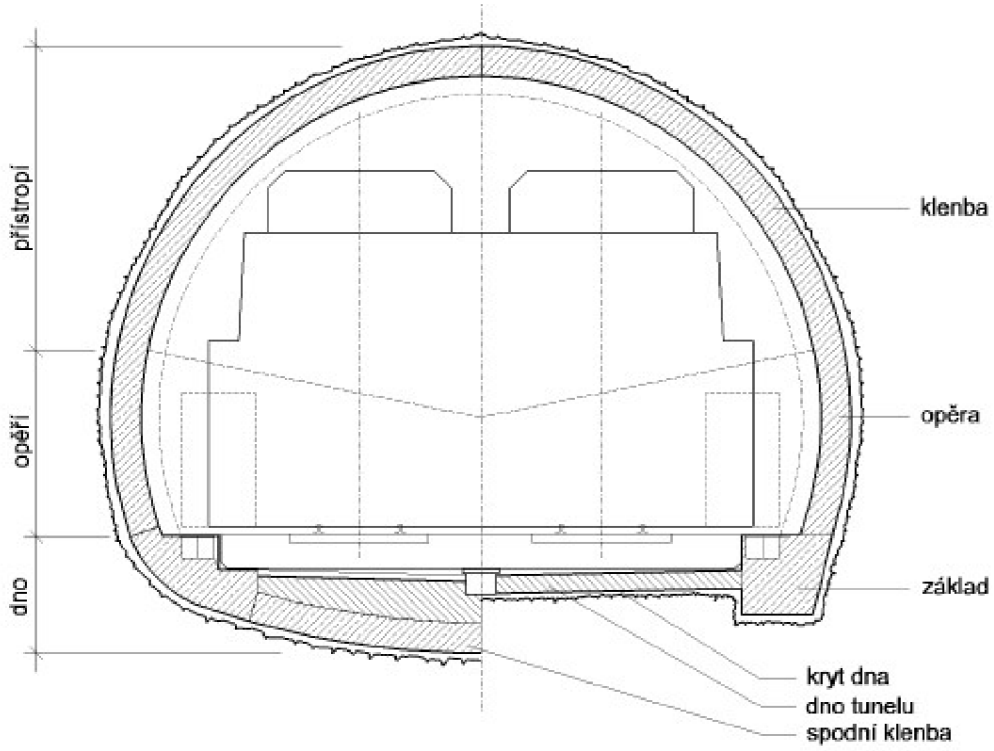
3 Železniční tunely

Železniční tunely jsou řazeny mezi stavby železničního spodku. Tunel se skládá z tunelové trouby, portálů, předzářezových zárubních zdí a z vybavení tunelu jako je systém odvodnění, kabelové vedení, osvětlení, únikové a záchranné prostory atd. Tunelová trouba je jednokolejná nebo dvoukolejná.

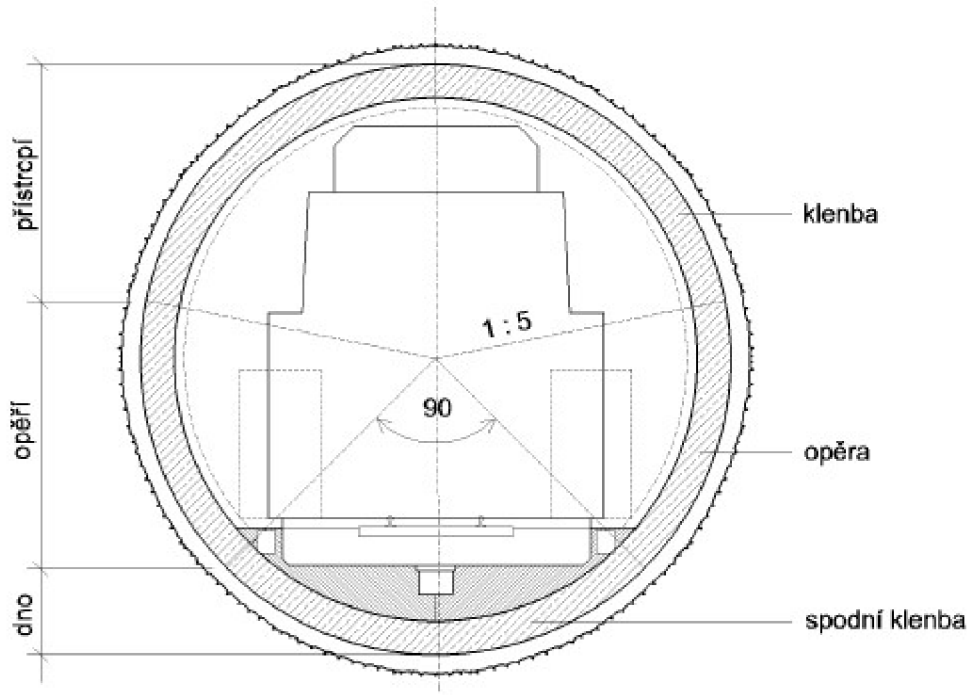
Návrh tunelu musí zabezpečovat dlouhodobou životnost (minimálně na 100 let), vyhovovat výhledovým směrovým a výškovým úpravám přilehlých traťových úseků a výhledovým požadavkům na prostorovou průchodnost. Použité materiály na stavbu musí vyhovovat kvalitativním požadavkům a podmínkám požární odolnosti. Konstrukce tunelu musí být chráněna proti účinkům povrchových a podzemních vod, korozním účinkům vnějšího a vnitřního prostředí, účinkům bludných proudů a povětrnostním vlivům. Tunel je třeba navrhnout tak, aby nepříznivé účinky stavby i provozu co nejméně ovlivňovaly životní prostředí a případnou zástavbu dotčeného území. V místě portálů musí být zamezeno pádu cizích předmětů na železniční trať a u elektrifikovaných tratí je navíc třeba zajistit ochranné zařízení proti dotyku s živými částmi trakčního vedení.

Výchozími podklady pro stavbu tunelu je požadovaná prostorová průchodnost stanovená průjezdným průřezem, výsledky inženýrskogeotechnického a hydrogeologického průzkumu, které určí požadavky na vodotěsnost konstrukce a odvodnění tunelu, geodetické podklady, směrové a výškové vedení trasy trati, požadavky na vnitřní vybavení tunelu a zvážení rizik a požadavků na ochranu okolních staveb v dotčeném území. Dále je určena požárně bezpečnostní opatření, ekologické požadavky a výsledky posouzení vlivu na životní prostředí.

Základní části tunelového výrubu jsou vyobrazeny na obr. č. 40 a obr. č. 41.



obr. č. 40: Podkovovitý průřez a názvy částí výrubu a ostění [45]



obr. č. 41: Kruhový průřez a názvy částí výrubu a ostění [45]

3.1 Vnitřní vybavení železničních tunelů

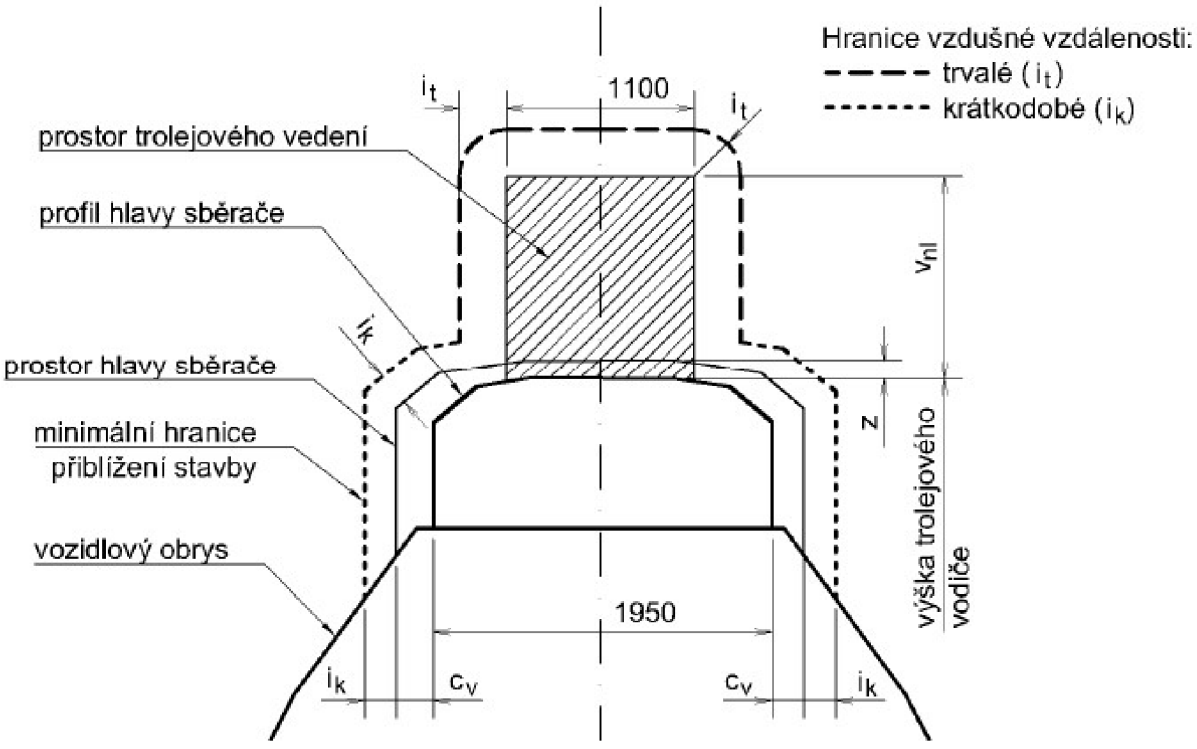
Trolejové vedení

U novostaveb se výška trolejového drátu navrhuje ve výšce 5300 mm nad TK. Velikost izolační vzdálenosti od vodičů nebo nosných konstrukcí závěsů TV je určena trakční proudovou soustavou podle ČSN 34 1530 [47] (tab. č. 6). Graficky jsou vzdálenosti od TV znázorněny na obr. č. 42 a obr. č. 43. [45, 47]

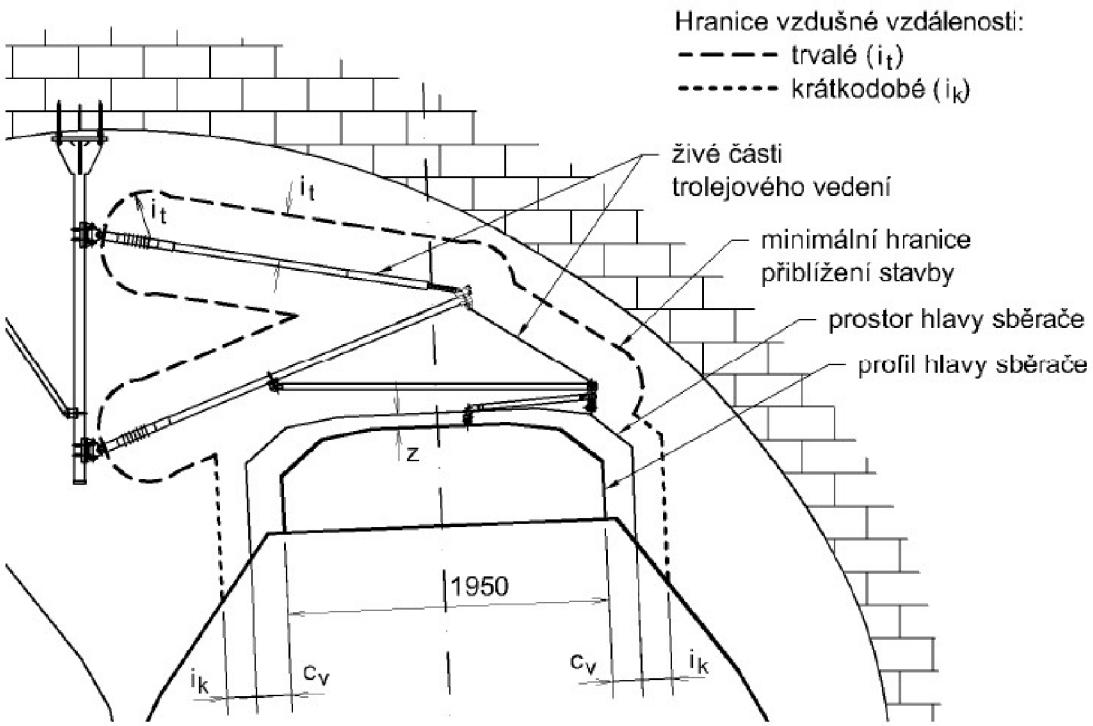
tab. č. 6: Vzdušné vzdálenosti od TV [47]

Bod	Vzdálenost [mm]	Trakční soustava		Vzdušná vzdálenost
		DC 1,5 kV a 3 kV	AC 25 kV, 50 Hz	
1	Části trakčního vedení od konstrukcí staveb uzemněných nebo spojených se zemí	ČSN EN 50119 ed.2	ČSN EN 50119 ed.2	ČSN EN 50119 ed.2
2	Vodorovná vzdálenost trolejových vodičů v elektrickém výměnném poli	400	400	trvalá
3	Vodiče trolejového vedení v témže elektrickém úseku, nejsou-li v místě přiblížení propojeny	100 40	100 40	trvalá krátkodobá*)
4	Živé části trakčního vedení od neschůdných míst	520	680	minimální

*) Krátkodobá vzdušná vzdálenost musí být dodržena při pohybu trolejového vedení při průjezdu sběračů proudu za všech provozních a klimatických okolností



obr. č. 42: Minimální hranice přiblížení stavby k TV [47]



obr. č. 43: Vzdušné vzdálenosti od TV v tunelu běžného profilu [47]

Ochrana proti nebezpečnému dotyku se živými částmi TV se zřizuje podle ČSN 73 6223, anebo se zajistí nepřístupnost portálů tunelu, například oplocením. [45]

Elektrické instalace

Sdělovací, zabezpečovací a kabelové vedení je vedeno v kabelových chráničkách a jejich uložení musí odpovídat normě ČSN 33 2000-5-52 a ČSN 73 6005. Vedení jsou umístěna v kabelových kanálech podél tunelových opěr a zároveň překrytí kanálů tvoří pochozí plochu služebního chodníku. Po délce tunelu se pak nachází kabelové šachty umožňující přístup ke sdělovacím, zabezpečovacím a kabelovým vedením. Nebo jsou kabely vedeny po ostění tunelu. Na žádost stavebníka může být v tunelu umístěn i zásuvkový rozvod. [45]

Osvětlení tunelu je z důvodu bezpečnosti trvalé. Ovládání osvětlení je umístěno v samostatných uzamykatelných skříní u obou portálů tunelu, aby bylo možno osvětlení zapínat i vypínat z obou stran. Nouzové osvětlení při únikových cestách a záchranných chodbách musí svítit minimálně 45 minut a musí být zabezpečeno ze dvou na sobě nezávislých energetických zdrojů. [45, 49]

Větrání tunelu se u kratších tunelů navrhuje přirozené. U tunelů nad 1000 m a s malým rozdílem výšek portálu je potřeba umělé větrání a je nutné ho zabezpečit ze dvou na sobě nezávislých energetických zdrojů. V případě požáru se zřizuje zařízení pro odvod tepla a kouře. Umělé větrání tunelu je umisťováno mimo TPP do horního prostoru tunelu, což výrazněji ovlivní velikost profilu tunelu. [49]

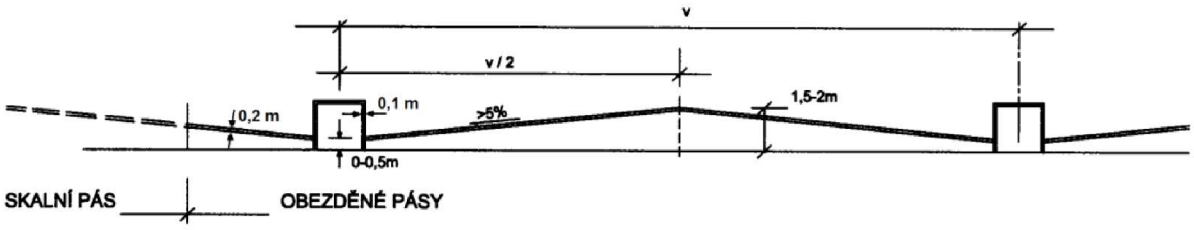
3.2 Bezpečnostní opatření v tunelech

Záchranné tunelové výklenky

Pro bezpečnost osob jsou po délce tunelu záchranné výklenky v maximální osové vzdálenosti 25 m, umístěných vstřícně po obou stranách. U tunelů z montovaných dílců je tolerance nevstřícnosti výklenků do 3 m. [45]

Rozměry záchranného výklenku jsou: šířka 2000 mm, hloubka 750 mm a výška 2200 mm. Kvůli odvodnění se dno výklenku navrhuje ve spádu 3 % k ose tunelu. Do výklenku lze umístit provozní zařízení dráhy pod podmínkou dodržení nejmenších světlých rozměrů a neohrožení ukrývaných osob. [45]

Záchranné výklenky musí být vyznačeny obrysem a pomocí orientačních pásů namalovaných bílým trvanlivým nátěrem na ostění tunelu. Orientační pásy s klesajícím spádem značí blížící se záchranné místo, stoupající pásy naopak značí vzdalování od záchranného výklenku. Šířky orientačních pásů a obrysu výklenku jsou zobrazeny na obr. č. 44. [45]



obr. č. 44: Orientační pásy [51]

Tunely mohou být navrženy i bez záchranných výklenků, ale musí být podél koleje zajištěn dostatečně široký chodník zaručující bezpečný pohyb osob. U tunelů s rychlostí nad 140 km/h musí být u těchto chodníků madla. [45]

Únikové cesty

Případná úniková cesta je podél vlakové soupravy s minimální šířkou 1,2 m. U dvoutubusových tunelů může být jako úniková cesta využit právě druhý tubus. U delších tunelů může být navržena samostatná úniková chodba nebo svislá šachta se schodištěm, případně s výtahem u šachet hlubších než 30 m. Únikové chodby jsou označeny cedulkami se směrem úniku s reflexní úpravou. [45]

U (dvoutubusových) souběžných tunelů jsou tubusy vzájemně propojeny štolami, které mají též funkci záchranného výklenku.

Přístupová komunikace

V blízkosti obou portálů musí být přístupová komunikace a zpevněná plocha pro umožnění příjezdu integrovaných záchranných složek. Komunikace musí být minimální šířky 3 m a navržena na rychlost 40 km/h. V případě použití PJD se komunikace upravuje pro vjezd vozidel přímo do tunelu. [45]

Požární bezpečnost

Pro požární bezpečnost může být po délce tunelu navrženo požární potrubí s hydranty (hydranty jsou umístěny ve výklencích, aby neomezovaly případný pohyb osob) nebo nezavodněné potrubí s připraveným zdrojem vody. Zdrojem požární vody pro hasební zásah může být voda z přírodního vodního zdroje, požární nádrže nebo tlakového vodovodního řadu s minimálním tlakem 0,45 MPa. [45]

3.3 Projektování tunelů

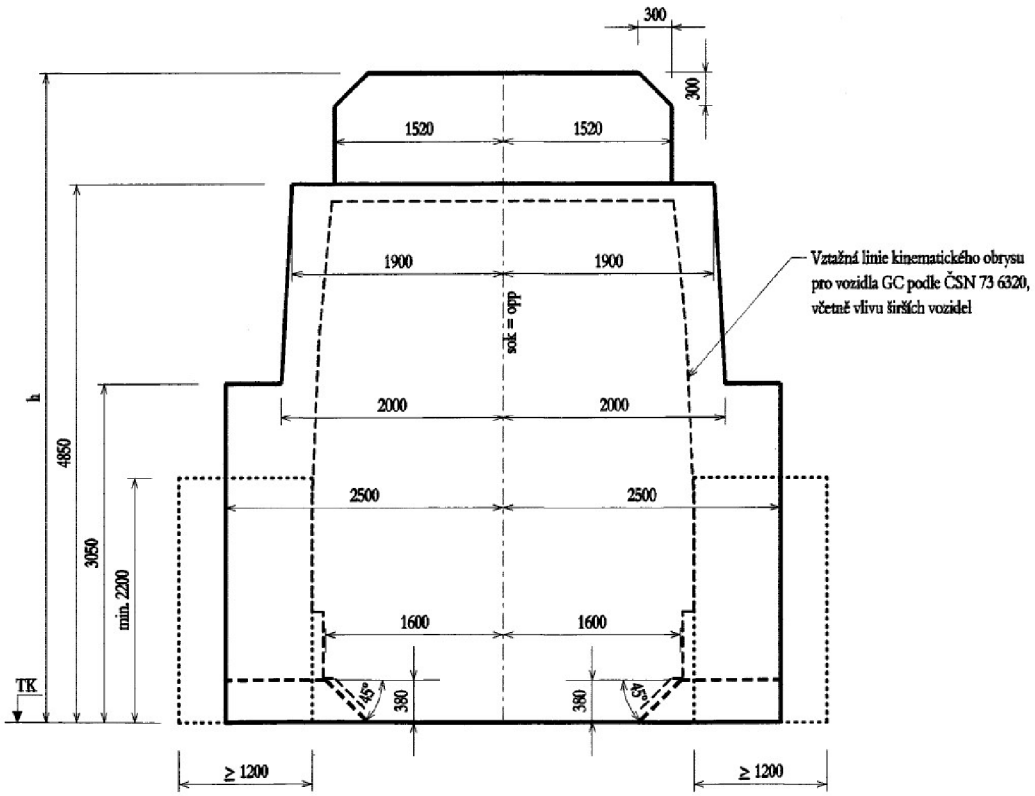
Tunelový průjezdný průřez

Nově navrhované (nebo rekonstruované) železniční tunely v přímé nebo v oblouku větším než 300 m na elektrifikovaných tratích pro rychlost do 160 km/h musí odpovídat tunelovému průjezdnému průřezu TPP pro jednokolejné tratě (obr. č. 46) a sdruženému tunelovému průřezu STPP pro dvoukolejné tratě (obr. č. 45). . Tunelové průřezy pro tratě se směrovými oblouky menšími než 300 m se stanoví výpočtem podle ČSN 73 6320 [46], avšak je doporučeno navrhovat směrové oblouky s minimálním poloměrem 300 m. Celková šířka STPP je určena podle osové vzdálenosti kolejí, přičemž normální osová vzdálenost je 4,0 m (na některých nových vybraných tratích je osová vzdálenost 4,2 m). [45, 50]

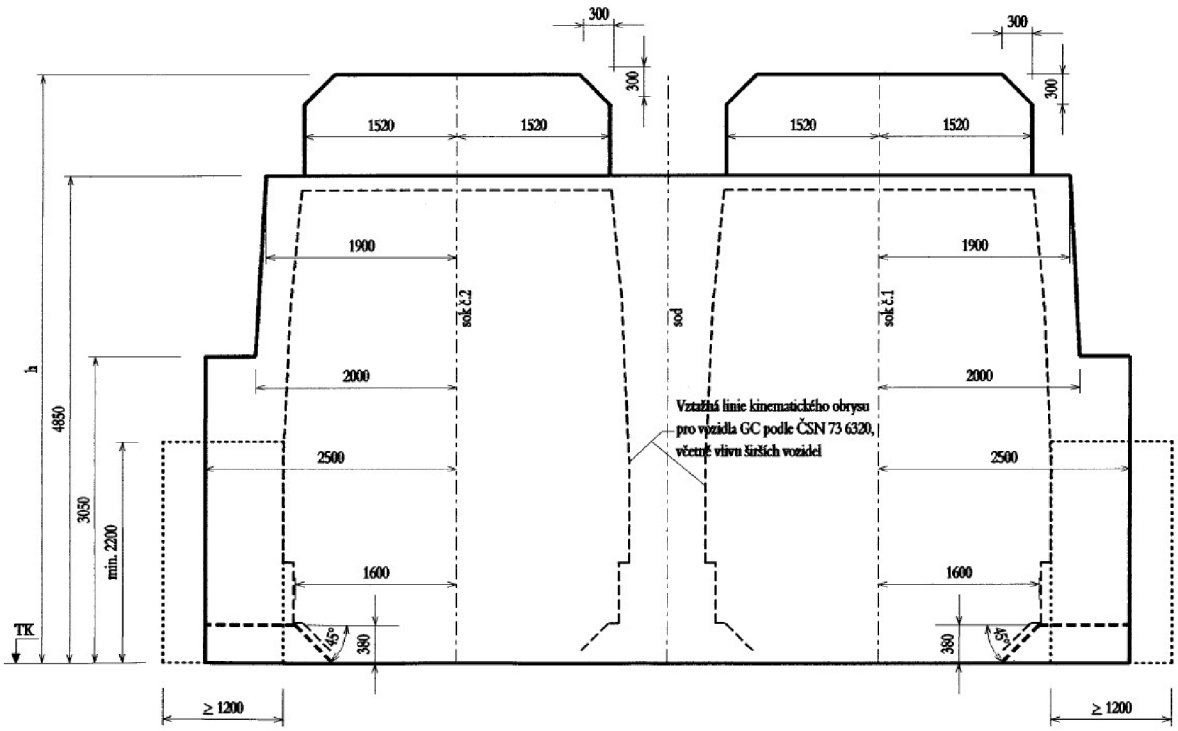
TPP jsou zkonstruovány na základě ložné míry železničních vozidel, jsou však započítány i možné posuny vozidel způsobené chybou geometrických parametrů koleje, jako jsou rozchod a převýšení koleje. [45, 50]

Do průjezdného průřezu nesmí zasahovat žádné vybavení tunelu, vyjma pohyblivých částí trakčního vedení a stejný průřez musí být zachován v délce 6,0 m před začátkem a koncem tunelu. [45, 50]

Elektrizované tratě mají průjezdný průřez doplněny o nástavec průjezdného průřezu, který zahrnuje průjezdný profil sběrače a trolejového vedení. Výška tunelového průjezdného průřezu pro neelektrifikovanou trať je 4,85 m a pro elektrifikovanou je to 6,0 m. [45]



obr. č. 46: Tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať v přímé a v oblouku o poloměru R≥300 m [45]



obr. č. 45: Sdružený tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať v přímé a v oblouku o poloměru R≥300 m [45]

Volný schůdný a manipulační prostor

U nově navrhovaným tunelů má být služební chodník s minimální šířkou 0,5 m po obou stranách tunelu. Při rychlostech do 120 km/h lze zřídit služební chodník pouze po jedné straně. Při rychlostech nad 140 km/h se u chodníků zřizují pevná opěrná madla z důvodů bezpečnosti pracovníků dráhy. [45]

Světlý tunelový průřez

Světlý tunelový průřez je volná plocha ohraničená lícem tunelového ostění a povrchem železničního svršku v tunelu a je měřena ke svislé rovině, která je kolmá k ose tunelu. [45]

Návrh světlého tunelového průřezu je ovlivněn TPP nebo STPP, prostorem pro únikovou cestu, stanovením pojistného, volného schůdného a manipulačního prostoru v tunelu, směrovým vedením trati, určenou konstrukcí železničního svršku, vzdáleností os kolejí ve dvoukolejném tunelu, umístěním odvodnění, kabelovými a ostatními vedeními v tunelu a přípustnými odchylkami. [45]

Pojistný prostor je rezervní prostor uvnitř světlého tunelového průřezu u líce ostění pro dodatečné vestavění konstrukcí při opravě tunelu, pro přetvoření sekundárního ostění a odchylky při výstavbě tunelu. Jeho minimální šířka se stanovuje jednotně, jak pro jednokolejné, tak pro dvoukolejné tunely, a to na 300 mm. [45]

S ohledem na optimální využití světlého tunelového průřezu se ve směrových obloucích přistupuje k posunu osy tunelu od osy koleje ke středu oblouku (u dvoukolejného tunelu od osy dráhy). [45]

Výrubní průřez

Výrubní průřez je navržen s ohledem na světlý tunelový průřez, dimenzi konstrukce ostění a technologii výstavby tunelu. Tento průřez tedy zahrnuje světlý tunelový průřez, konstrukci sekundárního ostění, hydroizolaci, plochu pro dočasné zajištění výrubu, deformace konstrukce, plochu pro nadměrný výrub a plochu pro povolené odchylky. [45]

K odchylkám mezi skutečným a předepsaným rozměrem dochází z důvodu deformace horninového prostředí, měřických chyb, anebo výrobními nepřesnostmi. Při ražení s použitím trhavin, razících strojů s dílčím záběrem a ražení v nezpevněných horninách se dosahuje větších odchylek od předepsaných rozměrů oproti přesnějším tunelovacím metodám, jako je ražení plnoprůřezovým tunelovacím strojem TBM. [45]

Ochrana tunelu proti vodě

Je třeba zajistit konstrukční a izolační systém pro požadovanou vodotěsnost a ochranu proti korozivním účinkům povrchových a podzemních vod. Třída vodotěsnosti tunelu je určena podle možnosti svádění podzemní vody z okolního masivu do prostoru tunelu a následně odvádět samospádem odvodňovacím zařízením, nebo zda má být trouba izolována po celém obvodu nebo jen v rozsahu klenby a opěří. Izolace proti pronikání vodě se navrhuje pomocí plášťových izolací, trvalým ostěním z vodostavebného betonu, utěsňováním ostění pomocí spárování jednotlivých stavebních dílců ostění, utěsňování rubu ostění a přilehlého horninového masivu injektážemi, anebo kombinací opaření. [45]

Odvod vody, která vzniká vysrážením vodních par nebo se dostává do tunelu na projíždějících drážních vozidlech, z tunelové roury zajistí odvodňovací zařízení. Odvodňovací stoky uvnitř tunelové trouby se navrhují uzavřené s možností čištění. [45]

Ochrana proti účinkům bludných proudů

Tunelová konstrukce musí být ochráněna před korozními účinky bludných proudů, způsobovaných stejnosměrnou elektrickou trakcí provozovanou uvnitř tunelu a také před bludnými proudy z okolního prostředí. Ochrana betonových a ocelových konstrukcí se navrhuje jako pasivní pomocí izolací. Kovové pláště kabelů a elektricky vodivá potrubí se před vstupem do tunelu musí opatřit izolačními spojkami nebo vložkami. [45]

Železniční svršek v tunelu

Železniční svršek je podrobně řešen v kapitole č. 2 „Konstrukce železničního svršku“.

Kolej v tunelu je vedena v průběžném kolejovém loži nebo je použito pevné jízdní dráhy. Vždy je potřeba zajistit přechodovou oblast železničního spodku a při použití pevné jízdní dráhy je třeba zajistit i přechodovou oblast železničního svršku. S přihlédnutím k agresivitě prostředí v tunelu je možné využít upevňovadel a drobného kolejiva s antikorozní úpravou.

V jednokolejném tunelu se KL navrhuje zapuštěné, ve dvoukolejném může být i otevřené, je-li vzdálenost osy koleje od líce opěří větší než 3,0 m.

3.4 Traťové odpory v tunelu

Kromě běžných traťových odporů (odpor ze stoupání, odpor prostředí, odpor oblouku) působí při jízdě tunelem další odpory:

- Vzduch je při průjezdu vlaku tlačen dopředu, bez možnosti úniku vzduchu do stran jako na volné trati. Vzduch způsobuje víření v tunelu, čímž se odpor zvyšuje. Velikost výrubu má vliv na odpor vzduchu – čím má tunel menší

profil, tím má větší odpor vzduchu, a proto výrazně vyšší odpory nastávají v jednokolejných tunelech.
- Snižování součinitele adheze způsobené kapáním vysrážené vody z vodních par na hlavy kolejnic, nebo při porušení hydroizolace tunelu. [3]

V tunelech není možné mít příliš vysoký podélný sklon, právě kvůli zvýšeným odporům vzduchu, ale také proto, že je v tunelu zvýšená vlhkost a adhezní síla lokomotiv se takto snižuje až o 20 %. [49]

Odpor jízdy tunelem o_t závisí na aerodynamické složce dané rychlostí vozidel, profilu a délce tunelu. Při rychlostech do 200 km/h se uvažuje 1 – 5 ‰, u vyšších rychlostí se stanoví výpočtem a uvede v projektové dokumentaci. [3]

3.5 Výstavba tunelů

Stabilita tunelu má souvislost se samonosností horninového prostředí, které je ovlivněno zejména typem horniny (nebo zeminy), výšky nadloží, velikosti výrubního průřezu, poměru výšky nadloží a výrobního průřezu, použité tunelovací metody a střetu se stávajícími stavbami v dotčeném území.

Inženýrskogeotechnický průzkum

Před začátkem stavby se provádí inženýrskogeotechnický průzkum, který dokáže stanovit parametry ovlivňující návrh celé konstrukce a z něj vychází statický výpočet. Tunely se dle náročnosti řadí do geotechnické kategorie 3. Určí se přesná poloha tunelové stavby, stávající stabilita dotčeného území a možné změny stability v souvislosti s výstavbou a následně i s provozem tunelu. Stanoví kvalitu geologického podloží, typ horniny nebo zeminy, míru zvětrání a její chemické složení. Získají se informace ohledně těžitelnosti, ražnosti, vrtatelnosti, abrazivity (schopnost mechanického obrušování pevného povrchu), vrstevnatosti a průběhu diskontinuit horninového masivu. Dle vlastností horninového masivu a dostupných technologií se navrhne optimální tunelovací metoda (z hlediska geotechniky rozhoduje zejména doba stability nezajištěného výrubu nebo stavební jámy). Na základě určení kvality vytěžené horniny lze přemýšlet o jejím dalším využití. [48, 50]

Pomocí hydrologického průzkumu se stanoví hydrologické poměry jako jsou propustnost masivu, chemické složení vody, hladina podzemní vody a její kolísání. Navrhne se optimální hydroizolační systém a systém odvodnění. [48, 50]

Z hlediska získaní informací o geologickém prostředí je nejvhodnější a nejdražší budování přímých průzkumných děl jako jsou průzkumné štoly. U takových průzkumných děl je třeba určit polohu profilu vůči budoucímu tunelu, může být buď mimo tunel, kdy se štola následně využije jako servisní nebo úniková, anebo se průzkumná štola umístí do kaloty budoucího tunelu (z důvodu

přeskupení napětí v okolí výrubu). Při průzkumu, během výstavby díla a v některých případech i v průběhu životnosti stavby se přistupuje ke sledování některých geotechnických veličin, jako jsou posuny a přetvoření (z nich lze dopočítat působící napětí a síly), seismicita a změna chemismu podzemních vod atd. [48, 50]

Pokud se v průběhu výstavby nepotvrdí předpokládané inženýrskogeologické vlastnosti je potřeba před dalším ražením provést doplňkový průzkum. [48, 50]

Ovlivnění dotčeného území a geotechnické kontrolní sledování při výstavbě tunelu

Během výstavby tunelu je třeba sledovat prostředí a jeho reakce na výstavbu, a to jednak z důvodu bezpečnosti výstavby a hospodárnému návrhu, ale také z důvodu zamezení nežádoucích zásahů do životního prostředí a k zajištění bezpečnosti stávajících objektů nacházejících se v blízkosti tunelu. Geotechnická bezpečnostní měření jsou během ražení nezbytná pro kontrolu a řízení technologického postupu ražby a pro rozhodnutí o dočasném zajištění výrubu pomocí primárního ostění a následně i pro rozhodnutí o dimenzi definitivního (sekundárního) ostění. Sledují se deformace a namáhání podzemní konstrukce. V některých případech je nutné ponechat tunelový monitoring i po uvedení stavby do provozu. [48]

V projektu se navrhne oblast ovlivnění (oblast působení negativních účinků výstavby a provozu stavby, zóna ohrožení, zóna sledování) okolního prostředí. Stanoví se dosah nepříznivých deformačních a dynamických (seismických) účinků včetně ovlivnění místních geologických a hydrogeologických poměrů. V této oblasti je před výstavbou nutné provést pasportizaci současného stavu okolních objektů a stanovit odolnost vůči účinkům vyvolaným stavbou tunelu. Tento výchozí stav je následně porovnáván s průběžným kontrolním sledováním během výstavby. Způsob, rozsah a četnost sledování objektu se stanoví podle ČSN 73 0405. [48]

Hloubené tunely

Hloubené tunely jsou takové, kde výška nadloží není dostatečná pro vznik horninové klenby a neumožňuje využití razicích metod. Výstavba probíhá ve svahovaných nebo pažených jamách (dle možností záborů okolních pozemků). Pažené jámy mohou být zajištěny pomocí příložného, štětovnicového nebo záporového pažení. U některých staveb může dojít k využití pažících stěn jako trvalého ostění podzemního díla. [48, 49, 50]

Ražené tunely

Ražené tunely většinou mívají hloubené předportálové oblasti, které jsou zajištěné předzářezovými zárubními zdmi. Rozlišuje se ražení ve skalních horninách a v zeminách, ražení ve skalních horninách se dělí na trhavinové a strojí.

Trhavinové ražení má cyklický pracovní postup, který se skládá z vrtání, nabíjení a odstřelu, nakládání a odvozu rubaniny, provizorního vyztužení (které zajistí stabilitu výrubu před výstavbou definitivního ostění) a prodloužení nutných přechodných instalací jako jsou větrací lutny, tlakové potrubí vody a vzduchu a odvodnění. Vrtání je časově nejnáročnější, je potřeba vyměřit přesné polohy vrtů dle vrtného schématu čelby (zálomové vrty – v oblasti čelby do kužele, přibírkové vrty – rozmístění v okolí zálomů, obrysové vrty – v obrysu tunelu). Nevýhodou trhacích prací jsou zejména časové ztráty vyvolané manipulací s vrtací technikou, nabíjení náloží, odstřelem a větráním. [48, 49, 50]

V méně pevných horninách se preferuje ražba pomocí strojní techniky. U některých typů měkčích hornin lze použít hydraulická a pneumatická rypadla. U současných razících metod je dbáno na zajištění výrubu. Používá se zejména nová rakouská tunelovací metoda (NRTM), u které probíhají práce v cyklech, kdy dochází k rozpojení horniny, jejího naložení, odvozu a následnému zajištění výrubu. Pro NRTM je typický tunelový průřez tlamový. Razicí práce probíhají v záběru délky 1 – 2 m, podle doby stability nezajištěného výrubu. Čelba tunelu a klenba se injektuje z důvodu vyplnění puklin a dutin v hornině, čímž se zajistí stabilita a zároveň zredukuje množství přítoků podzemní vody. Primární ostění napomáhá samonosnosti výrubu a podporuje nosnou funkci horninového prostředí. Na primární ostění se v závislosti na geologických podmínkách, výšky nadloží a velikosti výrubu používá výztuž v podobě ocelových oblouků a sítí, svorníky a stříkaný beton (suchý nebo mokrý). U primárního ostění se zahladí nerovnosti, překryje se tzv. deštníkovou hydroizolací a následně se sekundární ostění zhotoví z prostého či vyztuženého betonu, k čemuž se využívají tzv. bednicí vozy. [48, 49, 50]

Další možností je využití razicích štítů TBM, kdy stroj současně razí, odváží rubaninu a zároveň usazuje prefabrikované dílce jako definitivní ostění tunelu. Dílce jsou k sobě následně šroubovány a prostory mezi horninou a dílcem jsou injektovány. Průřez tunelu vytvořeného razícím štítem má kruhový tvar. Ražení v zeminách se provádí pomocí zemních štítů. [48, 49, 50]

3.6 Rizika spojená s výstavbou a provozem tunelů

V průběhu výstavby může dojít k haváriím vlivem neočekávaných jevů, případně v souvislosti s podceněním geotechnického průzkumu. Ty mohou vést k technickým problémům s následnými ekonomickými dopady. Může dojít ke změně geologických poměrů oproti původnímu geotechnickému průzkumu,

mechanické vlastnosti hornin mohou být odlišné, vodní režim podzemních a nadzemních vod se může změnit v důsledku neočekávaně vysokých srážek, při ražbě může dojít k neočekávané přítomnosti přírodních (nebo umělých) prostor. V případě nehody dojde k narušení a poškození životního prostředí. Rizika spojená s výstavbou se dají shrnout oceněním geotechnického rizika, což je ocenění tří skupin rizikových parametrů, kterými jsou vlastnosti horninového masivu v okolí podzemního díla, charakter samotného díla a jeho zranitelnost v souvislosti s nežádoucím chováním horninového masivu, ekonomické a hmotné ohrožení stavby, které je důsledkem nežádoucího chování horninového masivu vůči stavebnímu dílu. [48]

Může dojít k nezvládnutí technologického postupu výstavby a nelze vyloučit ani chyby zapříčiněné lidským faktorem, ať už neúmyslné či úmyslné. Rizikem může být pozdní provedení ostění (dojde k překročení doby nezajištěného výrubu, přičemž tato doba je stanovena geotechnickým výpočtem), špatný způsob injektáže výrubu, nedodržení technologických postupů a pravidel bezpečnosti práce. [48]

Při provozu stavby může dojít k vykolejení vozů, vzniku lokálních nebo i rozsáhlých požárů, výbuchů, destrukci konstrukce tunelu, uvěznění osob, úniku toxických látek, zatopení tunelu nebo znečištění životního prostředí. [48]

Rizikem spojeným s existencí stavby může být například ovlivnění hydrogeologických poměrů po vyražení tunelu, kdy tunel může působit jako drén a dojde k odvodu vody z dotčeného území. Je nutné posoudit vliv tunelu na kvalitu životního prostředí z hlediska výstavby i provozu tunelu. Může také nastat narušení stability dotčeného území takzvanými poklesovými kotlinami. [48]

4 Cíle práce

Diplomová práce se zabývá porovnáním konstrukcí železničního svršku v návaznosti na nově stavěnou tunelovou konstrukci. V práci bude porovnána technologie výstavby a údržby konkrétní konstrukce svršku a také jak by se při použití jiné konstrukce železničního svršku změnila konstrukce tunelu. Pro konkrétní porovnání bude využita stavba tunelu Mezno. V situaci bude navržena konstrukce pevné jízdní dráhy typu Rheda 2000 a ÖBB PORR, neboť jiné zatím na stavbách v České republice nebyly použity a je tedy nejvíce pravděpodobné jejich opětovné použití. Práce se zabývá porovnáním při využití soustavy svršku UIC 60 (kolejnice 60 E2, pružné upevnění na betonových pražcích/pevné jízdní dráze).

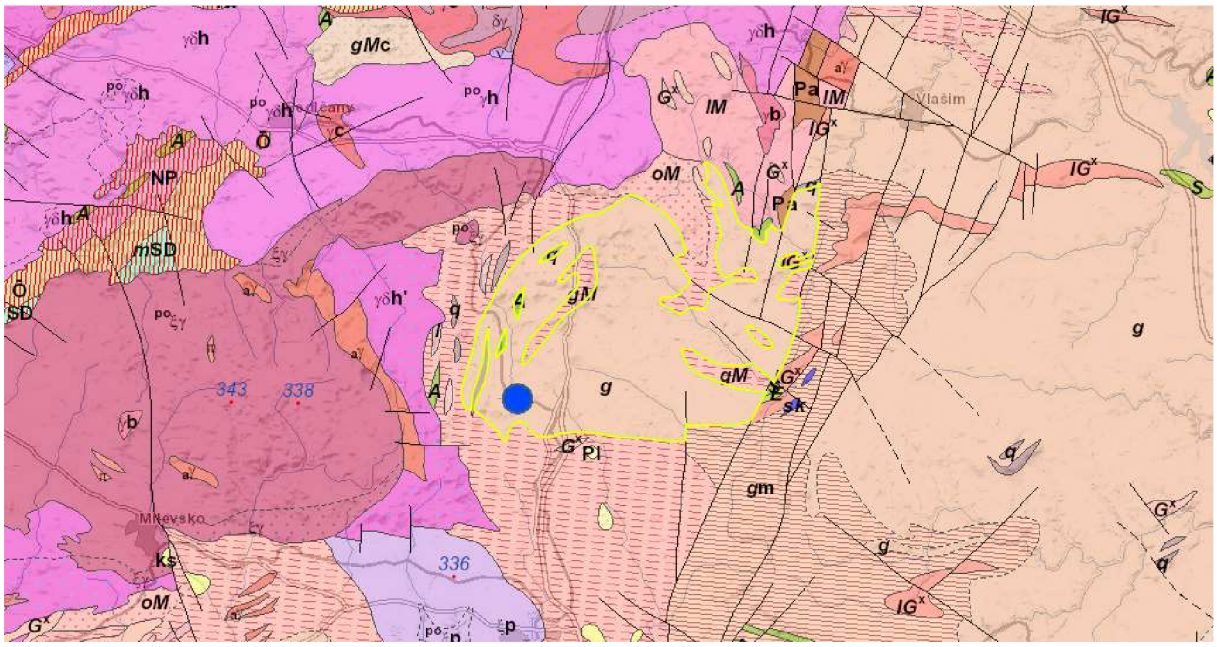
5 Popis tunelu Mezno

Tunel Mezno se nachází na IV. tranzitním koridoru na trati Benešov u Prahy – České Budějovice v úseku Votice – Sudoměřice u Tábora mezi obcemi Střezimíř - Mezno. Železniční trať spadá do IV. řádu dle provozního zatížení koleje (7,301 – 14,600 mil. hrt/rok).

Tunel byl vybudován z důvodu přeložení trati upravením směrových poměrů za účelem zvýšení traťové rychlosti a zkrácení jízdní doby, byl uveden do provozu 1. července 2022. Jedná se o dvoukolejný ražený tunel s celkovou délkou 680 m. Byla zde navržena klasická konstrukce železničního svršku – tj. s kolejovým ložem. Směrově je tunel částečně v přímé a částečně v oblouku. Poloha tunelu Mezno je znázorněna **modrou barvou** na obr. č. 47. **Červená linie** znázorňuje původní polohu trati před přeložením. Šipky znázorňují přístupové komunikace, přičemž **hnědé šipky** znázorňují přístup po cestách a **černá šipka** znázorňuje připojení na stávající železniční síť.

obr. č. 47: Poloha tunelu Mezno [42]

Tunel Mezno se nachází v oblasti s biotitickými a sillimanito-biotitickými rulami, částečně migmatizovanými. Vzhledem k podloží tedy nevzniká omezení pro použití PJD. Lokalita tunelu Mezno je v obr. č. 48 vyznačena tmavě modrým bodem.



obr. č. 48: Geologická mapa v lokalitě Mezno [43]

Dvoukolejná železniční trať je staničená ze směru od Českých Budějovic (Vídně) do Prahy. Parametry kružnicového oblouku jsou uvedeny v tabulce tab. č. 7. U jižního portálu (první po směru staničení) začíná kružnicový oblouk, přímo před portálem je přechodnice a tento oblouk končí až cca 1 km za severním portálem.

tab. č. 7: Směrové poměry koleje v tunelu Mezno [44]

	oblouk č. 1	oblouk č. 2	
R=	1404	1400	m
$V=V_{130}=V_k=$	160	160	km/h
I=	92	92	mm
$n_1=$	10,045V	10,030V	
$A_1=$	528,956	527,826	
D=	124	124	mm
$\alpha=$	48,552380	48,551732	g
$L_i=$	971,131	968,208	m
$T_{k1}=$	4,518096	4,524548	g
$m_1=$	1,178	1,178	m
$Y_{k1}=$	4,713	4,713	m
$X_{k1}=$	199,184	198,900	m
$L_{k1}=$	199,284	199,000	m

Podélný sklon je v tunelu střechovitý, přičemž sklony jsou 4,46 a – 8,00 ‰. [44]

Diplomová práce uvažuje s přístupovými komunikacemi u obou portálů, tak jak byly vybudovány při realizaci stavby tunelu.

5.1 Dodávka materiálů

Dodávky materiálů budou z následujících míst:

kamenolom Votice:	kamenivo 32/63
	doprava nákladními automobily a po kolejích ve vozech chopperdozátor
	vzdálenost ke stavbě po silnici 16 km, při dovozu po kolejích také cca 16 km
betonárna Votice:	C25/30, XC3, XF3, XA1L, GK8, T 73 (scc)
	doprava autodomíchávači
	vzdálenost ke stavbě – 19 km
Uherský Ostroh ŽPSV:	pražce B 91T/1, nosné desky ÖBB-PORR, pražce 355
	doprava po kolejích na plošinových vozech
Třinecké železárny:	kolejnice 60 E2, délky 75 m
	doprava po kolejích na plošinových vozech

6 Technologie výstavby různých konstrukcí železničního svršku

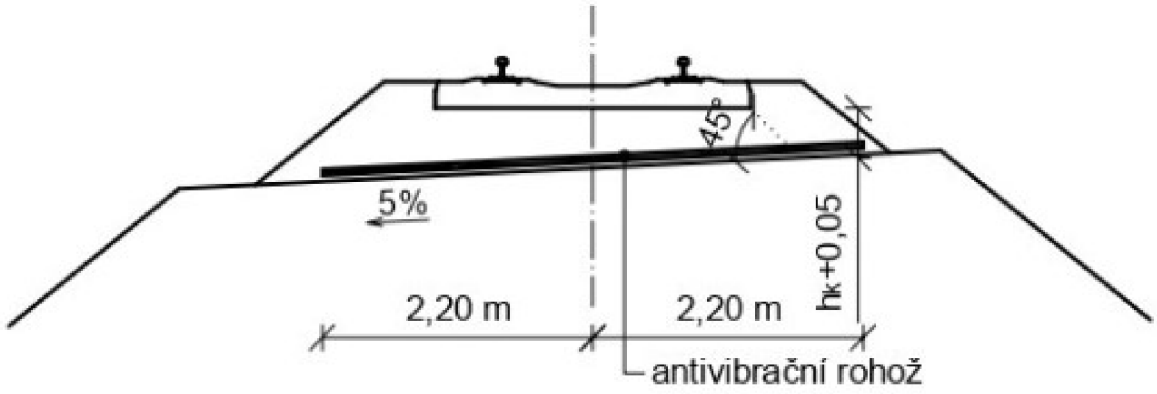
Diplomová práce se zabývá technologií výstavby železničního svršku a neřeší stavbu tunelu.

Do stávající koleje bude vložena prozatímní výhybka a vytažena spojovací kolej, která bude sloužit pro dodávky materiálu ze směru od Sudoměřic (z jihu). Částečně může být materiál dovážen automobily. Nejprve se realizuje první kolej a následně se bude stavět kolej druhá.

V předportálových oblastech je třeba zhodnotit geotechnický průzkum a dle výsledku pak přistoupit nebo nepřistoupit k budování přechodové oblasti železničního spodku [12].

Antivibrační rohož bude nalepena na povrch tunelu. AVR se klade na čistou a hladkou vrstvu, ve sklonu pro odtok vody na KV 3-5 % sklon. Vložení AVR nesmí ovlivnit odvod vody. U klasické konstrukce se pak zvýší tloušťka KL o ochrannou vrstvu tloušťky 50 mm. Samotná AVR musí mít co nejméně stykových ploch a spojuje se zpravidla mechanickými tvarovanými zámky nebo se spoje jednotlivých prvků lepí, případně překrývají krycími pásky. Kladení AVR pouze na sraz a kladení více vrstev AVR na sebe je nepřípustné. [11]

Pokud je na AVR hned uloženo KL, musí být šířka pruhu AVR min. 4,4 m (obr. č. 49). (Při použití níže v KV, například v předportálové oblasti na zemním tělese, je požadovaná šířka pruhu AVR vyšší, což vychází z úhlu roznosu zatížení.) Při použití AVR v koleji s převýšením se na straně s převýšením zvyšuje minimální šířka pruhu AVR o 0,50 m. [11]



obr. č. 49: Příklad použití podštěrkové AVR [11]

AVR je třeba umístit i do přechodových oblastí tunelů.

Pokud se použije AVR s dutinami, je třeba chránit čela prvků před vnikáním vody, nečistot a úlomků zrnitých materiálů, pomocí speciálních ukončovacích profilů. AVR, zejména ty vyrobené z pryžového recyklátu, je vhodné ukládat na

filtrační geotextilii k zajištění odvádění případné kondenzované vody ze spodní plochy uložených AVR nebo vody pronikající netěsnými spárami mezi jednotlivými rohožemi. [11]

Po položení AVR se liší výstavba železničního svršku podle jednotlivých typů a je podrobněji popsána v kapitolách 6.1 a 6.2.

Svaření do BK probíhá u klasické i moderní konstrukce stejně a je popsáno v kapitole 6.3 Bezstyková kolej.

Na konec probíhá dotažení upevňovadel podle SŽDC S3, díl VI [30], a to utahovacím momentem 180–220 Nm, maximálně 220 Nm (pro upevnění W 14 i Vossloh 300). Při nedodržení předepsaného utahovacího momentu dochází k nesprávné funkci kolejového roštu a při překročení maximální hodnoty často dochází k vyššímu namáhání a trvalým deformacím jednotlivých součástí upevnění a také k nevratnému poškození hmoždinky. Poškození hmoždinek není na první pohled vidět a dochází pak k povolování vrtulí. Při poškození hmoždinek na delším úseku koleje může dojít k ohrožení bezpečnosti provozu [2]. Po montáži je požadováno dosednutí středního ramene svěrky do lůžka plastové vodicí vložky.

6.1 Klasická konstrukce

Před zřízením konstrukce kolejového lože musí být upraveno a převzato dozorem investora těleso železničního spodku, přičemž musí splňovat požadavky podle předpisu SŽ S4 [11]. Převzatá pláň tělesa železničního spodku již nesmí být pojížděna, aby nebyla narušena její únosnost a nebyl poškozen její sklon, z důvodu patřičného odvodu vody.

Kolejové lože se provádí ve dvou fázích, přičemž se první provede předštěrkování a následně se položí kolejový rošt, doplní se štěrk mezi a za hlavy pražců, pomocí kolejových pluhů se vytvoří správný tvar KL, a nakonec se podbije kolej pro potřebné GPK a další případné doplnění štěrku do profilu KL. [2]

Odběr vzorků a zkoušení vlastností kameniva se provádí v průběhu výroby i v průběhu stavby z KL. [10]

Kamenivo musí být v kamenolomu skladováno na zpevněných odvodněných plochách, nízkých skládkách (maximálně 2,5 m) a odděleně podle třídy jakosti. Při sypání kameniva na skládku nesmí kamenivo dopadat z větší výšky než 1,5 m a také na skládkách nesmí být znehodnocováno pojezdy dopravních prostředků.

Při nakládce kameniva z dolní třetiny skládky se provedou kontrolní zkoušky podílu podsítného zrna, drobných zrn a jemných částic podle příslušných norem a OTP. Před nakládkou kameniva třídy BI ze skládky je nutno provést přetřídění kameniva na třídícím zařízení.

Předštěrkování se provádí buď dovozem štěrku pomocí nákladních automobilů, nebo dovozem štěrku po kolejích. V případě lokality tunelu Mezno bude pro předštěrkování první koleje dovážen štěrk (třída kvality BI) na staveniště nákladními automobily z kamenolomu Votice (jedná se o kamenolom vlastnící osvědčení o kvalitě kameniva do kolejového lože [36]), který je po silnici vzdálen 16 km. Jelikož již nesmí být PTŽS pojížděna, automobily vyklápí štěrk pod sebe, tak aby při dalším couvání pojížděli již dostatečnou mocnost štěrku. Na dno tunelu bude položena antivibrační rohož podle zásad uvedených v úvodu kapitoly č. 6. Pro dostatečné rozprostření kameniva, bude připraven grejdr nebo dozer, který rozprostře první vrstvu štěrku do požadované šířky, tloušťky a převýšení pro kolej v oblouku maximálně do hodnoty 70 mm. Předštěrkování se provádí v tloušťce 50–100 mm pod projektovanou výšku spodní plochy pražců. Pokud bude při rozprostírání potřeba doplňovat další menší množství materiálu, bude se dovážet nákladními automobily, které materiál budou sypat pod radlici grejdru nebo dozeru. Pomocí statických hutnících válců s lineárním zatížením s maximálním zatížením běhounu válce 32 kg/cm^2 dojde ke zhomogenizování objemové hmotnosti kolejového lože. Kvůli zachování zrnitostní křivky kameniva se nepoužívá vibrační hutnění. Vzhledem k šířce kolejového lože, může sypat štěrk pouze jeden nákladní automobil a je tak potřeba koordinovat křižování velkého množství aut. Rychlost práce je tak závislá na délce úseku a počtu přístupových cest, přičemž přístupové cesty jsou dvě u obou portálů tunelu. [2, 10]

Po zhotovené první vrstvě štěrku budou dovezeny kolejnice délky 75 m na plošinových vozech (po koleji z vložené výhybky do stávající trati) a následně budou rozmístěny a provizorně sespojkovány (bez vrtání otvorů) jako pomocná drážka pro portálový jeřáb Donelli. Kolejnice se z vozu stáhnou pomocí dvoucestného rypadla. Pomocí zařízení ZPK s gumovými koly budou kolejnice dovezeny na požadované místo a uloženy do příslušného rozchodu. Pro zvýšení stability drážky dojde k podložení žebrovými podkladnicemi. Na plošinových vozech budou dovezeny pražce B 91T/1 s upevňovadly v předmontážní poloze a rozmístí se pomocí portálového jeřábu s rozdělením u = 600 mm. Následně se kolejnice umístí dvoucestným rypadlem na pražce a upevní. [2]

Před druhou fází sypání kameniva je potřeba, kromě vizuálního zhodnocení, zhodnotit zaměření zdvihu roštu pro automatickou strojní podbíječku, a zvážit potřebné množství kameniva k doplnění do profilu kolejového lože v převýšeném kružnicovém oblouku. [2]

Dovoz štěrku probíhá pomocí vozů na štěrk, tzv. chopperdozátorů, které jsou schopny doplnit štěrk mezi a nad pražce a za hlavy pražců. Tyto vozy dokážou

rovnoměrně rozprostřít štěrk do koleje pomocí správně nastavené výšky rozprostíracích rámů, které určí kam se bude sypat. V úseku tunelu se nachází převýšený kružnicový oblouk a bude třeba sypat více kameniva pod převýšený kolejnicový pás. Výška nastavení rámů je určena podle množství potřebného kameniva, které je dáno tím, o kolik se bude zvedat kolejový rošt. Sypaného kameniva může být maximálně takové množství, aby strojník podbíječky při podbíjení viděl polohu pražců (alespoň upevňovadel). Kamenivo lze sypat pouze vně na jednu stranu koleje nebo na obě strany, mezi kolejnice nebo kombinovat režimy sypání dle potřeby. Sypat lze v rozsahu +150 až -130 mm od temen kolejnice. Po otevření výsypných klapek již nelze sypání zastavit. Vlastní sypání a rozprostírání probíhá pojezdem soupravy při konstantní rychlosti cca 5 km/h. Po vysypání celého objemu kameniva se souprava zastaví, zavřou a zajistí se výsypné klapky a souprava se posune na místo, kde přestal předchozí vůz sypat, tak aby došlo k navázání sypání. [2]

Dále probíhá směrová a výšková úprava koleje podbíjením pomocí ASP. Jelikož je trať v převýšeném kružnicovém oblouku, byla kolej předštěrkována s převýšením nejvýše o 70 mm. Projektovaná hodnota převýšení v koleji je 124 mm. Ideální zdvihy při podbíjení pomocí ASP jsou v rozmezí 15–30 mm, a proto je nutné, aby došlo minimálně ke dvěma pojezdům ASP, aby bylo docíleno projektované hodnoty převýšení. [2]

Po podbití se mezi pražci vytvoří mezery, neboť je teď kamenivo pod pražcem a je nutné nový štěrk dosypat mezi pražce. Při zřizování nového kolejového lože se připouští zvětšení jeho tloušťky až o 50 mm nad jeho předepsanou hodnotu. Jelikož bylo provedeno hutnění první vrstvy štěrku statickým válcem, nemusí být prováděna dynamická stabilizace pomocí dynamického stabilizátoru, který simuluje projetu zátěž vibrováním kolejového roštu, čímž dochází k rychlejšímu zaklínění zrn kameniva. Následně probíhá úprava tvaru kolejového lože do profilu pomocí kolejových pluhů. Poté musí být zkontrolována přesnost GPK a prostorová průchodnost v tunelu. [2]

Po položení kolejového roštu, podbití a svaření do BK se může využít této koleje pro dovoz štěrku Dumpcarem a sypání štěrku na předštěrkování druhé koleje. Dumpcar je vůz s vysoko loženou korbou, která se dá vyklopit do obou stran pod úhlem až 45°. Po otevření bočnic dojde k rozšíření podlahy vozu, jenž napomáhá k sypání materiálu dále od vozu. Při sypání na vnitřní stranu oblouku u převýšení 40-150 mm je potřeba vůz zakotvit a tím zajistit proti překlopení a ze stejného důvodu probíhá sypání vždy jen u jednoho vozu ze soupravy. Podle množství potřebného štěrku je určena vzdálenost mezi sypáním vozů, jakmile jeden vůz dosype, posune se souprava o určenou vzdálenost a sype vůz další. Při

menší potřebě množství štěrku, lze vůz vysypat nadvakrát. Dávkování je závislé na zkušenostech pracovníka ovládající páky zavírání a otevírání bočnic vozu. Další možností je využití zásobníkového vozu MFS, jehož rozprostření štěrku pro předštěrkování je rovnoměrnější. [2]

Jako u materiálu vysypaného nákladními automobily dochází k lokálním hromadám a je potřeba jej rozprostřít do potřebné šířky, tloušťky a převýšení v koleji v oblouku pomocí grejdrů nebo dozerů. Dále probíhá stejný postup jako u prvně realizované koleje.

Před zahájením provozu dojde k základní reprofilaci kolejnic. Základní reprofilace se používá pro odstranění měkké oduhličené vrstvy, která vznikla oxidací uhlíku při vysokých teplotách během výroby kolejnic. Je optimalizován a zpřesňován příčný profil pojížděné části (na základní reprofilaci jsou přísnější požadavky než výrobní tolerance, a tak dojde k výraznému zpřesnění tvaru pojížděné plochy). Používá se také pro odstranění koroze, která vzniká na déle skladovaných kolejnicích a také může omezovat funkčnost zabezpečovacího zařízení s kolejovými obvody. Dále dojde ke zpřesnění geometrie svarů jak v příčném, tak podélném profilu. Také dojde k odstranění drobných povrchových poškození, která mohou během výstavby vzniknout. [2, 41]

Nakonec probíhá podbíjení obou traťových kolejí v určitých časových cyklech od uvedení do provozu.

6.2 Moderní konstrukce

Je třeba dbát na dostatečné zhutnění PTŽS, na které bude realizována stabilizovaná vrstva. Stabilizovaná vrstva je prováděna zlepšením směsí vápna a cementu v požadovaném poměru dle výpočtu pro konkrétní typ zlepšované zeminy. Směs bude dovezena cisternou, rozprostřena dávkovačem a zapracována pomocí zemní frézy. Potřebný sklon vrstvy bude zajištěn grejdrem. Hutnění a homogenizace bude zajištěna statickými nebo vibračními hutnícími válci (podle typu zeminy). Na vrstvě PTŽS i stabilizované vrstvě je třeba zrealizovat statické zatěžovací zkoušky a ověřit požadovanou únosnost, aby nedošlo k nežádoucím rozdílům sedání, které je pro PJD velmi nežádoucí. Takto upravenou vrstvu již není možné pojíždět automobily. Po stabilizované vrstvě následuje roznášecí betonová vrstva, na které už následuje stejný postup jako v tunelu.

Po vytvrzení betonu vyrovnávací vrstvy bude umístěna celoplošná antivibrační rohož, aby se minimalizoval vliv vibrací na konstrukci tunelu. AVR bude kladena podle zásad uvedených v úvodu kapitoly č. 6.

Před přechodovou oblastí bude předštěrkování zhotoveno dovezením kameniva nákladními automobily (v případě nutnosti bude zhotovena provizorní

přístupová komunikace podél nově budované trati), zhomogenizovaní hutnícími válci a následně bude předštěrkovaná přechodová oblast zalita syntetickou pryskyřicí. Další fáze zalití pryskyřicí bude probíhat po roce provozu konstrukce, kdy dojde k dostatečné konsolidaci (další výšková úprava koleje v přechodové oblasti neprobíhá [34]).

Vzhledem k tomu, že se tunel Mezno nachází mimo zastavěnou oblast obce, není potřeba se významněji věnovat protihlukovým opatřením.

6.2.1 ÖBB-PORR

Výstavba bude probíhat postupně, tj. jednotlivé fáze stavby budou rozpracovány a budou se překrývat. Jednotlivé fáze jsou popsány v následujících odstavcích.

Jelikož se tunel Mezno nachází v oblouku je potřeba zhotovit podkladní beton (vyrovnávací vrstvu) do potřebného převýšení. Tato podkladní vrstva bude zřízena na dně tunelu a na roznášecí stabilizované vrstvě v předportálové oblasti. Beton bude dovezen z betonárny Votice autodomíchávačem. Betonáž bude probíhat za pomoci hadicového čerpadla. Je třeba dodržet podmínku hadicového čerpadla, a to že lze betonovat vždy pouze do vzdálenosti maximálně 500 m. Tunel je v dostředném sklonu, a je potřeba betonovat jednotlivé části protispádu.

Mezitím bude již na části zhotoveného podkladního betonu vyměřena a vyznačena prostorová poloha jednotlivých desek. Vždy před pokládkou desek na určitém úseku dojde k přípravným pracím (pokládka antivibrační rohože, třmínků, distančníků atd.). Na dno tunelu bude položena celoplošná antivibrační rohož, na kterou se umístí podélná a příčná výztuž. Podélná výztuž je tvořena distančními třmínky z oceli ø 6 mm tvaru žebříku v cik cak geometrické úpravě ve třech podélných řadách (obr. č. 50).

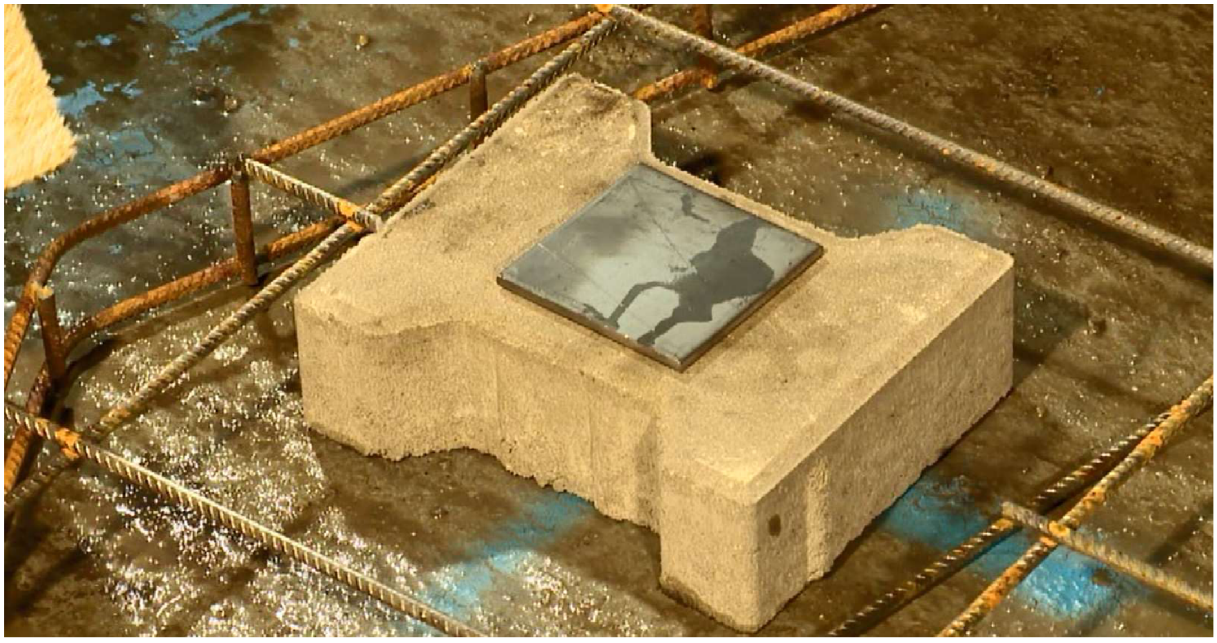
obr. č. 50: Podélná výztuž [34]

Pod každým čtvrtým panelem budou osazeny plastové odvodňovací žlaby obdélníkového průřezu sloužící pro příčný odvod vody zpod PJD [34]. Na třmínky se umístí kari síť ø 6 mm s oky 300 x 100 mm v rozměrech 2200 x 5500 mm (obr. č. 51). Kari síť je v místě styků v překrytí minimálně 10 cm a provázána vázacím drátem [34].

obr. č. 51: Pokládka kari sítí [34]

V místech, kde bude poloha rektifikačních šroubů (jejich poloha je vyznačena pěti modrými body na

obr. č. 19), bude kari síť vystřižena, aby nedošlo k přimáčknutí rektifikačním šroubem. V těchto místech se umístí betonový distančník výšky 6 cm, na který budou uloženy ocelové plechy rozměru 5 x 100 x 100 mm, které zabraňují zamáčknutí šroubů do betonu při rektifikaci (obr. č. 52). [27, 34]



obr. č. 52: Ocelový plech na distančníku [34]

K úsekům s připravenou výztuží bude přistaven automobilový jeřáb s pohyblivou rukou pokládající nosné desky PJD (obr. č. 53). V tunelu je potřeba počítat se zúženými prostory a sníženou možností manipulovat s konstrukčními částmi PJD dle potřeby.

obr. č. 53: Pokládka desek PJD automobilovým jeřábem [34]

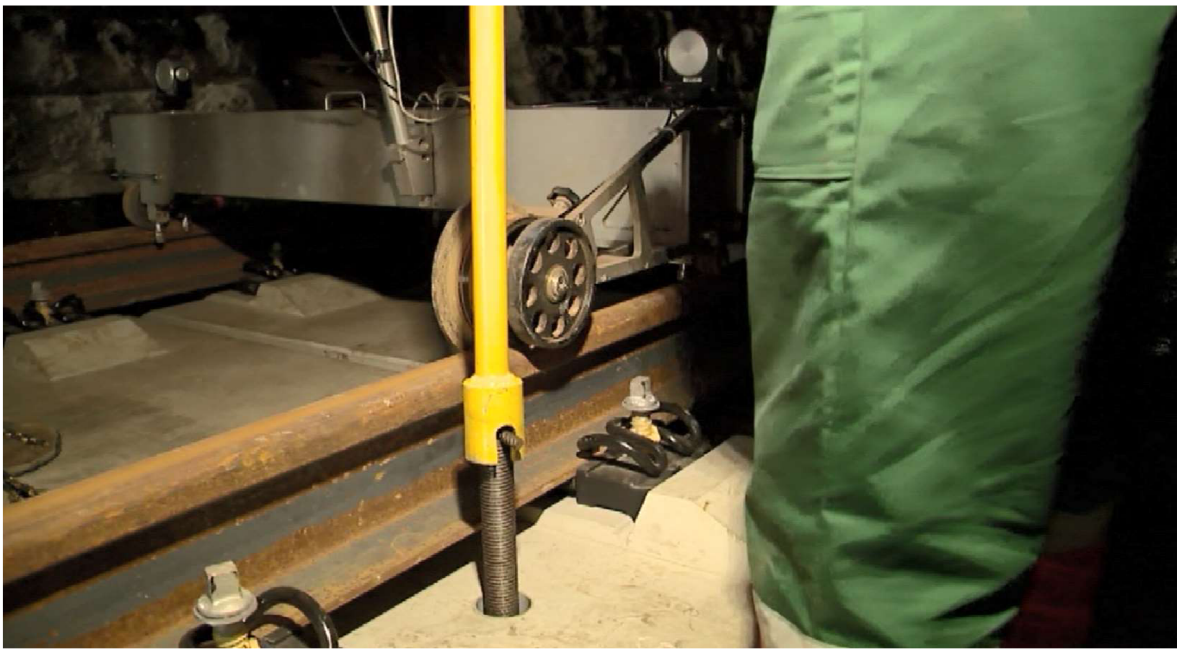
Samotné desky se rektifikují ve dvou fázích. V první fázi rektifikaci se desky ukládají na dřevěné hranoly, aby byla deska ve správné výšce. Pak se deska nachystá tak, aby byla od předchozí desky ve vzdálenosti 40 mm a vznikla tak požadovaná dilatační spára (obr. č. 54).

obr. č. 54: Zajištění dilatační spáry mezi deskami PJD [34]

Z polohy budoucí vedlejší koleje bude probíhat zásobování materiálem. Kolejnice budou dovezeny pomocí zařízení ZPK s gumovými koly. Dvoucestná rypadla následně umístí kolejnice na desky (obr. č. 55). Následně proběhne upevnění kolejnic.

obr. č. 55: Ukládání kolejnic [34]

Druhá fáze rektifikace (do přesné prostorové polohy) je realizována pomocí aretačních vřeten M36 s tolerancí ± 2 mm. Realizuje se pomocí dotahování pěti rektifikačních šroubů (otvory pro rektifikační šrouby jsou zobrazeny modře na obr. č. 19). Přesná poloha (APK) je měřena pomocí geodetického přístroje (obr. č. 56). Tato metoda je dostatečně přesná pro finální polohu desek. Nevyžaduje žádnou další opravu polohy. Seřizovací práce jsou oproti jiným systémům deskových drah až o 50 % kratší.



obr. č. 56: Dotažení rektifikačních šroubů a kontrola polohy koleje [34]

Do otvorů je navázána armatura (obr. č. 57).

obr. č. 57: Armatura v otvorech desky [34]

Dále je osazeno boční bednění (pokud to konstrukce tunelu dovolí, může být boční bednění tvořeno samotnou konstrukcí tunelu). Při spodním okraji je bednění utěsněno polyuretanovou pěnou (obr. č. 58). Bednění je od hrany desky odsazeno tak, aby mohla probíhat vizuální kontrola prolití betonu a také aby mohlo dojít k odvzdušnění a nevznikaly tak nežádoucí vzduchové dutiny (v desce jsou také dva odvzdušňovací otvory, které jsou zelenou barvou znázorněny na

obr. č. 19). Jelikož je kolej v převýšení 124 mm, bude na vnější straně oblouku bednění upraveno tak, aby bylo umožněno zalévat desku betonem z boku, neboť by jinak nebylo možné desku v převýšení zalít v celé ploše (v přímé koleji se pro betonáž využívají obdélníkové otvory v desce), a aby beton nevytekl obdélníkovými a odvzdušňovacími otvory, budou tyto otvory dodatečně zabedněny v průběhu betonáže.

obr. č. 58: Osazení bednění a jeho utěsnění [34]

Vzhledem k tomu, že se konstrukce PJD nachází v různých typech prostředí (v tunelu a mimo tunel), může docházet k různé roztažnosti kolejnic z důvodu rozdílných teplot prostředí a následnému nechtěnému posunu geometrické polohy koleje, a proto je vhodné tyto části zalévat betonem postupně a před tím, než dojde k trvalé fixaci koleje, zkontrolovat její přesnou polohu (obr. č. 59). Konstrukce PJD musí být zrealizována velmi přesně, protože dodatečná úprava výškové a směrové polohy koleje je možná pouze v malé míře. Bude také zkontrolována prostorová průchodnost v tunelu. [12, 24, 27]

obr. č. 59: Kontrola přesné polohy koleje [24]

Beton se vnáší do bednění buď přímo, nebo hadicovým čerpadlem do vzdálenosti maximálně 500 m. Vzhledem ke střechovitému sklonu koleje, bude betonáž probíhat proti spádu koleje. Budou provedeny zkoušky in situ, zkoušku rozlití kužele, a to jak před čerpadlem, tak na konci hadic, aby byla ověřena kvalita. Dále budou odebrány zkušební kostky pro zkoušky betonu v tlaku [27]. Doprava betonové směsi a vzdálenost čerpadel by měla být zkonzultována s technologem, aby nedošlo k segregaci plniva betonu [27]. Na vlastnosti betonu jsou kladeny vysoké požadavky hlavně z hlediska jeho konzistence, aby byla mezera mezi deskou a podkladní vrstvou kompletně vyplněna a nevznikaly nežádoucí dutiny a aby beton umožňoval plnou plochou podporu pro nosnou desku PJD. V důsledku procesu betonování bez vibrací není ovlivněna jemná poloha desek. Při betonáži nesmí být překročena doba zpracovatelnosti směsi. Deska se překryje geotextilií, která chrání desku před znečištěním od betonu (obr. č. 60).

obr. č. 60: Betonáž desky [24]

Nejdéle po 24 hodinách budou odstraněny rektifikační šrouby a do jejich otvorů budou osazeny plastové krytky (obr. č. 61).

obr. č. 61: Osazení plastových krytek do otvorů [34]

Dilatační mezery mezi deskami budou vyplněny těsnící páskou. V otevřeném prostoru (v předportálových a přechodových oblastech) bude na zabetonované injektážní otvory nalepen asfaltový pás s přesahem minimálně 75 mm (obr. č. 34).

obr. č. 62: Ochranný asfaltový pás [34]

Po vytvrdnutí betonu dojde ke svaření kolejnic do BK dle kapitoly 6.3. Následně proběhne realizace druhé koleje. Nejdříve bude potřeba zhotovit podkladní srovnávací převýšenou vrstvu na dně tunelu. Předštěrkování přechodové oblasti druhé koleje proběhne bočním vyklopením kameniva z vozů Dumpcar a rozhrnutí vzniklých hromad proběhne pomocí dozerů.

Kolejnice pro druhou kolej budou dovezeny po již zhotovené první koleji a v první fázi budou použity jako pomocná kolejová drážka pro portálový jeřáb Donelli, který bude sloužit pro dovoz nosných desek PJD. Kolejnice pro drážku budou usazeny pomocí dvoucestných bagrů a spojí se provizorním stykem. Pomocná kolejová drážka je pro zvýšení stability v určitých místech podložena žebrovými podkladnicemi.

Portálový jeřáb Donelli se skládá ze dvou portálů a podélného nosníku, na který se nosná deska PJD zavěsí pomocí řetězů. Na plošinových vagonech budou dovezeny desky a přechodové pražce, které se rozmístí do koleje pomocí jeřábu. Tento jeřáb je obzvlášť pro práci v tunelu vhodný, neboť umožňuje zvedání desek na nejmenším možném prostoru. Práce jeřábu s pohyblivou rukou může být v tunelu velmi omezující a neefektivní. Také není nutná meziskládka, jelikož se mohou desky odebírat ihned z přepravního vozu. Pro dovoz desek lze také využít jiné stroje s dostatečnou nosností, a to např. portálový jeřáb Robel PA 1-20 ES, kolejový jeřáb Desec TL 50 anebo automobilový jeřáb s pohyblivou rukou.

Další postup je shodný jako u realizace první koleje.

Konečné vyrovnání směrové a výškové polohy koleje může proběhnout v uzlu upevnění pomocí vodicích vložek nebo výměnou podložek pod patu kolejnice.

6.2.2 Rheda 2000

Výstavba bude probíhat postupně, tj. jednotlivé fáze stavby budou rozpracovány a budou se překrývat. Jednotlivé fáze jsou popsány v následujících odstavcích. Roznášecí převýšená vrstva bude realizována jako u PJD typu ÖBB-PORR v kapitole 6.2.1.

Systém Rheda 2000 se staví od shora dolů, což znamená, že se začíná výstavbou kolejového roštu a až následně nosné desky. Kolejnice budou rozvezeny po délce úseku pomocí zařízení ZPK s gumovými koly, budou sespojkovány bez vrtání otvorů a pro zvýšení stability podloženy žebrovými podkladnicemi. Kolejnice budou využity jako drážka pro portálový jeřáb Donelli, který rozmístí betonové pražce B355 do úseku s již zhotovenou roznášecí vrstvou v rozdělení 650 mm. V tunelu je potřeba počítat se zúženými prostory a sníženou možností manipulovat s konstrukčními částmi PJD dle potřeby. Pražce jsou dodávány s upevněním v předmontážní poloze. Následně se na rozestavěné pražce umístí kolejnice pomocí rypadla, které bude pracovat z místa později realizované druhé koleje. Svěrky Skl 15 se přemístí do pracovní polohy a utáhnou. Propletením příhradové výztuže pražců armovací ocelovou podélnou a příčnou výztuží je po svaření výztuží tvořen kompletní kolejový rošt. Dále proběhne také svázání příčné a podélné výztuže. [1, 2, 5, 23]

obr. č. 63: Kolejový rošt konstrukce typu Rheda 2000 [23]

Následně je přiloženo boční bednění. Dále je kolej ustavena do přesné výškové a směrové polohy vyrovnáním roštu pomocí vertikálních a horizontálních aretačních vřeten osazených uprostřed a u čel pražců (obr. č. 64).

obr. č. 64: Aretační vřeteno [13]

Před začátkem betonáže je důležité zkontrolovat přesnost prostorové polohy koleje, neboť po vytvrdnutí betonu nelze geometrickou polohu koleje výrazně měnit. Vzhledem k rozdílným teplotám uvnitř a vně tunelu může docházet k dilataci oceli kolejnic a tím i ke změně GPK. GPK pak lze upravovat pouze v malé míře, a to pouze v uzlu upevnění. Bude také zkontrolována prostorová průchodnost v tunelu. [5, 23]

Poté se provede zaplnění bednění betonovou směsí, která vytvoří spolu s pražci, podélnou a příčnou výztuží spřaženou betonovou desku (obr. č. 65). Beton desky musí mít minimální pevnost 30/37. Betonáž bude probíhat z polohy druhé koleje pomocí hadicového čerpadla. Povrch nosné desky musí být při betonáži ručně upravován. Po vytvrdnutí betonu dojde ke svaření kolejnic do BK dle kapitoly 6.3.

obr. č. 65: Zabetonovaná nosná deska (vlevo) a zhotovená roznášecí vrstva (vpravo) [23]

Druhá kolej bude vystavěna stejným postupem jako prvně realizovaná kolej, akorát s tím rozdílem, že bude ke koleji možný přístup pouze z čela pro kolové stroje a z boku pro dvoucestné rypadla.

Nosné desky PJD obou traťových kolejí budou vzájemně odděleny a spára mezi deskami bude vyplněna betonovou zálivkou, aby se zamezilo vnikání vody do ŽSp. V předportálové oblasti budou vnější strany desek kolejí natřeny izolačním nátěrem a následně zahrnuty štěrkem. [23]

Přechodové oblasti budou vytvářeny tzv. stabilizací štěrku, což je stmelení kameniva dvousložkovou pryskyřicí. Stabilizace probíhá ve dvou fázích. První fáze stmelení probíhá po předštěrkování kolejového lože a druhá fáze prolití probíhá až po roce provozu, tj. po dostatečně dlouhé konsolidaci. Stabilizace přechodové oblasti je zobrazena na obr. č. 66, obr. č. 67 a obr. č. 68. [3, 23]

obr. č. 66: Stmelení předštěrkované přechodové oblasti [23]

obr. č. 67: Přechodová oblast [23]

obr. č. 68: Stmelená část kolejového lože v přechodové oblasti [23]

Konečné vyrovnání směrové a výškové polohy koleje může proběhnout v uzlu upevnění pomocí vodicích vložek nebo výměnou podložek pod patu kolejnice.

6.3 Bezstyková kolej

Před začátkem zřizování BK je potřeba mít připravený návrh zřízení BK a schválený správcem trati.

Dovolená upínací teplota je teplota, při které budou zhotoveny závěrné svary. S ohledem na rozdílné teploty uvnitř i vně tunelu je možné BK zřizovat za rozdílných podmínek oproti koleji na běžném zemním tělese. V koleji mimo tunel a v koleji od portálu do 75 m dovnitř tunelu se dovolená upínací teplota kolejnic pohybuje v rozmezí +17 °C do + 23 °C. Uvnitř tunelu dál než 75 m od portálu se smí upínací teplota postupně snižovat až na +5 °C, ne však o více než 6 °C na délce alespoň 150 m [38]. Pro kolej v tunelu je dovolená upínací teplota až 5 °C. Vzhledem ke klimatickým podmínkám je nutné provádět svařování právě tehdy, kdy kolejnice dosahuje dovolených teplot. Pokud je teplota kolejnice nižší, lze přistoupit k napínání kolejnice, které způsobí protažení kolejnice tak, jako by ho způsobila optimální teplota kolejnice. Napínání kolejnic lze zřizovat oboustranné nebo jednostranné. Pro napínání je potřeba mít kotevní úsek, což může být navazující úsek BK. Místo napínání lze využít také technologii ohřevu kolejnic. Pokud je teplota kolejnic vyšší než dovolených +23 °C nelze zřizovat BK. Při svařování by měl být rozdíl teplot pro jednotlivé kolejnicové pásy do 3 °C. [1, 2, 38]

Postupně budou svařeny kolejnice na novém úseku koleje, a nakonec bude tento úsek přivařen ke stávajícímu úseku.

Pro realizování BK na řešeném úseku bude využito stykového svařování s odtavením. Tato technologie je realizována robotizovanou mobilní svařovnou. Pro PJD i KL platí stejné zásady svařování [12]. Svařovaný kolejnicový pás musí být po celé své délce uvolněn a uložen na kluzných, válečkových anebo kuličkových podložkách, aby mohlo docházet k volné dilataci (zkrácení i prodloužení) a kolejnice se nedotýkaly podpor, s výjimkou 20 m dlouhého úseku před závěrným svarem. Pro napínání kolejnice v kružnicovém oblouku se použijí boční válečkové opěrky. [1]

Plocha kolejnice v místě dotyku s upínacími čelistmi na stojině kolejnice a čela kolejnic musí být očištěna. Svary jsou zhotoveny tavením oceli kolejnic průchodem elektrického proudu bez přídavného materiálu. Kolejnicové pásy jsou přitaženy k sobě, následně dojde k uchopení kolejnic do čelistí svařovací hlavice a zapne se program svařování podle druhu oceli kolejnice. Během svařovacího programu dochází k odtavování čel kolejnic a jejich následnému přitlačení k sobě, přičemž dojde k jejich spojení bez přidaného materiálu. Existují dva typy stykového svařování, a to kontinuální a pulzní. U kontinuálního svařování dojde k odtavení materiálu okolo 35 – 45 mm. Při pulzním svařování dochází k menšímu úbytku materiálu, a to 22 – 30 mm. Velkou nevýhodou pulzního svařování je však snižování životnosti svařovacích hlavic o třetinu a více. Po celém profilu se automaticky odřízne výronek svaru. [2]

Po dokončení svaru musí být zabroušena pojížděná plocha kolejnice, aby došlo ke sjednocení povrchu. Dále je potřeba zkontrolovat správnost geometrie pojížděné hrany kolejnice. Zabroušení probíhá po zhotovení svaru speciální kopírovací bruskou, a následně proběhne broušení kolejnic v celé délce brousícím vozem. [1]

7 Technologie údržby různých konstrukcí železničního svršku

7.1 Klasická konstrukce

Vlastnosti KL musí být zachovány po celou dobu životnosti stavby. Udržování a obnovování těchto vlastností se provádí podle ustanovení předpisu S3/1. V zájmu zachování zrnitostního složení kameniva je třeba omezit zásahy do KL pouze na odůvodněné práce stanovené na základě vyhodnocení diagnostiky koleje, popřípadě stanovené v rámci systému cyklické údržby.

Po ukončení jakýchkoliv prací v profilu KL musí být před uvedením do provozu zajištěna stanovená tloušťka, profil a úprava KL. Během životnosti klasické konstrukce dochází oproti PJD k výraznějším změnám GPK, dochází k příčným i výškovým posunům. Proto je potřeba při údržbě upravit GPK do původního stavu.

Před začátkem údržbových prací je nutné zajištění polohy koleje, pro které je možné využít stávajících zajišťovacích značek, nebo se provede dočasné zajištění. S provozovatelem stroje je potřebné předem projednat konkrétní formu zajištění polohy koleje, případně nutnost dalších podkladů (např porovnání skutečného stavu a navrhovaného stavu polohy koleje, tvar svršku, podélný profil tratě apod).

7.1.1 Čištění kolejového lože

Materiál KL se v průběhu životnosti stavby postupně zanáší nečistotami (jemnými částicemi), díky nimž dochází ke snížené propustnosti kolejového lože, následné nižší odolnosti vůči namrzání a snižování smykové pevnosti a tím i snižování deformační odolnosti. Podle doporučení ERRI je nutné pročistit KL, pokud je podíl jemných částic do průměru 22,4 mm vyšší než 30 %.

Znečištění KL můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Vnitřní znečištění je způsobeno rozpadem zrn kameniva na drobnější frakci, které může být způsobeno drcením kameniva při působení dynamických sil od pojíždění nebo podbíjení kolejí, nedostatečnou únosností železničního spodku, a tím vtlačování jemných částic ze železničního spodku (blátivá místa). Během experimentálních měření bylo zjištěno, že při technologickém procesu čištění vzniká z celkového objemu kameniva cca 2,8 % jemných částic. Při nedostatečně únosné konstrukci ŽSp lze proti znehodnocování kvality kameniva použít separační folii nebo geotextilii. Vnější znečištění je způsobeno spadem převáženého materiálu z vozů (písek, prach, substráty, organické a případně jiné škodlivé látky) nebo navátými nečistotami. Kamenivo musí splňovat i požadavky na elektrický odpor, což při znečištění není možné zaručit u zvýšené namrzavosti a snížené propustnosti. KL ztrácí své původní parametry, zhoršují se jeho vlastnosti, je potřeba častěji upravovat GPK, dochází ke zkracování celkové životnosti konstrukce železničního svršku. Pokud se neřeší příčiny znečištění KL, hrozí opakované zanášení kolejového lože a tím i opakování závad GPK. [2, 40]

K obnovení zrnitosti kameniva se využívá čištění, při kterém se prosévá kamenivo přes síta pro zajištění požadované frakce 31,5/63. Podsítná zrna a jemnozrnný materiál propadne, čímž dojde i ke zmenšení objemu materiálu lože a je třeba po pročištění materiál do profilu lože doplnit. Pro zlepšení vlastností kameniva lze využít recyklace, při které dochází i k obnově ostrohrannosti kameniva.

Před samotným čištěním KL musí proběhnout čištění banketů v předportálových oblastech a zajištění odvodnění ŽSp. Pokud by šířka KL byla větší, než je možnost konkrétního typu strojní čističky, je třeba lože přihrnout například dvoucestným rypadlem. Dále je třeba posoudit držebnost upevňovadel a celistvost pražců. Případné odpadnutí pražce by způsobilo nežádoucí zastavení čističky, a proto lze přistoupit k lokální výměně pražců a dotažení upevňovadel. Dále je třeba zhodnotit stav svarů kolejnic a případných lomů kolejnic. V blízkosti koleje je nutné zajistit polohu kabelů, drátovodů, zabezpečení přejezdů a dalších překážek, které je třeba projednat se správci těchto zařízení a případně odsunout a přeložit volně ležící kabely, demontovat ukolejnění, pojistné úhelníky, pražcové kotvy, příčná lanová propojení atd. Je také nutné zohlednit pevné překážky v tunelu.

Práce mohou probíhat pouze na vyloučené koleji a za napěťové výluky. Na dvoukolejné trati je v druhé koleji maximální povolená rychlost 50 km/h. Nesmí být ohrožen průjezdný profil vedlejší koleje.

Před samotnou prací čističky je třeba vyhloubit rýhu pro hrabací řetěz odstraněním štěrku mezi pražci o velikosti 1 – 1,5 m a v hloubce minimálně 0,3 m pod ložnou plochu pražce. Některé druhy SČ disponují rozpojitelným (nekončitým) těžícím řetězem, který se rozpojí a znovu spojí pod kolejnicemi, v opačném případě je nutné upálit kolejnice, nadzvednout přední část roštu, spojit řetěz a kolejnice zajistit dočasným ambulantním stykem.

Na danou situaci je třeba s rozmyslem zvolit vhodný typ SČ. Jednotlivé SČ se liší dle požadavků na délky odstavných kolejí, dle možnosti R_{min}, nákladů na přepravu stroje. Teoretické výkony stroje udávané výrobcem mohou být v praxi nižší, neboť výkon čističky vždy záleží na míře znečištění KL, kvalitě posádky stroje, technickém stavu samotného stroje, směrových a sklonových poměrech a hloubce těžení a případných překážkách pro práci stroje. Hloubka těžení musí být taková, aby neohrozila, a aby nebyla poškozena konstrukce tunelu včetně případných AVR.

Čistička nadzdvihává kolej a řetěz těží kamenivo, které je pomocí šnekových dopravníků dopravováno na vibrační síta, kde je kamenivo roztřízeno na podsítné a na kamenivo, které je vráceno zpět do kolejového lože. Během čištění se sleduje

kvalita KL, zdali je dostatečná, případně je možné opakovat čištění nebo odtěžit KL v celém profilu.

Během prací nastává zvýšená prašnost, což je zásadní při práci v tunelech, kde je nutné zajistit odvětrávání prostoru, případně zvolit nějaký jiný způsob ochrany pracovníků. Zároveň od stroje mohou odlétávat jednotlivá zrna kameniva.

Čištění snižuje stabilitu bezstykové koleje, a aby nedocházelo k putování koleje, lze čištění provádět pouze za určitých teplot stanovených předpisem SŽDC S3/2 Bezstyková kolej, a to maximálně o 10 °C nad upínací teplotu a nejvýše však + 33 °C. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost portálovým úsekům koleje, kde mohou být rozdílné teploty kolejnic. [38]

Při výluce je třeba zařídit možnost odstavení čističky s vozy k ní náležící a s vozy s materiálem a s odvozovou soupravou v blízké stanici. Mezi zastávkou Střezimíř a Červený Újezd u Votic se nachází výhybna s užitnou délkou kolejí cca 650 m. Obsazenost kolejí z důvodu čištění a podbíjení je třeba zohlednit ve výlukovém plánu.

Po pročištění lože se odpad odveze a uloží na skládku, případně může být část materiálu vhodná pro zabudování do podkladních vrstev železničního spodku.

Po dokončení čištění musí být doplněno kamenivo do rýhy po vyjmutí těžícího zařízení. Kamenivo nutné pro doplnění do profilu KL bude dovezeno z kamenolomu Votice, který je vzdálený cca 16 km v případě dovozu kamene kolejovou dopravou, neboť má kamenolom vlečku, která lze využít i pro dočasné uskladnění nového materiálu. Kamenolom Votice je vlastníkem Osvědčení o dodávkách do železničních drah ČR v kvalitě třídy kameniva BI s možností dodávat i třídu BII [36]. Následně musí být provedena zpětná montáž všech demontovaných zařízení. Dále proběhne úprava GPK podle kapitoly 7.1.2 (další úprava GPK bude provedena cca po 3 měsících).

7.1.2 Úprava GPK

Geometrické parametry koleje zahrnují konstrukční uspořádání koleje, geometrické uspořádání koleje a prostorovou polohu koleje, které jsou definovány:

- Konstrukční uspořádání koleje: rozchod koleje, vzájemná výšková poloha kolejnicových pásů (převýšení, sklon vzestupnice, zborcení koleje)
- Geometrické uspořádání koleje: směr, podélná výška a podélný sklon koleje
- Prostorová poloha koleje: množina bodů osy koleje jednoznačně určených v projektu polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výšku. Pokud jsou tyto body vztaženy k absolutnímu referenčnímu souřadnicovému systému, jedná se o absolutní polohu koleje (APK).

Na jednotlivých tratích jsou stanoveny cykly úpravy GPK, při které dochází k podbíjení kolejí. Obnova koleje přichází většinou v úvahu cca 6–10 cyklů úpravy GPK a 1–2 čištění KL, cílem je přiblížit životnost KL k životnosti kolejového roštu. Pro hospodárnost je vhodné pročištění udělat ve stejnou dobu jako podbíjení kolejí. [2]

Během provozu koleje dochází ke vznikání provozních odchylek GPK a je třeba je upravovat podbíjením. Normou jsou předepsané maximální hodnoty odchylek a je třeba je dodržet. Provozní odchylky se dělí do jednotlivých mezí, a to AL – mez sledování a IL – mez zásahu, mezní provozní odchylka je IAL – mez bezodkladného zásahu. Při překročení meze sledování je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací. Při překročení meze zásahu je třeba provést udržovací práce tak, aby před další kontrolou nedošlo k překročení mezní hodnoty provozní odchylky. Dle normy ČSN 73 6360-2 [35] jsou odchylky od vybraných GPK uvedeny v tabulce tab. č. 8 a tab. č. 9. V tab. č. 8 a tab. č. 9 jsou uvedeny parametry pro kružnicový oblouk řešený v diplomové práci (pro RP3) a parametry nedostatku převýšení 92 mm a s převýšením 124 mm.

tab. č. 8: Vybrané provozní a mezní provozní odchylky od GPK v kružnicovém oblouku a přechodnici [35]

Mez	RK [mm]	ZR [mm/2m]	RK100 [mm]	PK	
				od projektované hodnoty	-PK Pro max provozní l = 100 mm
AL	+18 -5	4	+16 -3	±16	$l_{projekt}$ - 105
IL	+22 -7	5	+18 -4	±18	$l_{projekt}$ - 108
IAL	+27 -8	6	+20 -5	±20	$l_{projekt}$ - 110

tab. č. 9: Provozní a mezní provozní odchylky od RK v přímé koleji [35]

	AL	IL	IAL
RK [mm]	+10	+15	+20

Pro úpravu GPK bude využitá automatická strojní podbíječka. Podbíječka disponuje podbíjecími pěchy, které vhrnují štěrk kolejového lože pod pražec. V jednom místě z obou stran pražce se do štěrku v mezipražcovém prostoru vtláčí rozvibrované podbíjecí pěchy až pod ložnou plochu pražce a za stálých vibrací pěchy vtlačují štěrk pod pražec. ASP disponuje vlastním nivelačním zařízením a dokáže upravovat směrovou i výškovou polohu koleje. Podbíjení snižuje stabilitu BK, a proto je povoleno podbíjení provádět při teplotě kolejnic max. o 10 °C nad upínací teplotu, nejvýše však + 33 °C. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost na portálové úseky koleje, kde mohou být rozdílné teploty kolejnic. [2, 38]

Před samotnou opravou GPK je nutné posoudit držebnost upevňovadel a celistvost pražců. Práce ASP nesmí začínat a končit v přechodnici.

ASP bude při své práci naváděna daty z absolutní polohy koleje (APK), která je měřena geodetickými metodami v referenčním souřadném systému. Absolutní poloha koleje je měřena vozíčkem, který určuje polohu signálu v koleji a přepočítává podle změřeného rozchodu a převýšení koleje. Měření PPK budou následně porovnána s PPK v projektové dokumentaci, z čehož vyplynou odchylky, které budou dodány obsluze ASP jako soubor obsahující potřebné posuny a zdvihy vztažené ke staničení koleje zároveň s projektovanou trasou koleje s hlavními body (začátek přechodnice, začátek oblouku, začátek zaoblení lomu sklonu atd.). Díky přesným hodnotám posunů a zdvihů je možné uspořádat kolej s nejvyšší přesností. Obsluha ASP během práce kontroluje správnou činnost podbíječky a synchronizuje ujetou vzdálenost podle zajišťovacích značek. Před samotnou prací podbíječky budou vyznačeny body začátku a konce podbíjení (synchronní body pro práci podbíječky jsou vyznačeny na sloupech TV). Pro zvýšení výkonu je možné využít kontinuální ASP s více podbíjecími agregáty, což umožňuje kontinuální práci agregátů bez zastavení podbíječky a podbití více pražců najednou. [2]

Pro přesnější práci ASP je vhodné data z APK zpracovat a optimalizovat s ohledem na minimální nutné zdvihy a posuny v tunelu. Samotná práce podbíjení koleje v tunelu je ztěžována zvýšenou prašností na zúženém prostoru, sníženou viditelností a provozem na vedlejší koleji dvoukolejné trati. Pro dostatečnou přesnost je důležité kontinuální navádění stroje v celé délce jeho práce. Za kontinuální navádění je považováno odesílání informací ohledně PPK každých 5 m, což je důležité zejména u tratí s rychlostním pásmem nad 120 km/h. Pokud je splněno odesílání informací ohledně PPK každých 5 m, jedná se o přesnou metodu, jelikož chyby, které jsou na dráze kratší než 5 m, nezpůsobí překročení povolených odchylek dle normy ČSN 73 6360-2 [35]. Vzhledem k nízkým podélným sklonům v tunelu Mezno není třeba směr práce stroje určit podle sklonu koleje. [2, 35]

Po dokončení práce ASP je potřeba zkontrolovat přesnost úpravy GPK a prostorovou průchodnost v tunelu. Následně musí být kolejové lože doplněno do profilu.

7.2 Moderní konstrukce

Údržba probíhá dotahováním upevňovadel. Úprava GPK probíhá u PJD pouze v uzlu upevnění, a to ve vertikálním a horizontálním směru. Úprava výšky se provádí vkládáním podložek pod patu kolejnice o různé tloušťce, výjimečně lze

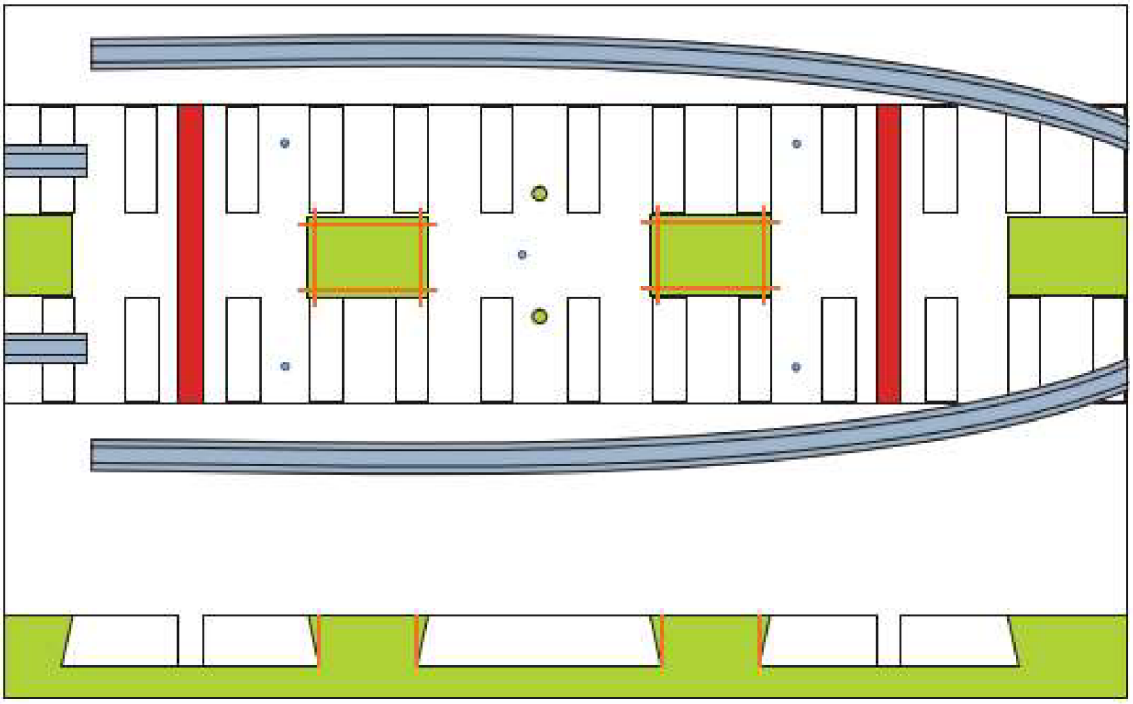
také přistoupit k výměně ocelové roznášecí desky s rozdílnou tloušťkou. Výměnou úhlových vodicích vložek je upravován rozchod koleje v krocích po 1 mm. Konkrétně u upevnění Vossloh 300, lze prostorovou polohu upravit až o – 4 až + 76 mm ve svislém směru a ± 16 mm v příčném směru.

Při použití dat z APK je vhodné data zpracovat a optimalizovat s ohledem na minimální nutné zdvihy a posuny na PJD. [2]

7.2.1 ÖBB PORR

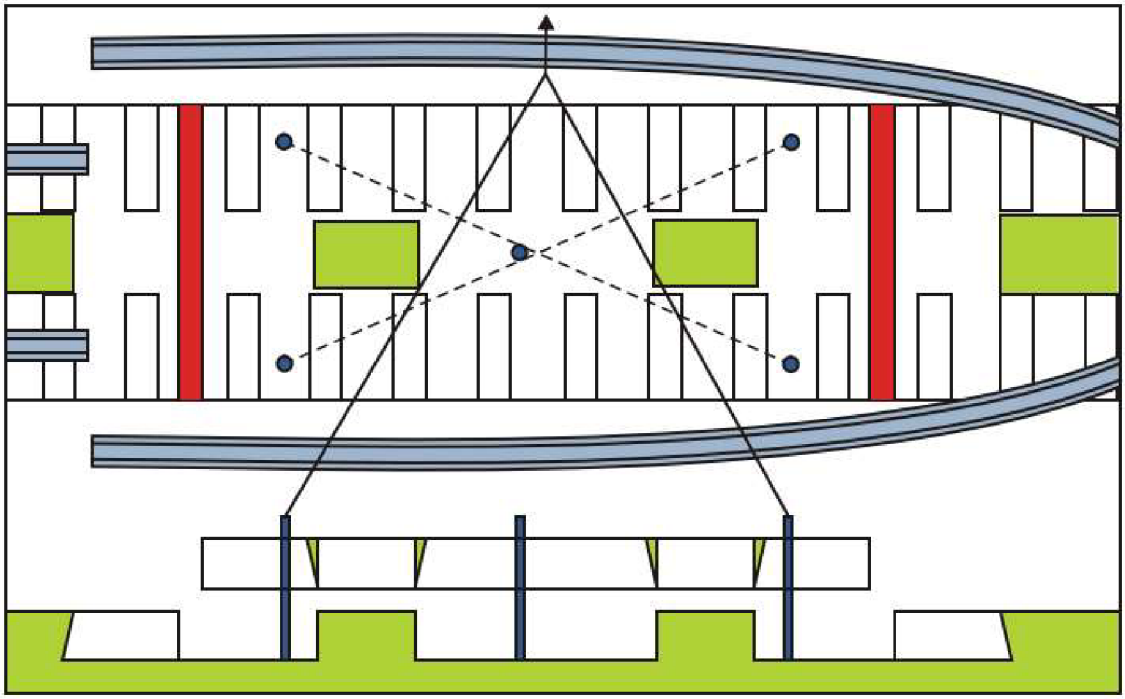
Větší opravy prostorové polohy koleje se realizují pomocí injektáže zálivky pod desku a oprava konstrukce při vykolejení vozidla je možná výměnou poškozených desek.

Díky elastické vrstvě zespodu a uvnitř kónických otvorů desky, není s deskou betonová zálivka pevně spojena. Jediné, co drží desku pevně na místě, jsou betonové čepy v kónických otvorech. Při potřebě vyměnit desku se rozřízne BK, odkloní se kolejnice a následně se vyřízne/odseká betonový čep v otvoru desky (obr. č. 69). [24]

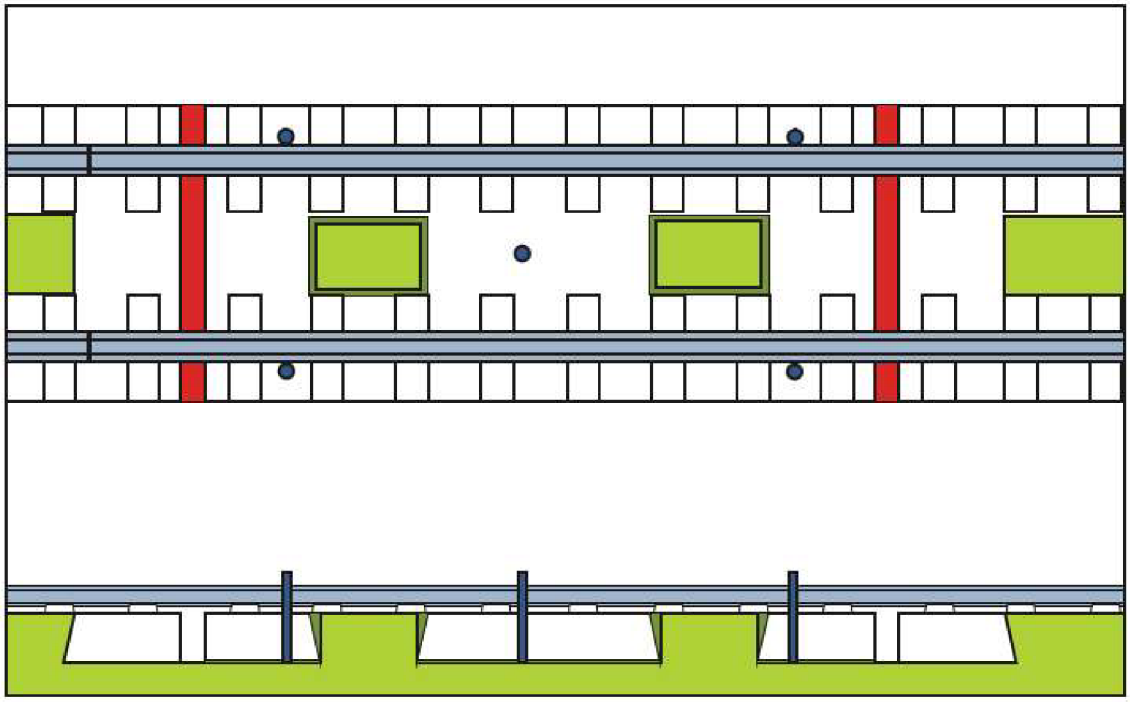


obr. č. 69: Vyříznutí betonu z otvorů desek [24]

V desce jsou již z výroby otvory pro vřetena (otvory jsou označeny modrými body na obr. č. 70). Po vložení těchto vřeten do otvorů lze desku zvednout a ustavit do požadované polohy (obr. č. 70) (nebo celou desku vyměnit za novou) a vzniklý prostor po zvednutí desky zainjektovat samozhutnitelným betonem (obr. č. 71). [24]



obr. č. 70: Zvedání desky pomocí rektifikačních šroubů [24]

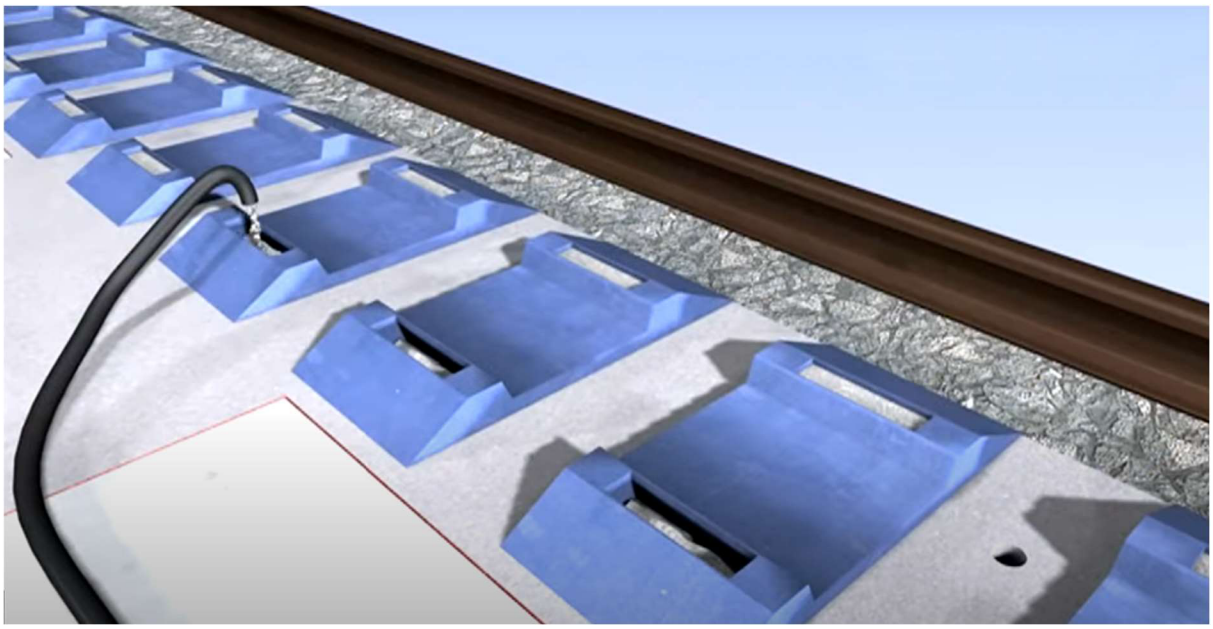


obr. č. 71: Doplnění potřebného množství samozhutnitelného betonu [24]

Celková výměna/úprava nosné desky může proběhnout během tří až čtyř hodin. [24]

Při vykolejení vlaku, kdy dojde k poškození integrovaných kolejnicových podpor kolem uzlu upevnění, bude přerušena BK, odkloní se kolejnice, demontuje se drobné kolejivo. Následně se nasadí příložné formy, dobetonují se kolejnicové

podpory a po vytvrzení betonu se forma demontuje, vrátí se podložky pod patu kolejnice, znovu se připevní kolejnice a budou svařeny do BK dle kapitoly 6.3 a konstrukce je plně schopna opětovného provozu (obr. č. 72). [37]



obr. č. 72: Formy pro obnovu integrovaných kolejnicových podpor [37]

7.2.2 Rheda 2000

Větší opravy GPK a polohy nosné desky PJD lze jen za velmi rozsáhlých stavebních prací, neboť u tohoto typu konstrukce musí dojít k rozbití celé monolitické desky (její části) a její kompletní obnově.

7.3 Reprofilace kolejnic

Pokud dojde ke změně příčného profilu hlavy kolejnice anebo vadám pojížděných ploch hlav kolejnic, může docházet ke zvýšenému opotřebení pojížděných ploch kol a kolejnic, zvýšenému hluku a vibrací a také snižování životnosti jednotlivých součástí železničního svršku, spodku a GPK. Zatřídění všech běžně se vyskytujících vad je uvedeno v katalogu v předpisu SŽ S3/7 [39], kde jsou uvedeny základní údaje o vadě, příčina vzniku a možnost rozvoje vady. Jednotlivé vady lze zařadit do kategorií A, B, C a D. Dle kategorie vady je třeba učinit příslušná opatření, aby byla zajištěna bezpečnost a provozuschopnost dráhy.

Reprofilace je činnost, při které dochází k opracování pojížděných ploch hlavy kolejnice pro zlepšení geometrie. Reprofilace se dělí na základní a opravnou. Opravná opravuje příčný a podélný profil pojížděných ploch kolejnic, tzn. dojde k odstranění vlnkovitosti, skluzových vln, převalků a jiných deformací.

Před započetím samotných prací je třeba zjistit rozsah a stav vad kolejnic příslušnými diagnostickými prostředky. Pokud se zjistí takové vady, které by se mohly po reprofilaci dále rozvíjet, dojde k jejich opravě nebo výměně části kolejnice. Práce může probíhat bez napěťové výluky a bez omezení provozu na vedlejší koleji. Na úseku řešeném v diplomové práci bude použito speciálního vozidla, tzv. strojní reprofilaci. Strojní reprofilace může probíhat broušením, hoblováním, či frézováním. Broušení dle principu může být rotační, oscilační anebo vysokorychlostní. Frézování a hoblování bude použito v případě větší potřeby úběru materiálu. Během samotné práce je potřeba dbát na vliv na okolí, jelikož vlivem odlétajících špon a jisker může dojít ke vznícení suchých porostů v okolí dráhy, poškození hmotného majetku cizích osob nebo zranění osob např. na nástupištích. V tunelech dochází po broušení kolejnic ke znečištění profilu tunelu a může způsobit zanesení odvodnění případně poškození některých konstrukcí (např. elektrická vedení apod.).

Pro zvýšení prodloužení životnosti železničního svršku a snížení nákladů na údržbu a výměnu kolejnic bude využíváno pravidelné reprofilace. Plánování další reprofilace je stanoveno podle uplynutí určitého časového úseku nebo dosažení předem definovaných parametrů příčného a podélného profilu a rozvoje vady headcheck (kontaktně únavová vada – šikmé trhlinky v pravidelných vzdálenost, tvořící se v místě na pojížděné hraně nebo v oblasti mezi TK a pojížděnou hranou). [2, 41]

7.4 Údržba bezstykové koleje

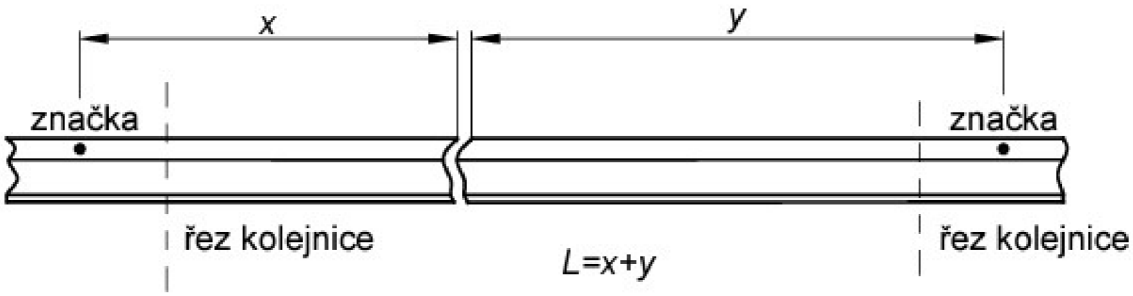
Mezi poruchy bezstykové koleje patří zejména ztráta stability kolejového roštu, kdy může dojít k příčnému nebo svislému vybočení. Při zvýšení teploty dojde ke zvýšení tlakových sil, a tak je kolej namáhána vzpěrným tlakem. Ke ztrátě stability může dojít, pokud nebyly dodrženy zásady zřizování, provozování a údržby. Ke změně PPK může také dojít při změně vodního režimu (podmáčení nebo dlouhodobé sucho) anebo při nestabilním podloží trati. [1]

Pro udržovací práce, jako je čištění KL, úprava GPK anebo výměna pražců, kdy dochází ke snižování stability BK, je nejvhodnější volit období s co nejmenším výkyvem teplot během dne anebo v období s teplotou přibližující se k upínací teplotě. Práce, které snižují stabilitu BK, jsou povoleny při teplotě kolejnic max. o 10 °C nad upínací teplotu, nejvýše však + 33 °C. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost portálovým úsekům koleje, kde mohou být rozdílné teploty kolejnic. Vzhledem ke snížení stability BK během údržbových prací se předpokládá doba konsolidace 10 dní bez hutnění nebo homogenizace anebo 4 dny při dynamické homogenizaci (uvedeno pro IV. řád koleje) pro opětovné dosažení stability. Pokud

se po pracích snižujících stabilitu výrazně zvýší teplota o více jak 10 °C je nutné omezit rychlost vlaků na 50 km/h po dobu konsolidace. [38]

Při výrazném poklesu teplot dochází k tahovému namáhání a může dojít i k lomu kolejnice v místech metalurgických nebo jiných vad. Oproti vybočení nemá většinou lom kolejnice katastrofální následky v podobě vykolejení vozidla. Na tratích se zabezpečovacím zařízením s kolejovými obvody lze lom kolejnice rychle identifikovat, předběžně opravit kolejnicovými spojkami a naplánovat jeho definitivní opravu. [1, 2, 39]

Po zjištění lomu kolejnice se musí zajistit držebnost upevňovadel v délce alespoň 30 m na každou stranu od lomu kolejnice. Vzhledem k zabezpečovacímu zařízení s kolejovými obvody a kvůli zpětnému vedení trakčního proudu je třeba zajistit náhradní vodivé propojení kolejnic. Oprava lomu probíhá vyříznutím části kolejnice a nahrazení kolejnicovou vložkou o stejné délce. Pro zajištění stejné délky kolejnice budou na původní, lomem poškozenou, kolejnici vyznačeny značky po obou stranách vady ve vzdálenosti měřené na celé metry (obr. č. 73). Po definitivní opravě musí být vzdálenost mezi značkami stejná jako před opravou. Minimální délka kolejnicové vložky po definitivní opravě musí být 10 m (pro trať s rychlostí nad 120 km/h). [38]



obr. č. 73: Umístění značek pro opravu lomu kolejnice [38]

7.5 Výměna kolejnic a pražců

Před výměnou kolejnic je třeba zjistit jejich délku a výšku pro navázání na přilehlý úsek s ojetými kolejnicemi. Je třeba odstranit materiál nad horní plochou pražců, případně desek po celé délce vyměňované kolejnice, očištění upevňovadel a případné namazání závitů nad maticemi. Dále je nutné demontovat části zabezpečovacího zařízení volně ležící v koleji.

Při opotřebení kolejnic dojde k jejich výměně za nový materiál. Při výměně kolejnic také musí dojít k výměně opotřebovaného drobného kolejiva a zejména k výměně podložek pod patu kolejnice. Nejvyšší dovolené ojetí je u kolejnic 60 E2

pouze ve svislém směru 20 mm. Při současném svislém i bočním ojetí, je největší dovolené svislé ojetí 14 mm a boční 18 mm [30].

7.5.1 Výměna kolejového roštu v klasické konstrukci

Pokud dochází k výměně pražců, je třeba nejprve strojní čističkou odtěžit část kolejového lože kvůli práci obnovovacího stroje SMD.

Nové kolejnicové pasy délky 75 m budou dovezeny na plošinových vozech a budou staženy pomocí dvoucestného rypadla a uloženy doprostřed koleje. Na konec soupravy bude umístěna „skluzavka“, která zabraňuje poškození kolejnic při pádu z výšky a případné poškození nosné desky PJD. Následně budou tyto kolejnicové pásy z prostředka koleje dvoucestným rypadlem přesunuty za hlavy pražců.

Pomocí obnovovacího stroje SMD 80 bude obnoven kolejový rošt. Tento stroj kontinuálně mění pražce i kolejnice. Strojem SMD jsou tlačeny vozy s novými pražci (nové pražce mají upevňovadla v předmontážní poloze a vrtule bude ošetřena předepsaným mazacím prostředkem), které si stroj odebírá pomocí portálového jeřábu a vkládá do nové koleje. Při demontáži původních kolejnic vzniká prostor pro vkládání těchto nových pražců a ukládání nových kolejnic, které odebírá z poza hlav pražců, kam byly předtím uloženy dvoucestným rypadlem a ukládá je na úložné plochy pražců. Stroj SMD v přední části jede po starém kolejovém roštu a zadní části již po nových kolejnicích. Původní pražce jsou strojem nakládány na plošinové vozy, na nichž je prostor vedle pražců nových, a původní kolejnice jsou umisťovány za hlavy pražců, odkud budou následně odvezeny na meziskládku.

Pro práci stroje je předem potřeba mít demontované upevnění na původním kolejovém roštu. Demontáž upevňovadel spočívá v povolení vrtulí a posunutí svěrek do předmontážní polohy. Aby nedošlo k případnému vybočení koleje, není vhodné povolit kolej po celé délce, ale například na každém pátém pražci upevnění nechat utažené a povolovat až těsně před strojem SMD, který kolejnice demontuje.

Před usazením kolejnic na úložnou plochu pražce je třeba zkontrolovat, zdali je tato plocha čistá a případně ji očistit (při práci stroje může docházet k odletu zrn kameniva a tato zrna se mohou dostat i na úložné plochy pražců).

Následně za strojem dojde k dotažení upevnění pomocí strojní zatáčečky. Dotažení upevňovadel probíhá podle SŽDC S3, díl VI, a to utahovacím momentem 180 – 220 Nm, maximálně 220 Nm [30]. Po montáži je požadováno dosednutí středního ramene svěrky do lůžka plastové vodicí vložky.

Nové kolejnice budou svařeny do BK dle kapitoly 6.3. Nakonec dojde ke zpětné montáži částí zabezpečovacího zařízení do původní polohy a proběhne kontrola správnosti montáže a nastavení. Zpětnou montáž musí provádět osoba, která má požadovanou kvalifikaci a oprávnění.

7.5.2 Výměna kolejnic na PJD

Nové kolejnicové pasy délky 75 m budou dovezeny na plošinových vozech a budou staženy pomocí dvoucestného rypadla a uloženy doprostřed koleje. Na konec plošinového vozu bude umístěna „skluzavka“, která zabraňuje poškození kolejnic při pádu z výšky a případné poškození nosné desky PJD.

Bezstyková kolej se rozřeže podle příslušných článků SŽDC S3/2 [38]. K dělení BK se použije rozbrušovací motorová pila. Kolejnice budou rozděleny přímočarým řezem.

Demontáž upevňovadel spočívá v povolení vrtulí a posunutí svěrek do předmontážní polohy. Aby nedošlo k případnému vybočení koleje, není vhodné povolit kolej po celé délce, ale například na každém pátém pražci upevnění nechat utažené. Kompletní demontáž upevňovadel proběhne těsně před výměnou konkrétního kolejnicového pasu dvoucestným bagrem. [2]

Výměna kolejnic bude realizována pomocí dvoucestného bagru, který původní kolejnice posune za hlavy pražců. Následně dojde k výměně podložek pod patu kolejnice, k očištění ložné plochy pražců a přípravě nových částí drobného kolejiva. Poté dvoucestný bagr umístí novou kolejnici, která je uložena uprostřed koleje, na úložnou plochu a dojde k prozatímnímu sespojkování kolejnic jejich upevnění. Dvoucestný bagr postupně jede vpřed po nových kolejnicích a současně je ukládá do požadované polohy. [2]

Dotažení upevňovadel probíhá strojními zatáčečkami podle SŽDC S3, díl VI, a to utahovacím momentem 180 – 220 Nm, maximálně 220 Nm (pro upevnění W 14 i Vossloh 300) [30].

Nové kolejnice budou svařeny do BK dle kapitoly 6.3. Nakonec dojde ke zpětné montáži částí zabezpečovacího zařízení do původní polohy a proběhne kontrola správnosti montáže a nastavení. Zpětnou montáž musí provádět osoba, která má požadovanou kvalifikaci a oprávnění.

Nakonec proběhne nakládka a odvoz původních kolejnic.

7.6 Údržba tunelů

Běžná údržba tunelů musí zajistit provozuschopnost tunelu, bezpečnost a plynulost železničního provozu. Cílem údržby je odstranění drobných závad nebo poruch, které vznikají provozem nebo působením přírodních vlivů.

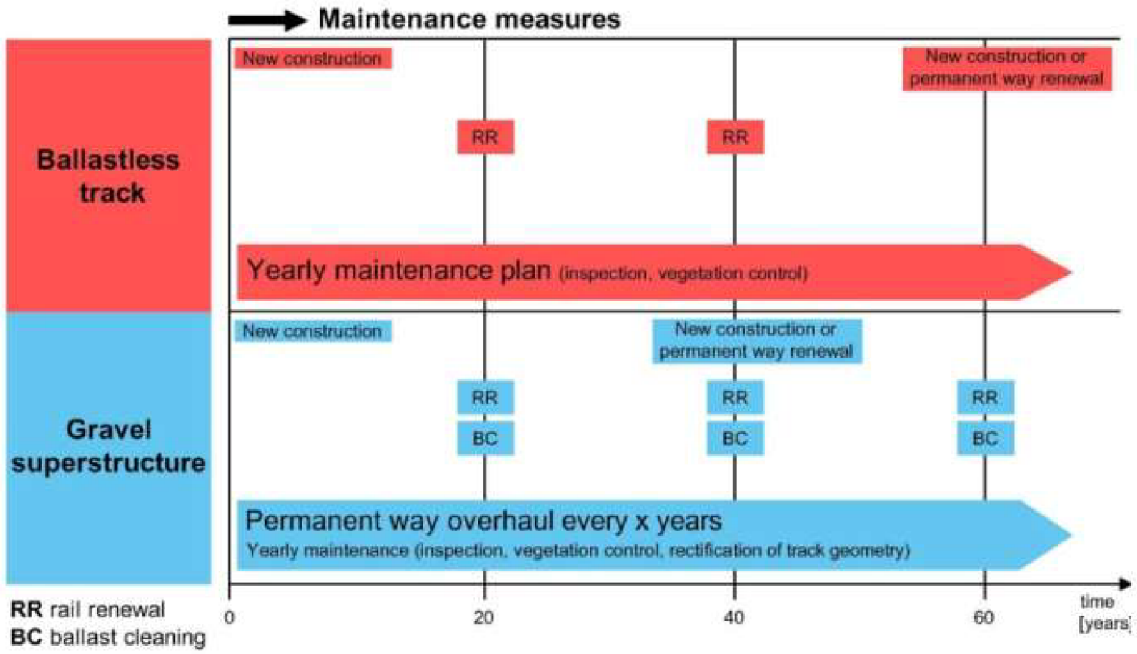
Do údržby tunelů patří zejména: čištění odvodňovacích zařízení včetně portálů a zářezů před tunelem; čištění bezpečnostních výklenků; odstraňování vegetace v okolí portálů; sanace a spárování trhlin v malém rozsahu; obnova nátěrů, nápisů a značek; čištění a zabezpečení přístupových cest. [15]

8 Vyhodnocení porovnání různých konstrukcí železničního svršku

8.1 Porovnání PJD s klasickou konstrukcí

Konstrukce pevné jízdní dráhy má oproti klasické konstrukci s kolejovým ložem 1,5 – 2,0násobně vyšší investiční náklady, které se ale v průběhu let mohou vrátit nižší náročností na údržbu, delší životností a při použití v novostavbě tunelu také díky menší velikosti výrubu. PJD má stabilnější geometrickou polohu koleje, protože nedochází ke znečišťování a postupné degradaci kolejového lože, a tak odpadá podbíjení i čištění KL, které je obzvlášť v tunelové konstrukci ztěžováno zvýšenou prašností a sníženou viditelností. Jednoduchá oprava prostorové polohy (v příčném i svislém směru) koleje probíhá u PJD pouze v uzlu upevnění. Díky jednoduchým opravám GPK se snižuje čas výluk a zvyšuje se využitelnost trati. V případě vykolejení na PJD jsou však nutné rozsáhlé opravné práce. Vzhledem k stabilnějším GPK vykazuje PJD zvýšený komfort a bezpečnost cestování. Z hlediska dostupnosti kameniva je PJD vhodným řešením, neboť na kvalitu kameniva do betonu nejsou tak přísné požadavky jako na kamenivo pro zabudování do kolejového lože. [1, 2, 3, 4]

Při dodržení základních požadavků na PJD je její životnost odhadována na cca 60 let a měla by být po celu dobu v podstatě bezúdržbová a odpadají tak i zvýšené náklady na inspekční činnost (obr. č. 74). [29]



obr. č. 74: Životnost koleje s KL a PJD [29]

Na PJD jsou kladeny daleko vyšší nároky z hlediska přesnosti výstavby, neboť v případě vytvrzení betonu jsou případné dodatečné úpravy velmi finančně náročné, složité, anebo nemožné. Z důvodu zvýšených nároků na přesnost bývá výstavba oproti výstavbě kolejového lože časově náročnější. Vzhledem k časové náročnosti realizace, není vhodné tuto konstrukci vytvářet na stávajících úsecích při výlukách, ale v případě novostaveb se jeví jako velmi zajímavé řešení.

PJD je vhodná zejména pro dlouhé tunely, kde je při použití speciálních panelů možné pojíždění automobily, a tak je i zajištěn případný příjezd složek integrovaného záchranného systému. Tyto panely lze používat i pro klasickou konstrukci, ale vzhledem ke snížené stabilitě GPK a jejím častějším úpravám pomocí podbíjení, by se tyto panely musely demontovat pro údržbu KL a následně opět montovat, což je časově i finančně náročné. Příkladem jsou panely BRENS-ACCESS (obr. č. 75), které lze montovat na PJD (ÖBB-PORR, Rheda 2000) i KL (pro libovolné typy příčných pražců), podmínkou je pouze dodržení rozdělení pražců nebo upevňovacích uzlů 600 nebo 650 mm, kolejnice typu UIC 60 a normální rozchod 1435. [1, 2, 19]

obr. č. 75: Panely BRENS-ACCESS [19]

Nevýhodou u PJD je omezené použití monitorování kolejnic ultrazvukem, kvůli výztuži v betonové desce.

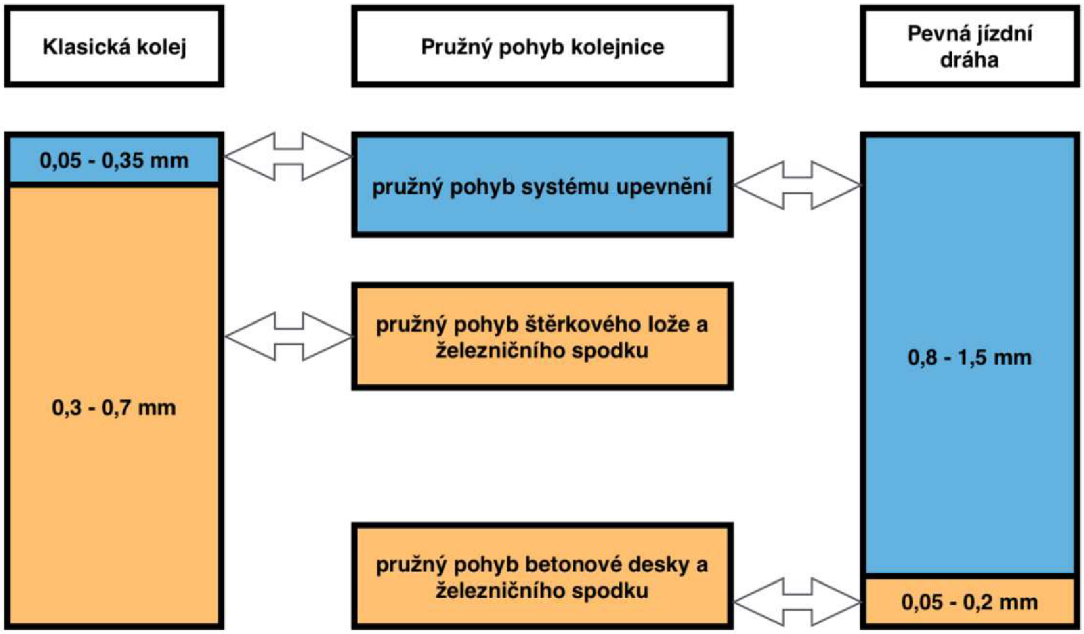
PJD se jeví se vhodná zejména pro vysokorychlostní tratě a tratě s vyšším zatížením, kdy se s rostoucí rychlostí a zatížením zvedají náklady na údržbu kolejového roštu. Zároveň při vyšších rychlostech z důvodu aerodynamického

proudění dochází k odletu zrn kameniva a následně tak dochází k poškozování pojížděných hran kolejnic a kol.

PJD také umožňuje zvýšit převýšení o 25 %, což může vést ke zmenšení poloměru oblouků koleje, a tím ke zlepšení průchodnosti tratě terénem, menším zásahům do krajiny a menší potřebě umělých staveb. U KL je oproti PJD omezená hodnota příčného odporu. PJD má ve srovnání s klasickou konstrukcí vyšší příčný odpor, což umožňuje využití vyšších hodnot nedostatku převýšení. [2]

Oproti KL má PJD téměř konstantní tuhost, neboť je na rozdíl od KL rovnoměrně podepřena. Díky vyšší příčné tuhosti PJD je také možné používat elektromagnetickou brzdu s vířivými proudy bez omezení. Tyto brzdy způsobující zahřátí kolejnic, které u KL může vést k vybočení koleje. U PJD je třeba také nainstalovat uzemňovací prvky.

Pružnost je u klasické konstrukce zajištěna převážně kamenivem. U pevné jízdní dráhy je pružnost a tlumení vibrací přenášených do podloží zajištěno systémem upevnění a pružných rohoží vkládaných pod samotnou konstrukci PJD. Některé typy PJD (ÖBB-PORR) mají komponenty se zabudovanými pružnými částmi. Vzhledem k rovnoměrnému uložení PJD je pružnost a tlumení vibrací přenášených do podloží zajištěna lépe než u nepravidelně podloženého KL. Celkový pokles je volen u PJD podobně jako u KL, a to pružný pokles cca 1,5 mm při zatížení na nápravu 22,5 t. Na obr. č. 76 je zobrazeno srovnání podílů na celkové pružnosti KL a PJD. [12, 13]



obr. č. 76: Srovnání podílů na celkové pružnosti koleje u KL a PJD [13]

Konstrukce PJD se vyznačuje zvýšenou hlučností, neboť hladká betonová plocha desky hluk odráží, zatímco členitý povrch kolejového lože hluk částečně pohlcuje. Zvýšený hluk na PJD je znát jak ve vnějším prostředí, tak uvnitř vlaku. Pro snížení nežádoucích účinků hluku je třeba přidat technická opatření jako např. osazení absorbérů na kolejnice. Některé typy absorbérů usazených do koleje zajistí snížení hlučnosti na úroveň hlučnosti klasické konstrukce.

Při použití PJD na zemním tělese (v předportálové oblasti), je nutné, aby bylo těleso dostatečně konsolidované, musí být proveden dokonalý geotechnický průzkum, rozsáhlá geodetická měření a sledování při stavbě. Konstrukční vrstva musí být provedena tak, aby byla schopna dostatečně přenášet zatížení. Po délce musí být zemní těleso dostatečně homogenní a sednutí zemního tělesa nesmí být významnějšího charakteru. Díky pevnému podkladu, který běžně nemá, nebo má velmi malé sedání, je konstrukce tunelu ideální jako podklad pro PJD.

Na rozhraní PJD a KL je třeba zřídit přechodovou oblast ŽSv kvůli rozdílným tuhostem konstrukce. Přechodovou oblastí se blíže zabývá kapitola č. 2.2.4. Při použití PJD v tunelu Mezno musí být dáván velký důraz na provedení přechodové oblasti v oblouku nebo musí být samotná PJD prodloužena o cca 1 km, aby mohla být přechodová oblast umístěna v přímé koleji. Při prodloužení části PJD mimo kružnicový oblouk je konstrukce umístěna na zemním tělese, kde je nutné dávat velký důraz na konsolidaci podloží. Umístění přechodové oblasti železničního svršku do kružnicového oblouku je podmíněno omezenou hodnotou nedostatku převýšení, a to l_{max} = 130 mm, což řešený kružnicový oblouk splňuje, a tak bude v řešeném úseku přechodová oblast umístěna právě do oblouku.

V příloze A je zobrazen příčný řez tunelu s klasickou konstrukcí kolejového lože. V příloze B je zobrazen typ pevné jízdní dráhy ÖBB-PORR. Konstrukční výška porovnávaných typů PJD je cca stejná, a tak nebyl vytvářen příčný profil pro oba typy. Rozdíl velikosti konstrukce tunelu vzhledem k použité konstrukci železničního svršku je vyobrazen v příloze B červenou barvou. Rozdíl velikosti výrubu při použití KL a ÖBB-PORR je cca 3 m^2, což je při délce tunelu 680 m celkem 2040 m^3, což je pro představu krychle o velikosti hran cca 13 m. [6]

Shrnutí porovnání klasické konstrukce a pevné jízdní dráhy je uvedeno v tab. č. 10.

tab. č. 10: Shrnutí porovnání KL a PJD

	Výhody	Nevýhody
Klasická konstrukce	• nižší náklady na výstavbu • nižší hlučnost • dlouholetá zkušenost • ověřené technologie • kratší doba výstavby • není potřeba přechodová oblast železničního svršku	• vyšší náklady na údržbu • nutnost čištění KL • nižší stabilita GPK • nutnost podbíjení • prašnost při údržbě • nižší životnost (cca 40 let) • vyšší potřeba výluk kvůli údržbě • vysoké požadavky na kvalitu kameniva • vyšší konstrukční výška • vyšší konstrukční hmotnost • poškozování pojížděných ploch kolejnic a kol odlétajícími zrny kameniva • větší výrub tunelu
Pevná jízdní dráha	• nižší náklady na údržbu • vyšší stabilita GPK • vyšší životnost (cca 60 let) • vyšší komfort jízdy • vyšší bezpečnost • téměř konstantní tuhost • nižší míra vibrací přenášených do podloží • nízká konstrukční výška • nízká konstrukční hmotnost • jednoduchá a rychlá oprava GPK • menší potřeba výluk kvůli údržbě • možnost zřídit větší převýšení • menší výrub tunelu • při použití speciálních panelů možnost pojíždění konstrukce automobily	• vyšší náklady na výstavbu • vyšší hlučnost (její hlučnost lze snížit na úroveň hlučnosti KL pomocí protihlukových opatření) • náročnější větší opravy konstrukce • časově náročná výstavba • vyšší požadavky na přesnost výstavby • nutnost přechodové oblasti svršku v oblouku nebo nutné prodloužení PJD o cca 1 km, aby byla přechodová oblast umístěna v přímé

8.2 Porovnání PJD

Vzhledem k použití konstrukce PJD v tunelu je rozhodující zejména konstrukční výška, která je u obou srovnávaných typů cca stejná.

Konstrukce ÖBB-PORR nabízí jednodušší rektifikaci pomocí pěti rektifikačních šroubů, a tím i rychlejší výstavbu. Ale zároveň je u tohoto typu PJD

potřeba těžší mechanizace, kvůli vysoké hmotnosti konstrukčních prvků – nosných desek PJD.

Úprava GPK může být v malé míře provedena v uzlu upevnění. U ÖBB-PORR lze větší úpravy GPK realizovat dodatečnou změnou polohy desky, což je u typu Rheda 2000 možné pouze za rozsáhlých stavebních úprav.

ÖBB-PORR je konstrukce s dvojí pružností (pružný uzel upevnění a pružná vrstva na desce), která potlačuje přenos vibrací do okolí a také snižuje přenos strukturálního hluku. U konstrukce typu Rheda 2000 je pružnost zajištěna pouze v uzlu upevnění. Pro zvýšení pružnosti na tuhém podkladu dna tunelu je u obou typů PJD vhodné použít antivibrační rohož.

V případě poškození konstrukce PJD např. při vykolejení, je u ÖBB-PORR oproti Rheda 2000 jednodušší oprava poškozených částí.

Shrnutí porovnání ÖBB-PORR a Rheda 2000 je uvedeno v tab. č. 11.

tab. č. 11: Srovnání typů PJD

	Výhody	Nevýhody
ÖBB-PORR	• nižší míra vibrací přenášených do podloží/konstrukce tunelu • kratší doba výstavby • jednoduchá oprava/výměna desek v případě poškození konstrukce • možnost úpravy GPK v uzlu upevnění a změnou polohy desky	• složitější manipulace s cca 5 t nosnou deskou • nutnost těžší mechanizace • riziko vzniku dutin pod deskami během betonáže
Rheda 2000	• jednodušší manipulace s pražci o hmotnosti 194 kg • malé riziko vzniku dutin během betonáže	• vyšší míra vibrací přenášených do podloží/konstrukce tunelu • delší doba výstavby • složitá oprava v případě poškození konstrukce • možnost úpravy GPK pouze v uzlu upevnění

9 Závěr

Bylo provedeno srovnání konstrukcí železničního svršku v návaznosti na nově stavěnou tunelovou konstrukci. Byly porovnány technologie výstavby a údržby klasické konstrukce s kolejovým ložem a dvěma typy pevné jízdní dráhy, a to typem ÖBB-PORR a Rheda 2000. V diplomové práci je také řešeno, jak by se změnila konstrukce tunelu, v případě použití jiné konstrukce železničního svršku nežli klasické konstrukce. Pro konkrétní porovnání byla využita stavba tunelu Mezno. Práce se zabývá řešením při využití soustavy svršku UIC 60.

Po zhodnocení variant bylo vybráno použití pevné jízdní dráhy v tunelu Mezno, zejména díky její snadné údržbě. Konkrétně byl vybrán typ ÖBB-PORR, který se jeví z dvou porovnávaných variant PJD jako výhodnější z hlediska rychlosti výstavby, jednoduchosti případných oprav a menšího přenosu vibrací do podloží/konstrukce tunelu. Pro kompletní zhodnocení vhodnosti konstrukce železničního svršku je třeba vypracovat finanční srovnání obou variant. Finanční srovnání není součástí této diplomové práce.

10 Seznam obrázků

obr. č. 1: Základní části konstrukce koleje 15
obr. č. 2: Křivka zrnitosti kameniva KL [16] 16
obr. č. 3: Antivibrační rohož pod KL v tunelu [21] 18
obr. č. 4: Maximální projektovaná výška kolejového lože [10] 20
obr. č. 5: Dvoukolejná trať bez převýšení [10] 20
obr. č. 6: Dvoukolejná trať s převýšením s bezstykovou kolejí [10] 20
obr. č. 7: Tvar KL bez odsazení osy tunelu od osy os pro D=0 - 100 mm [14] 21
obr. č. 8: Tvar KL s odsazením osy tunelu od osy os pro D=101 - 160 mm [14] 22
obr. č. 9: Šířka konstrukce PJD [2] 24
obr. č. 10: Hlavní části pevné jízdní dráhy [12] 24
obr. č. 11: Konstrukce pevné jízdní dráhy bez pražců a s pražci (na zemním tělese) [2] 25
obr. č. 12: Upevnění Vossloh 300 [8, 18] 27
obr. č. 13: Celoplošné antivibrační podložky [21] 28
obr. č. 14: Pásové antivibrační podložky [21] 28
obr. č. 15: Bodové antivibrační podložky [21] 29
obr. č. 16: Plovoucí jízdní dráha [33] 29
obr. č. 17: Úprava konce ztužujících kolejnic [20] 31
obr. č. 18: Příčný řez konstrukcí ÖBB PORR [24] 33
obr. č. 19: Půdorys základní kolejové desky ÖBB-PORR [24] 34
obr. č. 20: Otvor pro šachtu v nosné desce [24] 34
obr. č. 21: Základní kolejová deska ÖBB-PORR s elastickou vrstvou [26] 35
obr. č. 22: Jednokolejný tunel s nosnou deskou ÖBB-PORR [24] 35
obr. č. 23: Železobetonové koryto na elastických podložkách [24] 36
obr. č. 24: Blokové výstupky v podkladním betonu [24] 36
obr. č. 25: Elastomerové podložky [24] 37
obr. č. 26: ÖBB-PORR na zemním tělese [24] 38
obr. č. 27: Přechodová oblast ÖBB-PORR [24] 38
obr. č. 28: Přechodová oblast ÖBB-PORR [24] 39
obr. č. 29: Přechodová oblast ÖBB-PORR [20] 39
obr. č. 30: Konstrukce Rheda 2000 v přímé [2] 40
obr. č. 31: Pražec B355.1 [23] 40
obr. č. 32: Rozměry pražce B355.1 [1] 41
obr. č. 33: Rheda 2000 v převýšení s vyrovnávací vrstvou [28] 41
obr. č. 34: Rheda 2000 v převýšení bez vyrovnávací vrstvy [28] 42
obr. č. 35: Výplňový beton mezi jednotlivými kolejemi [29] 42
obr. č. 36: Bodové podepření konstrukce Rheda 2000 [28] 43
obr. č. 37: Přechodová oblast konstrukce Rheda 2000 [20, 22] 43
obr. č. 38: Přechodová oblast mezi konstrukcí Rheda 2000 a klasickou konstrukcí [20, 22] 44
obr. č. 39: Přechodový pražec pro konstrukci Rheda 2000 [20] 44
obr. č. 40: Podkovovitý průřez a názvy částí výrubu a ostění [45] 46
obr. č. 41: Kruhový průřez a názvy částí výrubu a ostění [45] 46
obr. č. 42: Minimální hranice přiblížení stavby k TV [47] 47
obr. č. 43: Vzdušné vzdálenosti od TV v tunelu běžného profilu [47] 48
obr. č. 44: Orientační pásy [51] 49
obr. č. 45: Sdružený tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať v přímé a v oblouku o poloměru R≥300 m [45] 51

obr. č. 46: Tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať v přímé a v oblouku o poloměru R≥300 m [45] 51
obr. č. 47: Poloha tunelu Mezno [42] 59
obr. č. 48: Geologická mapa v lokalitě Mezno [43] 60
obr. č. 49: Příklad použití podštěrkové AVR [11] 62
obr. č. 50: Podélná výztuž [34] 67
obr. č. 51: Pokládka kari sítí [34] 68
obr. č. 52: Ocelový plech na distančníku [34] 68
obr. č. 53: Pokládka desek PJD automobilovým jeřábem [34] 69
obr. č. 54: Zajištění dilatační spáry mezi deskami PJD [34] 69
obr. č. 55: Ukládání kolejnic [34] 70
obr. č. 56: Dotažení rektifikačních šroubů a kontrola polohy koleje [34] 71
obr. č. 57: Armatura v otvorech desky [34] 71
obr. č. 58: Osazení bednění a jeho utěsnění [34] 72
obr. č. 59: Kontrola přesné polohy koleje [24] 73
obr. č. 60: Betonáž desky [24] 74
obr. č. 61: Osazení plastových krytek do otvorů [34] 74
obr. č. 62: Ochranný asfaltový pás [34] 75
obr. č. 63: Kolejový rošt konstrukce typu Rheda 2000 [23] 76
obr. č. 64: Aretační vřeteno [13] 77
obr. č. 65: Zabetonovaná nosná deska (vlevo) a zhotovená roznášecí vrstva (vpravo) [23] 78
obr. č. 66: Stmelení předštěrkované přechodové oblasti [23] 79
obr. č. 67: Přechodová oblast [23] 79
obr. č. 68: Stmelená část kolejového lože v přechodové oblasti [23] 80
obr. č. 69: Vyříznutí betonu z otvorů desek [24] 87
obr. č. 70: Zvedání desky pomocí rektifikačních šroubů [24] 88
obr. č. 71: Doplnění potřebného množství samozhutnitelného betonu [24] 88
obr. č. 72: Formy pro obnovu integrovaných kolejnicových podpor [37] 89
obr. č. 73: Umístění značek pro opravu lomu kolejnice [38] 91
obr. č. 74: Životnost koleje s KL a PJD [29] 95
obr. č. 75: Panely BRENS-ACCESS [19] 96
obr. č. 76: Srovnání podílů na celkové pružnosti koleje u KL a PJD [13] 97

11 Seznam tabulek

tab. č. 1: Druh kameniva dle řádu koleje [10] 16
tab. č. 2: Vlastnosti nového kameniva dle třídy jakosti [16] 17
tab. č. 3: Tloušťka KL vzhledem ke kategorii trati a typu použitého pražce [10, 32] 19
tab. č. 4: Minimální požadovaná únosnost a míra zhutnění [12] 25
tab. č. 5: Minimální hodnoty modulů přetvárnosti v přechodových oblastech ŽSp 32
tab. č. 6: Vzdušné vzdálenosti od TV [47] 47
tab. č. 7: Směrové poměry koleje v tunelu Mezno [44] 60
tab. č. 8: Vybrané provozní a mezní provozní odchylky od GPK v kružnicovém oblouku a přechodnici [35] 85
tab. č. 9: Provozní a mezní provozní odchylky od RK v přímé koleji [35] 85
tab. č. 10: Shrnutí porovnání KL a PJD 99
tab. č. 11: Srovnání typů PJD 100

12 Seznam příloh

A Schéma příčného řezu tunelu Mezno s kolejovým ložem [44]

B Schéma příčného řezu tunelu Mezno s pevnou jízdní dráhou typu ÖBB-PORR

13 Literatura

[1] PLÁŠEK, Otto. Železniční stavby: železniční spodek a svršek. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2620-9.

[2] Technologie prací na železničním svršku. Praha: ČKAIT, 2019. ISBN 978-80-88265-17-7.

[3] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. Železniční stavby 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-06157-2.

[4] Železniční stavby: kurz zajišťuje Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-729-1.

[5] ESVELD, Coenraad. Modern railway track. 2nd ed. Zaltbommel: MRT-Productions, c2001. ISBN 90-800324-3-3.

[6] osobní konzultace s Ing. Vlastimilem Horákem z AMBERG Engineering Brno a.s.

[7] Předpis SŽDC S3 díl V – Kolejnicové podpory (Změna č. 3). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2019.

[8] Předpis SŽDC S3 díl VII – Sestavy železničního svršku a jejich použití (Změna č. 4). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2021.

[9] Předpis SŽDC S3 Díl VIII – Zvláštní konstrukce železničního svršku (Změna č. 3). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2019.

[10] Předpis SŽDC S3 Díl X – Kolejové lože a jeho uspořádání (Změna č. 4). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2021.

[11] Předpis SŽ S4 – Železniční spodek. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2021.

[12] Předpis SŽDC S9 – Pevná jízdní dráha. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2012.

[13] Horčička, J.: Pevná jízdní dráha v tunelech. Bakalářská práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2016.

[14] Vzorový list Světlý tunelový průřez dvoukolejného tunelu (konvenční ražba). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2012.

[15] Předpis SŽDC S6 – Správa tunelů. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2018.

[16] OTP Kamenivo pro kolejové lože železničních drah. Praha: Správa železnic, s. o., 2021

[17] Online katalog výrobků firmy ŽPSV. https://www.zpsv.cz/kolejove-dopravni-stavby/kolejnicove-podpory-zeleznicnich-a-tramvajovych-koleji/kolejova-deska-obb-porr-zakladni/

[18] Online katalog výrobků firmy Vossloh. https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_9996.php

[19] Záchranné a přístupové plochy BRENS https://www.brens.cz/produktove-listy/

[20] Fotografie železničního svršku. https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznic/zeleznice-cr/zajimavosti-z-vyvoje-zeleznicniho-svrsku

[21] Celoplošné, podélné a bodové antivibrační rohože. https://www.calenberg-ingenieure.com/

[22] Fotografie přechodové oblasti konstrukce Rheda 2000 https://www.stavebniskola.cz/aktuality/exkurze-tunely-2019 (online 2019)

[23] První zkušební úsek pevné jízdní dráhy v České republice. https://spz.logout.cz/infrastruktura/pevna_jizdni_draha.html (online 2005)

[24] SLAB TRACK, SYSTEM ÖBB-PORR ELASTICALLY SUPPORTED TRACK BASE PLATE. Rakousko: The reference brochure of system ÖBB PORR

[25] RAIL.ONE GmbH. Concrete sleepers. Německo: Rail.one GmbH Pfleiderer track systems, 2014.

[26] Elastická vrstva nosné desky ÖBB-PORR. www.kraiburg-relastec.com

[27] Konference železnice 2012, 17. setkání investorů, projektantů, stavitelů a správců železniční infrastruktury, 29.11.2012, sborník příspěvků str. 29-34

[28] RAIL.ONE GmbH. Rheda 2000 The ballastless track system. Německo: Rail.one GmbH Pfleiderer track systems, 2011.

[29] IŽVOLT, L., ŠESTÁKOVÁ, J., VILÍMEK, P. The first Construction of Unconventional Type of Railway Superstructure in The ŽSR Infrastructure. Žilina: Žilinská univerzita, 2013.

[30] Předpis SŽDC S3 Díl VI – Spojovací a upevňovací součásti železničního svršku (Změna č. 3). Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2019.

[31] ČSN 73 6360-1 – Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování. Praha: ÚNMZ, 2020.

[32] ČSN 73 6201 – Projektování mostních objektů (Změna č. 1). Praha: Český normalizační institut, 2012.

[33] Floating slab track with GERB Spring elements https://www.gerb.com/floating-slab-track-with-gerb-spring-elements-for-thomson-east-coast-line/

[34] SUBTERRA – Rekonstrukce Střelenského tunelu. https://www.youtube.com/watch?v=gt7Cwk9loFE&t=960s (online 2020)

[35] ČSN 73 6360-2 – Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba (Změna č. 1). Praha: ÚNMZ, 2013.

[36] Seznam výrobců kameniva vlastnících Osvědčení pro dodávky do železničních drah ČR. Praha: Správa železnic, s. o., 2023.

[37] PORR Österreich: Slab Track Austria | System ÖBB-PORR elastisch gelagerte Gleistragplatte. https://www.youtube.com/watch?v=bFFU3ZI_m_w&t=28s (online 2013)

[38] Předpis SŽDC S3/2 – Bezstyková kolej. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s. o., 2013.

[39] Předpis SŽ S3/7 – Vady a lomy pojížděných součástí železničního svršku. Praha: Správa železnic, s. o., 2022.

[40] IŽVOLT, Libor. Železničný spodok: namáhanie, diagnostika, navrhovanie a realizácia konštrukčných vrstiev telesa železničného spodku. V Žiline: Žilinská univerzita, 2008. ISBN 978-80-8070-802-3.

[41] FUNKE, Heinz. Broušení kolejnic. Přeložil H. KREJČÍ. Praha: ELKA Press, 1992. ISBN (Brož.).

[42] Mapové podklady. https://mapy.cz/

[43] Geologické mapy. https://mapy.geology.cz/

[44] Projektová dokumentace tunelu Mezno (příčné řezy a situační výkres). Archiv firmy AMBERG Engineering Brno a.s.

[45] ČSN 73 7508– Železniční tunely (Změna č. 1). Praha: Český normalizační institut, 2010.

[46] ČSN 73 6320 – Prostorová průchodnost na dráze celostátní, dráhách regionálních a místních a vlečkách normálního rozchodu – Národní požadavky. Praha: ÚNMZ, 2019.

[47] ČSN 34 1530 – Drážní zařízení – Elektrická trakční vedení železničních drah celostátních, regionálních a vleček (Změna č. 2). Praha: ÚNMZ, 2010.

[48] KLOUDA, Karel. Rizika podzemních staveb: a něco málo navíc. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-86111-10-0.

[49] KLEPSATEL, František. Výstavba tunelů ve skalních horninách. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-88905-43-5.

[50] BARTÁK, Jiří a PRUŠKA, Jan. Podzemní stavby. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04789-7.