STAVBY KOLEJOVÉ DOPRAVY

Doc. Ing. Bohumil Kubát, CSc.
Ing. Ondřej Trešl

2008
České vysoké učení technické v Praze

Předmluva

Skripta „Stavby kolejové dopravy" jsou určena studentům fakulty dopravní Českého vysokého učení technického v Praze, magisterského studijního programu „Technika a technologie v dopravě a spojích, oboru Dopravní systémy a technika, kteří mají ve studijním plánu stejnojmenný předmět. Studium předpokládá znalost předmětů bakalářského studia „Železniční tratě a stanice" a „Městská kolejová doprava", zejména pokud jde o geometrické parametry koleje jak železniční, tak tramvajové, i koleje metra.

Zároveň bych chtěl při příležitosti vydání těchto skript vzpomenout svého učitele, pana prof. Ing. Ferdinanda Klimeše, Dr.Sc. z naší školy, a pana prof. Ing. Josefa Vaverku, Dr.Sc. z VUT Brno. Oba tito významní železniční odborníci a vysokoškolští učitelé velkou měrou přispěli k rozvoji oboru. Prof. Klimeš metodicky uspořádal celou problematiku železničního stavitelství a spolu s prof. Vaverkou napsali učebnici, která je nám stále vzorem v uspořádání jednotlivých odborných problémů. Prof. Vaverka byl průkopníkem v oblasti bezstykové koleje. Již ve třicátých letech minulého století propracoval teoretické základy bezstykové koleje, které se potvrdily a prakticky uplatnily při realizaci prvních úseků o dvacet let později.

Autoři děkují všem spolupracovníkům, kteří pomohli s realizací těchto skript, děkují i firmě Dipro, spol. s r.o., která poskytla odborné materiály a finanční příspěvek. Dále bychom rádi uvedli, že jsme čerpali z odborné knihy našich kolegů z VUT Brno – Doc. Zvěřiny, Doc. Pláška, Ing. Svobody a Ing. Mockovčiaka „Železniční stavby" z roku 2004. Tuto knihu doporučujeme i našim studentům k prohloubení odborných znalostí probíraných v těchto skriptech.

Bohumil Kubát

0 Obsah

Předmluva 3
0 Obsah 5
1 České železnice v evropském železničním systému 9
1.1 Zvyšování rychlosti jízdy na železničních tratích 9
1.2 Modernizace železničních tratí v České republice 10
1.3 Vysokorychlostní železniční tratě 14
1.3.1 Filozofie výstavby vysokorychlostních tratí 14
1.3.2 Vysokorychlostní tratě ve světě a v České republice 16
1.4 Mezinárodní vazby na železniční síť ČR 19
1.5 Interoperabilita železniční sítě ČR 22
1.5.1 Legislativní rámec 23
1.5.2 Praktické dopady na českou železniční infrastrukturu 24
2 Druhy kolejové dopravy 25
3 Konstrukce železniční trati 27
4 Železniční spodek 27
4.1 Těleso železničního spodku 28
4.1.1 Úprava zemního tělesa v náspu 29
4.1.2 Úprava zemního tělesa v zářezu 32
4.2 Zemní pláň a pláň tělesa železničního spodku 34
4.2.1 Šířka pláně tělesa železničního spodku 34
4.2.2 Únosnost pláně tělesa železničního spodku 36
4.2.3 Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku: 39
4.2.4. Únosnost vícevrstvé konstrukce železničního spodku 43
4.2.5 Ochrana zemní pláně před účinky mrazu 46
4.3 Odvodnění železničního spodku 50
4.3.1 Otevřená odvodňovací zařízení 50
4.3.2 Krytá odvodňovací zařízení 52
4.4 Stavby železničního spodku 54
4.4.1 Zdi v železničním spodku 54
Zdi masivní 54
Gabiony, rovnaniny 55
Zdi prefabrikované z úhlových dílců 57

Zdi prefabrikované krabicové ... 58
Zdi z vyztužených zemin ... 59
Zdi obkladní ... 60
4.4.2 Protihlukové stěny ... 61
4.4.3 Propustky ... 63
5 Železniční svršek ... 66
5.1 Konstrukce železničního svršku ... 66
5.1.1 Základní součásti železničního svršku ... 66
5.1.2 Provozní zatížení tratí ... 67
5.1.3 Konstrukce koleje ... 67
5.2 Kolejnice ... 68
5.2.1 Tvary kolejnic ... 69
5.2.2 Výroba a materiál kolejnic ... 72
5.2.3 Délka kolejnic ... 72
5.3 Kolejnicové podpory ... 74
5.3.1 Dřevěné pražce ... 76
5.3.2 Betonové pražce ... 78
5.3.3 Ocelové pražce ... 83
5.4 Upevňovadla a drobné kolejivo ... 85
5.4.1 Hřeby ... 86
5.4.2 Vrtule ... 87
5.4.3 Podkladnice ... 87
5.4.4 Další drobné kolejivo ... 91
5.4.5 Sestavy železničního svršku ... 93
5.4.6 Kolejnicové styky ... 97
5.4.7 Spojky ... 101
5.5 Kolejové lože ... 103
5.5.1 Tvar kolejového lože ... 103
5.5.2 Materiál kolejového lože ... 105
5.6 Stykovaná a bezstyková kolej ... 106
5.6.1 Stykovaná kolej ... 106
5.6.2 Bezstyková kolej ... 108
5.6.3 Teoretické základy bezstykové koleje ... 108
5.6.4 Odpory proti podélnému posunu ... 110
5.6.5 Příčný odpor v koleji ... 111

5.6.6 Stabilita bezstykové koleje ... 111
5.6.7 Podmínky pro zřizování bezstykové koleje ... 112
5.6.8 Svařování kolejnic ... 114
5.6.9 Udržování bezstykové koleje ... 114
5.6.10 Poruchy bezstykové koleje ... 114
5.7 Pevná jízdní dráha ... 117
5.7.1 Upevnění kolejnic v kolejích s PJD ... 118
5.7.2 Konstrukce RHEDA ... 119
5.7.3 Konstrukce HEITKAMP ... 120
5.7.4 Konstrukce ZÜBLIN ... 120
5.7.5 Konstrukce HOCHTIEF ... 121
5.7.6 Konstrukce SATO ... 122
5.8 Výhybky a kolejové konstrukce ... 123
5.8.1 Jednoduchá výhybka ... 125
5.8.2 Transformace výhybek ... 132
6 Konstrukce tramvajové trati ... 134
6.1 Svršek tramvajové trati ... 134
6.1.1 Kolejnice pro tramvajové tratě ... 135
6.1.2 Kolejnicové styky ... 136
6.1.3 Rozchodnice ... 138
6.1.4 Uložení a upevnění kolejového svršku ... 138
6.2 Kolejová rozvětvení a křížení ... 149
6.2.1 Výhybky ... 149
6.2.2 Srdcovky ... 155
6.2.3 Kolejové konstrukce ... 157
6.3 Konstrukce tramvajové tratě ... 159
6.3.1 Tramvajové tratě na nestmelených podkladech ... 160
6.3.2 Tramvajové tratě na stmelených vrstvách ... 161
6.3.3 Tramvajové tratě na příčných pražcích ... 162
6.3.4 Tramvajové tratě na prefabrikovaných betonových deskách ... 165
6.3.5 Tramvajové tratě na podélných betonových prazích ... 166
6.3.6 Panelové konstrukce tramvajových tratí ... 166
6.3.7 Tramvajové tratě s protihlukovými a protivibračními úpravami ... 169
6.4 Odvodnění tramvajových tratí ... 174
7 Konstrukce koleje metra ... 176

7.1 Tratě metra 176
7.2 Kolejový spodek metra 178
7.3 Kolejový svršek metra 178
7.3.1 Kolejnice 178
7.3.2 Uložení kolejnic na příčných pražcích 179
7.3.3 Uložení kolejnic na podpory 180
7.3.4 Kolejnice uložené na podélné prahy 184
7.4 Výhybky 184
Literatura 187

1 České železnice v evropském železničním systému

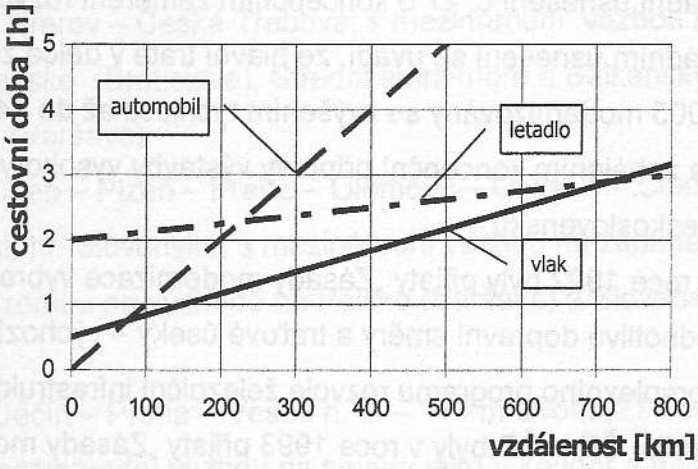
1.1 Zvyšování rychlosti jízdy na železničních tratích

Aby železniční doprava držela krok s automobilovou a leteckou dopravou, je třeba nabídnout cestujícím a přepravcům zboží co nejvyšší rychlost (nejen jízdní, ale především cestovní) a spolehlivost, za co nejnižší cenu. Proto je právě rychlost na železničních tratích hlavním problémem, který se v současnosti, nejen v naší republice, řeší. Řešení začíná u změny technologie a řízení provozu, následují kvalitní kolejová vozidla a konečně zvýšení traťové rychlosti, kterého lze dosáhnout následujícími způsoby:

- modernizací stávajících tratí pro vyšší rychlost jízdy (160 ÷ 200 km.h^{-1}), tedy zejména zvětšováním poloměrů směrových oblouků
- stavbou nové tratě s parametry vysokorychlostních tratí (VRT) pro rychlosti 250 ÷ 350 km.h^{-1}
- použitím speciálních vlakových jednotek s naklápěcími vozovými skříněmi, kterými je možno na stávajících tratích zvýšit traťovou rychlost až o cca 30 % (např. italský systém Pendolino, nebo španělský Talgo)

Teoretické práce a zejména praktické pokusy prokázaly, že klasická konstrukce koleje umožňuje vlaku dosáhnout rychlosti až 500 km.h^{-1} (např. ve Francii v roce 1955 331 km.h^{-1}, v Německu v roce 1991 406 km.h^{-1}, a konečně opět ve Francii v dubnu roku 2007 574,8 km.h^{-1}). Dalším pokusům z technického hlediska prozatím brání problém přenést dostatečně velký elektrický proud z trakčního vedení do vozidla.

V zemích EU by mělo platit, že cesta tam i zpět do místa vzdáleného do 500 km je uskutečnitelná vlakem, využívajícím převážně VRT, v jednom dni. Uvažujeme cestovní rychlost osobního automobilu mezi dvěma aglomeracemi rovnou



Obr. 1.1 Porovnání cestovních rychlostí dopravních prostředků

100 km.h^{-1} s pravidelným odpočinkem 30 min po dvou hodinách řízení a s tím, že je možno odjet odkudkoli, rychlost letadla 800 km.h^{-1} s tím, že cesta na/z letiště a odbavení budou trvat 2 h, a cesta na/z železniční stanici a odbavení budou trvat půl hodiny. Platí přibližný empirický předpoklad, že rychlost osobního vlaku na VRT by se měla pohybovat mezi dvojnásobkem rychlosti osobního automobilu a polovinou rychlosti letadla. Pak nám vyjde požadovaná rychlost jízdy vlaku (200 ÷ 400) km.h^{-1} a optimální vzdálenost pro cestování vlakem po síti VRT přibližně (100 ÷ 700) km (obr. 1.1).

cestovní doba mezi vybranými relacemi	vlak na mod. trati	os. automobil	letadlo	vlak na VRT
Praha-Berlín	4:45	4:00	3:00	**2:50**
Praha-Vídeň	4:30	3:50	2:55	**2:40**
Praha-Brno	3:03	2:36	2:45	**2:00**
Praha-Bratislava	4:20	3:24	3:00	**2:40**
Praha-Ostrava	3:58	4:26	3:00	**2:50**
Ústí n.L.-Praha	2:00	**1:00**	--	1:30
Ústí n.L.-Brno	4:10	3:36	--	**2:30**
Plzeň-Brno	4:00	3:13	--	**2:30**
Brno-Ostrava	1:55	**1:50**	2:25	**1:50**

Tab. 1.1 – Cestovní doba mezi městy

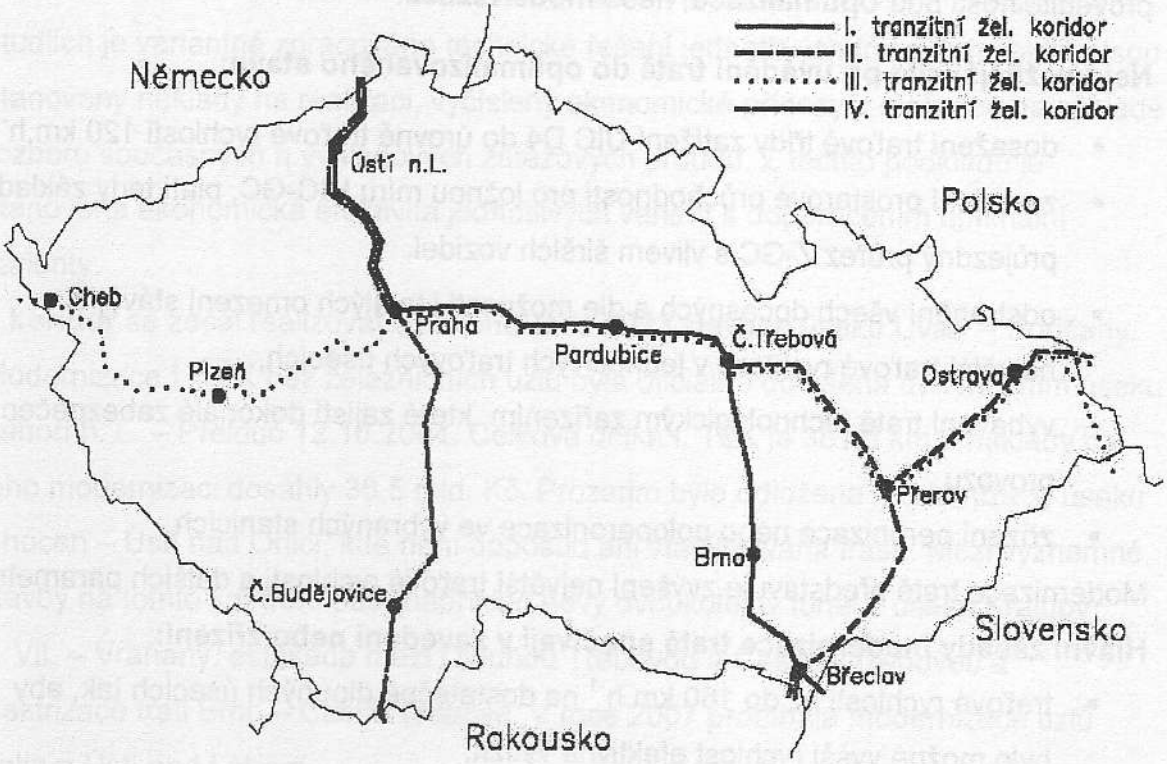
Podle uvedených zásad je možno porovnat cestovní dobu tzv. „z domu do domu" mezi některými městy v ČR a v blízkém zahraničí, což dokládá tab. 1.1. Z ní vyplývá, že celkový čas, který musí cestující strávit přepravou, je při porovnání VRT s ostatními druhy dopravy plně konkurenceschopný – do doby přepravy v automobilu není navíc započítána možnost kongescí a komplikací při relativně častých dopravních nehodách.

1.2 Modernizace železničních tratí v České republice

Již v sedmdesátých letech minulého století byly u nás vypracovány první studie sledující zvyšování rychlostí na našich tratích. Vláda tehdejší ČSSR přijala 26.1.1989 vládní usnesení č. 27 o koncepčním zaměření rozvoje železniční dopravy. V tomto vládním usnesení se uvádí, že hlavní tratě v délce zhruba 1 300 km budou do roku 2005 modernizovány se zvýšením rychlosti až do 140 km.h^{-1} a zároveň se souhlasí se zahájením koncepční přípravy výstavby vysokorychlostních železničních tratí v Československu.

V roce 1992 byly přijaty „Zásady modernizace vybrané železniční sítě ČSD pro jednotlivé dopravní směry a traťové úseky – výchozí materiál pro zpracování komplexního programu rozvoje železniční infrastruktury ČSD do roku 2000". Po vzniku ČR a ČD byly v roce 1993 přijaty „Zásady modernizace vybrané železniční sítě Českých drah", v němž je uvedeno zvýšení rychlosti až na 160 km.h^{-1}. Tento materiál navazuje na přijaté dokumenty dřívějších federálních orgánů. V roce 1994

byl přijat dodatek č. 1 a v roce 1997 dodatek č. 2 k „Zásadám modernizace vybrané železniční sítě ČD". Modernizace vnitrostátní sítě tratí ČR se týká čtyř tzv. tranzitních železničních koridorů (TŽK), které se označují římskými číslicemi a jejichž trasy jsou následující (obr. 1.2):



Obr. 1.2 Síť tranzitních železničních koridorů České republiky

I. koridor: st. hr. Německo – Děčín – Praha – Česká Třebová – Brno – Břeclav – st. hr. Rakousko / st. hr. Slovensko; s mezinárodní vazbou na severu na Německo (Berlín) a na Skandinávii, a na jihu na Rakousko (Vídeň), Slovensko (Bratislava), Středozemní moře a Balkánský poloostrov;

II. koridor: st. hr. Rakousko – Břeclav – Přerov – Ostrava – Petrovice u Karviné – st. hr. Polsko se spojovací větví Přerov – Česká Třebová; s mezinárodní vazbou na jihu na Rakousko (Vídeň), Slovensko (Bratislava), Středozemní moře a Balkánský poostrov a na severu na Polsko (Varšava);

III. koridor: st. hr. Německo – Cheb – Plzeň – Praha – Olomouc – Ostrava – Český Těšín – Mosty u Jablunkova – st. hr. Slovensko; s mezinárodní vazbou na západě na Německo (Porúří), Francii, Nizozemí a na východě na Polsko (Varšava) a Slovensko a dále Ukrajinu;

IV. koridor: st. hr. Německo – Děčín – Praha – Veselí n. L. – Horní Dvořiště / České Velenice – st. hr. Rakousko; s mezinárodní vazbou na severu jako I. koridor a na jihu na Rakousko (Linec) a na jih Evropy (Itálie).

Je nutno upozornit, že spojovací větev II. českého tranzitního železničního koridoru z České Třebové do Přerova, která je rovněž součástí III. koridoru, není zahrnuta v síti koridorů panevropských.

Na jednotlivých úsecích koridorových tratí se pak provádí podle výsledků studie proveditelnosti buď **optimalizace**, nebo **modernizace**.

Nejdůležitější cíle při uvádění tratě do optimalizovaného stavu:

- dosažení traťové třídy zatížení UIC D4 do úrovně traťové rychlosti 120 km.h^{-1},
- zavedení prostorové průchodnosti pro ložnou míru UIC-GC, platí tedy základní průjezdný průřez Z-GC s vlivem širších vozidel,
- odstranění všech dočasných a dle možnosti i trvalých omezení stávající největší traťové rychlosti v jednotlivých traťových úsecích,
- vybavení tratě technologickým zařízením, které zajistí dokonalé zabezpečení provozu,
- zřízení peronizace nebo poloperonizace ve vybraných stanicích.

Modernizace tratě představuje zvýšení největší traťové rychlosti a dalších parametrů.

Hlavní zásady modernizace tratě spočívají v zavedení nebo zřízení:

- traťové rychlosti až do 160 km.h^{-1} na dostatečně dlouhých úsecích tak, aby bylo možné vyšší rychlost efektivně využít,
- třídy zatížení UIC D4,
- prostorové průchodnosti pro ložnou míru UIC-GC,
- zajištění požadované propustnosti tratě,
- vybavení tratě technologickým zařízením, které zajistí dokonalé zabezpečení provozu,
- peronizace, nebo poloperonizace ve stanicích,
- nástupišť s mimoúrovňovým přístupem s výškou nástupní hrany 550 mm nad temenem kolejnice,
- užitečné délky alespoň jedné dopravní koleje ve stanici 650 m, mezi uzlovými stanicemi pak alespoň v jedné stanici 750 m,
- délky nástupišť navrhovat pro mezinárodní expresy min. 400 m a pro vnitrostátní rychlíky min. 350 m,
- kolejových spojek pro rychlost 50 km.h^{-1} a v odůvodněných případech vyšší (při předpokládaných pravidelných jízdách vlaků),
- křížení s pozemními komunikacemi pokud možno řešit mimoúrovňově,

- osové vzdálenosti kolejí 4,0 m v širé trati a 5,0 m (výjimečně 4,75 m) mezi dopravními kolejemi ve stanicích,
- železničního svršku z kolejnic tvaru UIC 60 na betonových pražcích s bezpodkladnicovým upevněním v hlavních kolejích.

Pro realizaci modernizace koridorů jsou zpracovány studie proveditelnosti. V těchto studiích je variantně zpracováno technické řešení jednotlivých traťových úseků. Jsou stanoveny náklady na realizaci, vyčísleny ekonomické přínosy z realizace na základě rozboru současných a výhledových zátěžových proudů. Z těchto podkladů je stanovena ekonomická efektivita jednotlivých variant s doporučením optimální varianty.

I. koridor se začal realizovat v prosinci roku 1993 stavbou úseku Úvaly – Poříčany. Modernizace I. TŽK bez železničních uzlů byla oficiálně dovršena dokončením úseku Záboří n. L. – Přelouč 12.10.2004. Celková délka I. TŽK je 381,5 km a náklady na jeho modernizaci dosáhly 36,5 mld. Kč. Prozatím byla odložena modernizace úseku Choceň – Ústí nad Orlicí, kde není doposud ani stabilizována trasa. Mezi významné stavby na tomto koridoru patří například nový dvoukolejný tunel v úseku Kralupy n. Vlt. – Vraňany, estakáda mezi Dlouhou Třebovou a Českou Třebovou a elektrizace trati Brno – Česká Třebová. V roce 2007 probíhala modernizace uzlů Kolín a Ústí nad Labem.

Na **II. koridoru** začaly stavební práce v říjnu roku 1997. Základní větev Břeclav – Petrovice u Karviné byla dokončena v červnu 2004, doposud pokračují stavební práce na spojovací větvi Česká Třebová - Přerov. Mezi zajímavé stavby na II. TŽK náleží kupříkladu rekonstrukce Hranických a Jezernických viaduktů a rozsáhlé přeložky trati v úseku Česká Třebová – Zábřeh na Moravě. Zde byla, vůbec poprvé v ČR, v úseku Třebovice v Čechách – Rudoltice v Čechách použita technologie moderní pevné jízdní dráhy – systém Rheda 2000.

III. koridor spojuje Německo se Slovenskem a Polskem, přičemž úsek z Prahy do Ostravy je součástí I. a II. koridoru. Vláda ČR na svém zasedání dne 5.6.2002 v Olomouci schválila projekt modernizace III. tranzitního železničního koridoru v trase Cheb – Mosty u Jablunkova. Stavba za 56 miliard korun byla naplánována na léta 2004 až 2010. V roce 2007 probíhala optimalizace traťového úseku Plzeň – Stříbro a též byla zahájena stavba Bystřice nad Olší – Mosty u Jablunkova (– Čadca). Během projednávání došlo v původním záměru k mnoha změnám – mezi nejzásadnější patří změna trasování v blízkosti Prahy – v podstatě celý traťový úsek Praha – Beroun bude veden v tunelu s parametry VRT, přičemž původní trať údolím Berounky bude

sloužit příměstské dopravě. Rozsáhlé tunelové přeložky jsou navrženy též v oblasti Ejpovic. Dalších změn projekt pravděpodobně ještě dozná v oblasti západně od Plzně, v souvislosti s tzv. „Donau – Moldau Bahn", kdy má být ČR napojena na evropskou vysokorychlostní síť namísto přes Cheb a Nürnberg přes Domažlice, Regensburg a München. V současnosti je však již zřejmé, že se výstavba protáhne až do let 2014 – 2016.

IV. koridor začíná na státní hranici s Německem a přes Děčín, Prahu, České Budějovice a Horní Dvořiště směřuje ke státní hranici s Rakouskem. Úsek ze státní hranice s Německem do Prahy byl kromě stanice Kralupy nad Vltavou dokončen v rámci modernizace I. koridoru v roce 2007. Pro samostatný úsek IV. TŽK (Praha – Horní Dvořiště) je zpracována celková studie a postupně se zpracovává projektová dokumentace pro jednotlivé úseky mezi Prahou-Vršovicemi (mimo) a Českými Budějovicemi (včetně). Rozsáhlé přeložky včetně tunelů budou realizovány v oblasti Votic. Podle vládního usnesení měla být tato část IV. koridoru dokončena do roku 2010, avšak prozatím probíhají stavby pouze v úsecích Praha-Hostivař – Benešov u Prahy a Tábor – Soběslav. I v tomto případě platí, že se realizace posune až do let 2014 – 2016.

Ze staveb modernizace nebo optimalizace jsou vyjmuty největší železniční uzly, jejichž přestavba probíhá podle odlišného harmonogramu. Uskutečnění těchto staveb je nutnou podmínkou pro plné využití všech parametrů sousedních traťových úseků. Většinou je v těchto stanicích prováděna plná peronizace a sanační průjezd uzlem, tedy především zvýšení rychlosti v hlavních kolejích. Zatím dokončenými uzly jsou Děčín, Ostrava-Svinov, Choceň, Bohumín a nejnověji Ústí nad Labem.

V realizaci je přestavba uzlu Kolín, v Praze probíhá výstavba tzv. Nového spojení – zaústění tratí od Prahy-Libně, Prahy-Vysočan a Prahy-Holešovic novými tunely pod vrchem Vítkov do Hlavního nádraží. Nově bude též bez nutnosti úvratě propojeno Masarykovo nádraží s Prahou-Vysočany.

1.3 Vysokorychlostní železniční tratě

1.3.1 Filozofie výstavby vysokorychlostních tratí

Všeobecně platí definice ze směrnice Evropské unie č. 96/48/ES - příloha I., podle níž je nově budovaná vysokorychlostní trať (dále jen VRT) taková železniční trať, která je vystavěna na traťovou rychlost o nejmenší hodnotě 250 km.h^{-1}.

VRT se mohou rozdělit na adhezní a neadhezní. Za adhezní železniční tratě se považují takové, na nichž vlaky k přenosu tažné síly využívají adhezi mezi kolem a kolejnicí.

Naproti tomu existují nekonvenční vysokorychlostní železniční systémy, například německý TRANSRAPID nebo japonský MAGLEV. Neadhezní drážní systémy jsou založeny na převážně bezkontaktním pohybu vozidla, které je poháněno lineárními motory a je nadnášeno ve vzdálenosti několika centimetrů nad pevnou jízdní dráhou magnetickým polem. Hlavní výhodou takovéhoto systému je rychlost až 500 $km.h^{-1}$ při nižší spotřebě energie (odpadá veškeré tření rotujících hmot), naopak zásadní nevýhodou je nekompatibilita se stávající dopravní sítí. Zkušební tratě jsou provozovány v Německu a Japonsku a od konce roku 2002 spojuje TRANSRAPID centrum čínského Šanghaje s letištěm. Další text se bude zabývat výhradně adhezními VRT.

Základní požadavky na VRT, které vycházejí z předpokladu, že má-li mít výstavba VRT smysl, musí být VRT dostatečně využívána, jsou následující:

- Trasa VRT má spojovat aglomerace s několika miliony obyvatel, aby byla zajištěna dostatečná poptávka po přepravě.
- Vhodně mezi sebou propojovat síť VRT a stávajících tratí tak, aby se využilo jejich předností. Výhodou je možnost etapovitého uvádění jednotlivých úseků VRT do provozu.
- Je nutno uvážlivě rozhodnout, zda bude VRT sloužit pro dopravu osobní, nebo smíšenou. Budou-li VRT využívat i nákladní vlaky, bude sice lépe vytížená, ale přináší to větší investiční i provozní výdaje a problémy s tvorbou grafikonu vlakové dopravy.
- Správně zvolit rychlost vlaků s ohledem na to, aby při smíšeném provozu rozdíl mezi rychlostmi nákladních a osobních vlaků nebyl příliš velký, aby traťová rychlost nebyla ani příliš vysoká (při vysokých rychlostech velmi rychle roste odpor vzduchu, což přináší vysokou energetickou náročnost při nízkých časových přínosech), ani příliš nízká (dostatečná schopnost konkurence především letecké dopravě). Platí přibližný empirický předpoklad, že stanovená rychlost osobního vlaku na VRT by se měla pohybovat mezi dvojnásobkem jízdní rychlosti osobního automobilu a polovinou rychlosti letadla.
- Jízdní řád všech vlaků musí být pevně daný, u osobních vlaků musí být navíc intervalový (taktový) tak, aby si cestující lehce pamatoval čas příjezdu a odjezdu vlaků, a dostatečně hustý, což splňuje maximální interval dvě hodiny v denních

hodinách. Předpokládáme rovněž možnost přepravy pošty a zavazadel a síť nočních expresů, které mohou přepravovat také osobní automobily.

- Za samozřejmost považujeme vybavení interiéru vozů a služby pro cestující na úrovni letecké dopravy.

Koncepce výstavby VRT může být v zásadě dvojí:

- Výstavba nové samostatné sítě VRT, vhodně navazující na stávající železniční síť.
- Úseky stávající železniční trati, na nichž ani po rekonstrukci nelze dosáhnout uspokojivých jízdních parametrů (zejména rychlosti), nahradit rozsáhlými přeložkami s parametry VRT.

Mezi hlavní výhody existence VRT a provozu na nich oproti dopravě silniční a letecké patří především:

- neprodukování žádných exhalací (elektrická trakce na VRT – je ponechána stranou problematika výroby elektrické energie),
- nižší zábor půdy pro stejnou přepravní kapacitu,
- vyšší bezpečnost, plynulost a spolehlivost provozu (zabezpečovací zařízení, netvoření kongescí, zanedbatelná závislost na počasí),
- nižší energetická náročnost přepočtená na jednoho cestujícího (zhruba čtyřikrát oproti letadlu, dvakrát proti osobnímu automobilu),
- využití času stráveného cestováním některými prospěšnými činnostmi (práce, četba, občerstvení, atd.),
- další hospodářský rozvoj oblastí napojených na síť VRT.

1.3.2 Vysokorychlostní tratě ve světě a v České republice

Výstavba VRT vykazuje u jednotlivých železničních správ určité odlišnosti, které jsou dány různým historickým vývojem. Postupně se vyvinuly tři hlavní odlišné přístupy k výstavbě, vozovému parku, provozu a zabezpečení jízdy vlaků na VRT, které jsou reprezentovány velmocemi v oblasti železniční vysokorychlostní dopravy, jimiž jsou Japonsko, Francie a Německo. Postupně dochází k realizaci celoevropské sítě VRT.

Stav v zahraničí

Japonsko je průkopnickou zemí ve výstavbě VRT. První trasa mezi Tokiem a Osakou byla uvedena do provozu 1. října 1964 v době konání olympijských her v Tokiu. Ve světle úspěchu první japonské VRT začaly francouzské dráhy v roce 1966 realizovat návrh nových vysokorychlostních tratí, označovaných jako LGV. Tyto VRT jsou

určeny pouze pro osobní dopravu (vlaky TGV), v nočních hodinách je pak využívají také speciální poštovní expresy. V SRN realizuje společnost DB AG projekt zvyšování rychlosti na železničních tratích jednak systémem rekonstrukce stávajících tratí (tratě ABS – Ausbaustrecken) na rychlosti 200 ÷ 230 km/h a jednak výstavbou nových VRT (tratě NBS – Neubaustrecken). Hlavním rozdílem systému VRT v Německu oproti jiným státům je smíšený provoz až na trať Kolín n.R. – Frankfurt n.M., jež je určena výhradně pro osobní dopravu a je na ní povolena maximální rychlost 300 km/h a nejvyšší podélný sklon je 40 ‰.

Vývoj v ČR

První studie vedení VRT v tehdejším Československu jsou datovány do počátku sedmdesátých let minulého století. Začátkem roku 1989 Vláda ČSSR přijala usnesení o koncepci VRT vycházející z dohody AGC a začaly práce na koncepční studii VRT v Československu. Situace v roce 1990 však v důsledku změn nejen v tehdejším Československu vedla k zadání studie s názvem Koordinace VRT s modernizací stávajících tratí. V důsledku rozdělení Československa a dalšího poklesu přepravních výkonů na železnici bylo nutno koncepční studii aktualizovat. Proto byla na konci roku 1995 firmou SUDOP Praha, a. s., dopracována studie Územně-technické podklady - Koridory VRT v ČR, která vychází z předpokladu napojení VRT v ČR na západoevropskou vysokorychlostní železniční síť, přičemž po území ČR by měly být VRT vedeny co nejkratším směrem se zapojením Prahy, Brna a Ostravy. Výsledkem této studie je návrh tras, sloužící pro zabezpečení územní ochrany těchto koridorů a stanovení podmínek, za kterých bude výstavba VRT rentabilní. Roku 2003 byla zadána aktualizace.

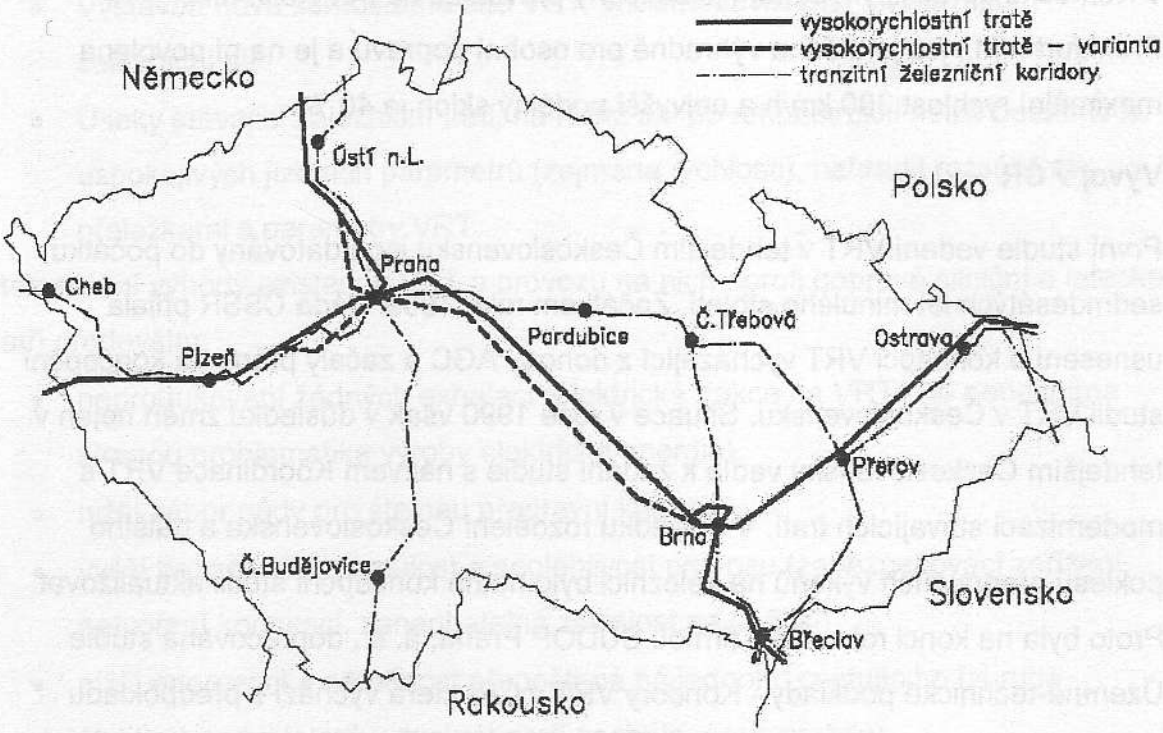
Trasy vysokorychlostních tratí v České republice

Síť VRT v ČR (obr. 1.3) vychází z tras panevropských dopravních koridorů – vede v hlavních trasách mezinárodních přepravních proudů a zároveň spojuje nejvýznamnější místa v ČR, tedy ve směru sever – jih a západ – východ. Koordinace vedení tras VRT vychází proto z mezinárodních dohod (AGC) a projektů, které zpracovávají nadnárodní organizace (EU, EHK/OSN, UIC).

Místa, ve kterých by měly zastavovat osobní vysokorychlostní vlaky, můžeme v ČR rozdělit do tří úrovní podle důležitosti:

Praha – nejvýznamnější cíl a zdroj cestujících v mezinárodním i vnitrostátním pohledu, křižovatka VRT. VRT budou na okrajích města napojeny na stávající (zmodernizovanou) železniční síť a všechny vlaky budou projíždět městem, tak aby

cesta ze stanice VRT k cíli / do stanice VRT z výchozího místa byla co nejkratší. Nákladní a vnitrostátní osobní vlaky budou po průjezdu městem buď pokračovat po síti VRT, nebo po klasické železniční síti. Napojení VRT se uvažuje ze severu do Vysočan, z východu do Běchovic a od západu v oblasti Hlubočep (Smíchova). Předpokládá se, že všechny osobní vlaky budou v Praze zastavovat.



Obr. 1.3 Předpokládaná síť vysokorychlostních tratí v České republice

Brno, Ostrava, Plzeň – po Praze nejvýznamnější místa z dopravního hlediska. Rovněž do těchto měst budou vysokorychlostní tratě zaústěny po klasické železniční síti. Budou existovat osobní vysokorychlostní vlaky, které případně nebudou v těchto městech zastavovat.

Ústí nad Labem, Olomouc/Přerov, Havlíčkův Brod/Jihlava, ev. Pardubice/Hradec Králové – V těchto lokalitách se předpokládá výstavba jednoduché stanice na VRT mimo města s vybudováním terminálu pro přestup na vlaky využívající klasickou železniční síť, případně jiný druh dopravy. Dvě dvouměstí jsou uvedena proto, že stanice bude situována mezi uvedenými městy, protože obě města jsou zhruba stejně významná. Některé vlaky budou tyto stanice projíždět bez zastavení.

Ve vedení VRT v ČR jsou ve dvou úsecích dvě varianty vedení tras: spojení Prahy s Brnem buď blíže k Pardubicům, nebo téměř přímo na Havlíčkův Brod a Jihlavu a napojení Plzně na síť VRT v SRN buď přes Rozvadov na Nürnberg nebo variantně přes Domažlice a Regensburg na München.

1.4 Mezinárodní vazby na železniční síť ČR

Z geografické polohy České republiky v Evropě vyplývá, že její dopravní síť tvoří důležitou součást celoevropské dopravní infrastruktury. Hlavní přepravní proudy, ať již osob nebo zboží, směřují přes ČR ve směru sever – jih (Skandinávie ↔ SRN, Polsko ↔ ČR ↔ Rakousko, Maďarsko ↔ Itálie, Balkán) a západ – východ (Francie, SRN ↔ Polsko, Slovensko ↔ Ukrajina, Rusko). Z tohoto důvodu se musí veškerá činnost v oblasti železniční dopravy provádět v souladu s mezinárodními dohodami, projekty a předpisy nadnárodních organizací, ke kterým se ČR připojila.

Dohoda AGC

Výbor pro vnitrozemskou dopravu EHK/OSN na svém 46. zasedání v únoru 1985 přijal text Evropské dohody o mezinárodních železničních magistrálách (AGC – Accord Européen sur les grandes lignes internationales des chemin de fer), která byla definitivně sjednána 31.5.1985 v Ženevě a ke které přistoupila tehdejší ČSFR v únoru roku 1990 (ČR ji po svém vzniku přijala jako nástupnický stát po ČSFR). Jejím smyslem je ulehčení a rozvoj mezinárodní železniční dopravy v Evropě s cílem vytvořit koordinovaný plán výstavby a vybavení a provozu železnic.

V příloze I této dohody je uveden seznam tratí, které spadají do sítě vymezené touto dohodou (hlavní a vedlejší tratě), a systém číslování. Přes území ČR vedou následující tratě:

E 55 (Bad Schandau –) Děčín – Praha

E 551 Praha – Horní Dvořiště (– Summerau)

E 61 (Bad Schandau –) Děčín – Praha – Kolín – Č. Třebová – Brno – Břeclav (– Bratislava)

E 65 (Zebrzydovice –) Petrovice u Karviné – Ostrava – Břeclav (– Bernhardstahl)

E 40 (Schirnding –) Cheb – Plzeň – Praha – Přerov – Ostrava (– Žilina)

V příloze II této dohody jsou uvedeny parametry objektů infrastruktury na nejdůležitějších mezinárodních železničních tratích zvlášť pro existující a zvlášť pro nové tratě určené výhradně pro osobní dopravu a pro nové tratě se smíšeným provozem.

Dohoda AGTC

Dne 1.2.1991 byla v Ženevě sjednána Evropská dohoda o nejdůležitějších trasách mezinárodní kombinované dopravy a souvisejících objektech (AGTC – Accord Européen sur les grandes lignes de transport international combiné et les

installations connexes). Československo tuto dohodu podepsalo 30.9.1991 a účinnosti nabyla 1.1.1993. ČR pak opět tuto dohodu převzala do svého právního řádu. Do sítě vyhrazené dohodou AGTC na území ČR náleží následující železniční tratě:

C-E 55	(Bad Schandau –) Děčín – Praha
C-E 551	Praha – Horní Dvořiště (– Summerau)
C 59	(Miedzylesie –) Lichkov – Česká Třebová
C-E 61	(Bad Schandau –) Děčín – Nymburk – Kolín – Brno – Břeclav (– Kúty)
C-E 65	(Zebrzydowice –) Petrovice u Karviné – Ostrava – Břeclav (– Bernhardstahl)
C 65	(Zawidow –) Frýdlant – Turnov – Praha
C-E 40	(Schirnding –) Cheb – Plzeň – Praha – Kolín – Hranice na Moravě – Horní Lideč (– Púchov) / Ostrava (– Čadca)

Dále jsou v Dohodě AGTC vyjmenovány objekty mající důležitý význam pro mezinárodní kombinovanou dopravu, a to terminály, pohraniční přechody a trajektové linky (přístavy). Dále pak jsou v dohodě uvedeny technické charakteristiky tratí, efektivní parametry služeb kombinované dopravy, provozní charakteristiky vlaků a standardy terminálů a stanic.

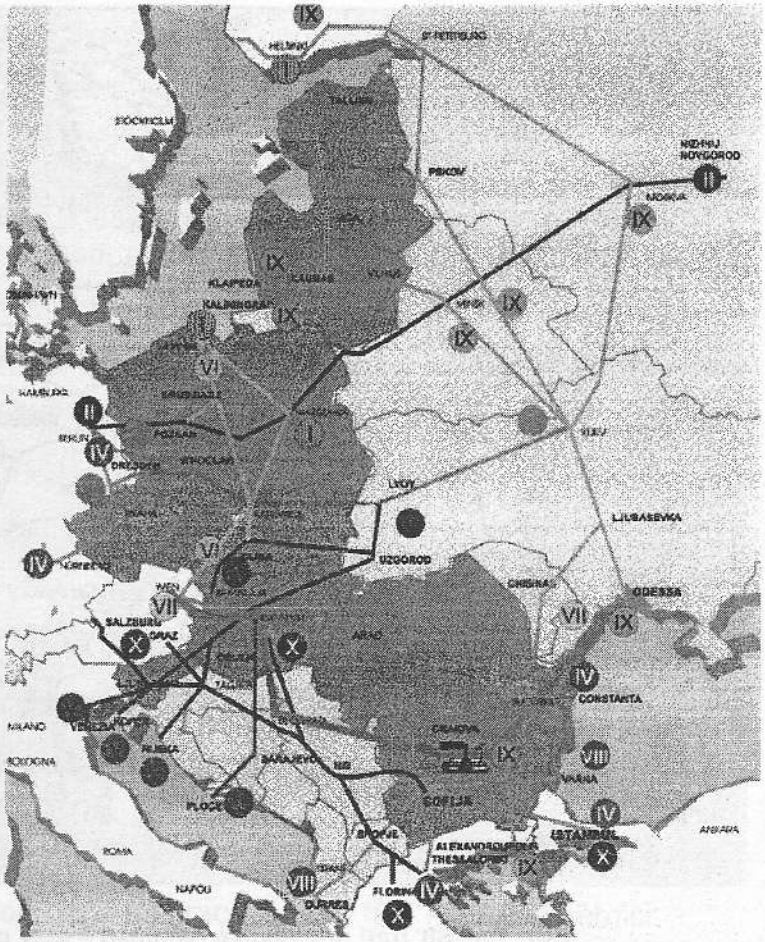
TER

Projekt řízený EHK/OSN na vybudování Transevropské železniční magistrály Sever – Jih nese označení TER. Projekt TER má stanovit předpoklady pro vysoce kvalitní železniční spojení Skandinávie na jih Evropy a dále na Blízký a Střední Východ a do severní Afriky, umožnit využívání jednotné techniky a technologie, přispět k urychlení naplnění dohod AGC a AGTC a zkvalitnit poskytované služby na železnici. Trasy TER zahrnují na území České republiky tratě E61, C-E 61 a E65.

Projekty EU

Počátkem 90. let minulého století byla ve státech EU dokončena tvorba základní koncepce transevropských sítí TEN všech druhů dopravy včetně železniční, která je průběžně aktualizována. Tato síť umožní po výstavbě nových vysokorychlostních tratí a dokončení modernizace stávajících vybraných tratí rychlá spojení významných center v zemích EU. Po změně politických poměrů v zemích střední a východní Evropy jsou požadována tato rychlá a kvalitní spojení rovněž mezi obdobnými centry v těchto zemích a vzájemně mezi těmito centry a centy ve státech EU. Řešením této problematiky se zabývaly postupně tři panevropské dopravní konference (v roce

1991 v Praze, roku 1994 na Krétě a v r. 1997 v Helsinkách). Výsledkem je stanovení tras deseti panevropských multimodálních dopravních koridorů (PAN) v zemích, které se tehdy připravovaly na členství v EU, z nichž dva koridory (IV. a větev VI. koridoru) procházejí územím ČR (obr. 1.4).

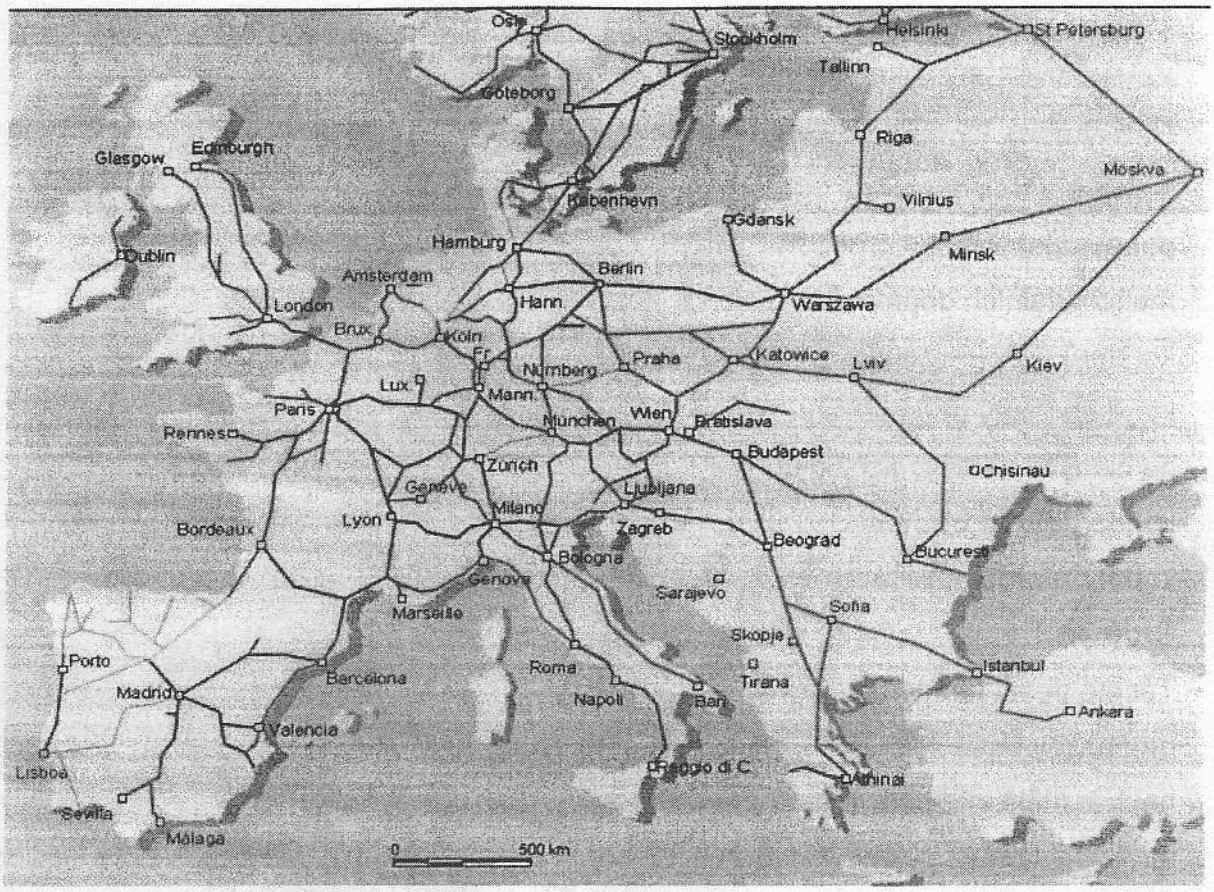


Obr. 1.4 Panevropské koridory

Těchto deset koridorů prochází v trasách nejdůležitějších dopravních spojení, přičemž bylo potřeba rozšířit tyto koridory tak, aby byla vytvořena rozšířená transevropská dopravní síť TEN-Tr. Proto byl z iniciativy Evropské komise zřízen v roce 1996 sekretariát TINA se sídlem ve Vídni, jehož posláním bylo vytvořit z panevropských koridorů, které jsou pokládány za síť základní, síť TINA a začlenit ji do již existující sítě TEN. Pro vytvoření sítě TINA bylo nutné kromě páteřních tratí definovat ještě tratě doplňkové. Sekretariát TINA ukončil svoji činnost v roce 1999. Dosud definované páteřní tratě (tratě panevropských koridorů) jsou zároveň i tratěmi obsaženými v dohodě AGC.

Mezinárodní železniční unie - UIC

UIC je zkratkou Union Internationale des Chemins de Fer. UIC vznikla v roce 1922 (bývalé ČSD patřily mezi zakládající členy) a je organizací na podnikové úrovni. V současné době má přibližně 140 členů. Hlavním posláním UIC je koordinace projektů (obr. 1.5) a sjednocení technických standardů železniční dopravy hlavně na evropském kontinentě a jejím výsledkem jsou „vyhlášky", dříve „ujednání" UIC, které umožňují bezproblémové provozování mezinárodní železniční sítě a které se v současné době částečně překrývají se směrnicemi EU.



Obr. 1.5 Síť tratí pro vysoké rychlosti – stav podle UIC v roce 2020

Organizace pro spolupráci železničních drah - OSŽD

Organizacija dlja sotrudničestva železnych dorog se sídlem ve Varšavě vznikla úředně 28.6.1956 v Sofii, ale oficiálně začala pracovat až 1.9.1957 po ustanovení svého prvního výboru. Členy této organizace jsou ministerstva dopravy nebo železniční správy řídící železniční dopravu ve státech bývalého socialistického bloku v Evropě a Asii a na Kubě. Cílem OSŽD je především rozvoj železniční dopravy, podpora technického rozvoje, koordinace činnosti na železničních tratích, plánování a spolupráce na mezistátní železniční a kombinované přepravě mezi Evropou a Asií, tvorba tarifů, správa některých mezinárodních dohod a sjednocování práva v oblasti dopravy. V současnosti OSŽD spolupracuje s ostatními organizacemi z oboru železniční dopravy (zřízení formy členství „pozorovatel") a soustřeďuje se na rozvoj železnice zejména ve spojení Evropy a Asie.

1.5 Interoperabilita železniční sítě ČR

Potřeba i snaha zajistit bezproblémový provoz mezi železničními sítěmi států euroasijského kontinentu je již staršího data. V čele těchto snah byla nejprve Mezinárodní železniční unie (UIC), tyto snahy dále nabyly na intenzitě rozšiřováním

Evropské unie, u nás samozřejmě vystoupily do popředí po vstupu České republiky do EU. Evropská unie usiluje o zvýšení efektivity železniční dopravy, která má významné výhody oproti dalším druhům dopravy, avšak prozatím není dostatečně konkurence schopná, zejména vůči dálkové silniční dopravě. EU vydala v roce 2002 významný dokument „EC White Paper on Transport" (Bílá kniha), ve které jsou stanoveny cíle zajišťující zvýšení mobility osob i zboží v železniční dopravě v zemích EU. Konkrétně: dvojnásobné zvýšení osobní dopravy, trojnásobné zvýšení nákladní dopravy na železnici do roku 2020, zkrácení cestovních dob o 25 ÷ 50 %, zvýšení bezpečnosti snížením počtu nehod o 75 %, dále zvyšování rychlosti jízdy, nápravové síly, tažné síly, snižování hlučnosti železničního provozu a snižování ekonomických nákladů. Další dokument EU – „Railway Business Scenario 2020" udává, že evropská železniční síť do roku 2020 bude zajišťovat z celkového objemu přepravního trhu 12 % osobní přepravy a 15 % nákladní.

1.5.1 Legislativní rámec

Pro zajištění těchto vytýčených úkolů přijala Evropská komise dvě zásadní a velmi důležité směrnice, které jsou podrobně rozpracovány ve třetí novější směrnici:

- 96/48/ES o interoperabilitě transevropského vysokorychlostního železničního systému,
- 2001/16/ES o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému,
- 2004/50/ES.

Interoperabilita je souhrn požadavků pro dosažení technické a provozní propojitelnosti národních železničních systémů – tedy i kompatibilitu jednotlivých železničních sítí členských států EU. Technické specifikace interoperability (TSI), které jsou rozpracovány ve druhé z uvedených směrnic (2001/16/ES) jsou závazné pro novostavby, modernizace a optimalizace stávajících železničních tratí, pro kolejová vozidla schvalovaná nově do provozu a ostatní oblasti železniční dopravy, v nichž je nutné respektování společných evropských zásad. Výzkum a vývoj je prioritní při vzniku skutečného evropského železničního trhu. Železniční infrastruktura České republiky by měla do roku 2010 respektovat požadavky interoperability transevropského železničního systému. V případě jejich nesplnění hrozí ze strany EU finanční postihy. Realizaci citovaných směrnic EU zajišťuje nový zákon č.103/2004 Sb., který mění některé části zákona č.266/1994 Sb. (o drahách). Citovaný zákon ve své šesté části řeší problematiku technické a provozní propojitelnosti evropského železničního systému s českým. Na tento zákon navazuje

prováděcí vyhláška č.352/2004 Sb. o technické a provozní propojenosti evropského železničního systému a nařízení vlády č.133/2005 Sb.

1.5.2 Praktické dopady na českou železniční infrastrukturu

Z hlediska stavebního jsou převážně již TSI obsaženy v zásadách modernizace tranzitních železničních koridorů – zejména:

1) úprava tratí pro dosažení třídy zatížení UIC D4,
2) dosažení prostorové průchodnosti pro ložnou míru UIC-GC,
3) vybavení tratě technologickým zařízením, které zajistí dokonalé zabezpečení provozu.

Problém u bodů 1) a 2) spočívá hlavně v pomalé modernizaci průjezdů velkými železničními uzly (nejčastěji dnes vyhovující třídě zatížení UIC D3), které prozatím byly vyjmuty z koridorových staveb. Zde se postupně situace zlepšuje – v roce 2007 byla dokončena modernizace uzlu Ústí nad Labem a probíhá modernizace uzlu Kolín.

Zásadní problém v plnění TSI nastává v bodě 3), kdy při dosavadních modernizacích koridorů byly v kolejích ponechány zastaralé kolejové obvody, pracující na nízkých frekvencích (25 a 50 Hz), jež jsou nedostatečně odolné vůči ohrožujícím proudům, které mohou produkovat moderní vozidla elektrické trakce (motorové trakce se zapnutým elektrickým vytápěním soupravy). V důsledku této skutečnosti nemohou být prozatím tato vozidla schválena pro provoz v české železniční síti, což odporuje jedné ze zásad citovaných směrnic EU – zaručení volného přístupu na dopravní cestu. Řešením pravděpodobně bude urychlená výměna starých přijímačů signálu v kolejových obvodech za nové, s větší rezistencí vůči možným ohrožujícím proudům.

2 Druhy kolejové dopravy

Kolejová doprava má několik významných výhod oproti ostatním druhům dopravy. Jsou to:

- nízké emise jedovatých látek a oxidu uhličitého v přepočtu na přepravenou tunu zboží,
- malý zábor půdy pro srovnatelnou přepravní kapacitu,
- vysoká bezpečnost, plynulost a spolehlivost provozu,
- nízká energetická náročnost na přepravenou tunu zboží.

Mezi největší nevýhody naopak patří:

- malá operativnost,
- emise hluku a vibrací,
- obecně vyšší hmotnost kolejových vozidel.

Nejvýznamnějším druhem kolejové dopravy je železniční doprava. Dalšími druhy kolejové dopravy jsou městské rychlodráhy a metro, městské dráhy (tramvaj, podzemní tramvaj, tramvajová rychlodráha). Dále do segmentu kolejové dopravy okrajově zasahují pozemní lanové dráhy a některé nekonvenční dopravní systémy.

Po počátcích železniční dopravy v 1. polovině 19. století se kolejová doprava začala uplatňovat ve velkých městech. První linka městské kolejové dopravy zahájila provoz v roce 1832 v New Yorku – v ulicích New Yorku začala jezdit koňská tramvaj. Velké přírůstky obyvatel vedly k nutnosti řešit hromadnou dopravu ve velkých městech. V polovině 19. století nastal rozvoj tramvajové dopravy ve velkých evropských městech (Paříž 1853, Londýn 1858, Berlín 1865, Vídeň 1865). U nás byla vybudována 1. linka koňské tramvaje v Brně (1869) a dále pak v Praze (1875). Potom koňská spřežení vystřídala pára. Vynález elektromotoru dal impuls k sestrojení prvních kolejových vozidel na elektrický pohon. První elektrická tramvaj byla uvedena do provozu v Berlíně roku 1881 (Siemens). V polovině 80. let 19. století nastal rychlý rozvoj tramvajové dopravy.

U nás vynálezce a podnikatel František Křižík v roce 1891 realizoval v Praze mezi Letnou a Stromovkou zhruba 800 m dlouhou tramvajovou trať s elektrickým pohonem. Po úspěšném provozu elektrické tramvaje na Letné došlo k přestavbě tratí koňky na elektrický pohon postupně v Praze, Brně a Ostravě a později i v dalších

našich městech. Dnes je tramvajová doprava provozována v sedmi českých městech.

Ve 2. polovině 19. století se začal rozvíjet v největších světových městech další druh kolejové dopravy – metro (podzemní dráha). Také sem se nejprve přenesla konstrukce koleje i vozidel z tehdejších železničních tratí. První linka metra byla zprovozněna v roce 1863 Londýně (parní provoz). Rychlejší a čistší provoz metra umožnilo až využití elektrické energie a potom bylo zapotřebí započít i se zdokonalováním konstrukce koleje v podzemních dráhách.

V Praze povrchová doprava narazila na svůj kapacitní strop v 50. letech 20. století a tak otázka podpovrchové dopravy nabyla na aktuálnosti - existence metra se pro Prahu stala nutností. První linka metra byla v Praze uvedena do provozu 9.5. 1974. Metro se ve 20. století postupně stalo základem moderního dopravního systému ve velkých městech (nad 1 milion obyvatel) na celém světě, Prahu nevyjímaje.

Proto je dále pojednáno o konstrukci koleje:

- železniční
- tramvajové
- podzemní dráhy

3 Konstrukce železniční trati

Železniční trať tvoří železniční svršek a železniční spodek (obr. 3.1). Z hlediska přenášení zatížení od železničních vozidel, z něhož plyne konstrukce železniční trati, se železniční trať dělí na kolejový rošt a několikavrstevné pražcové podloží (obr. 3.1).

Obr. 3.1 Konstrukce a názvosloví hlavních částí železniční trati

Součástí kolejového roštu jsou kolejnice, kolejnicové spojky, upevňovadla, kolejnicové podpory (pražce) a vrstva kolejového lože nad ložnou plochou pražců. Pražcové podloží sestává z kolejového lože pod pražcem, z konstrukční vrstvy (vrstev) a ze zemního tělesa, popřípadě z konstrukce zemní těleso nahrazující.

4 Železniční spodek

Obecně lze jako součásti železničního spodku definovat veškeré konstrukce mezi kolejovým ložem a původním rostlým terénem (obr. 3.1) a dále ostatní stavby plnící další nezbytně nutné funkce umožňující bezpečný a nerušený provoz na železniční trati, případně zmírňující negativní účinky železničního provozu na okolí.
Konstrukce železničního spodku, jeho tvar, rozměry, požadovaná únosnost a stabilita jsou rozhodujícími vlastnostmi zajišťujícími neměnnou polohu koleje. Tvar a rozměry tělesa železničního spodku jsou určeny platnými předpisy (S4), normami, vzorovými listy a dalšími ustanoveními.
Železniční spodek je tvořen:

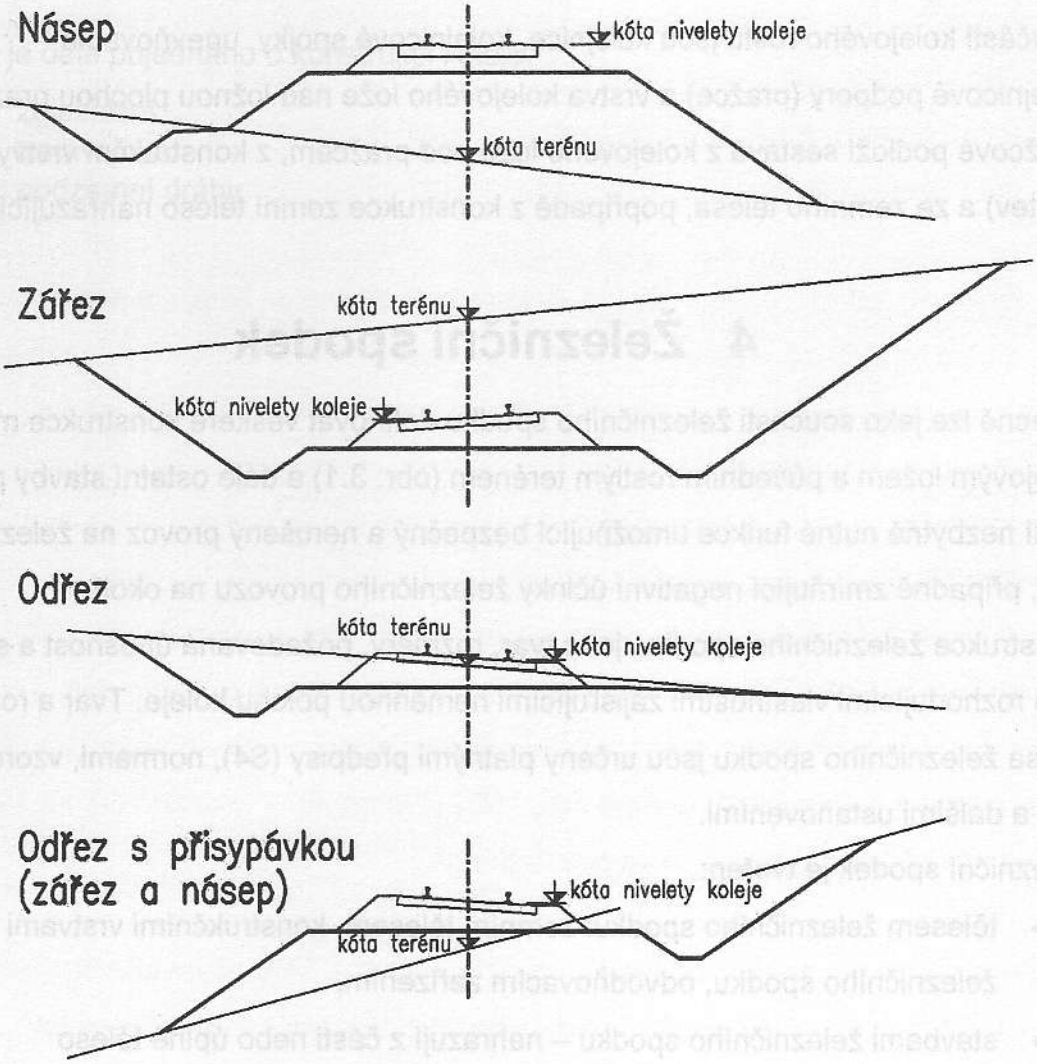
- tělesem železničního spodku: zemním tělesem, konstrukčními vrstvami železničního spodku, odvodňovacím zařízením,
- stavbami železničního spodku – nahrazují z části nebo úplně těleso železničního spodku, zvyšují jeho stabilitu nebo jej chrání: mostní objekty, propustky, tunely, galerie, zdi, protihlukové stěny, ochranné stavby,

- dopravními plochami a komunikacemi: nástupišti, nákladišti, rampami a účelovými komunikacemi pro obsluhu dráhy,
- drobnými stavbami železničního spodku (zarážedla, oplocení, zábradlí)

4.1 Těleso železničního spodku

Těleso železničního spodku musí trvale zajišťovat předepsané geometrické parametry koleje, přenášet statické i dynamické zatížení železničních vozidel bez trvalé deformace do podloží. Rozlišují se 3 základní tvary tělesa železničního spodku (obr. 4.1):

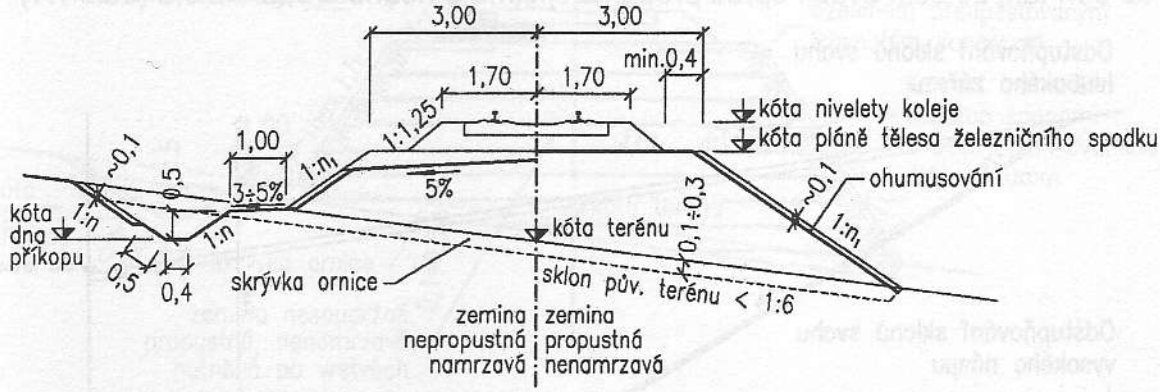
- násep (kolej se nachází nad úrovní původního terénu)
- zářez (kolej leží pod úrovní původního terénu)
- odřez (kolej leží téměř na terénu)
-



Obr. 4.1 Tvary tělesa železničního spodku

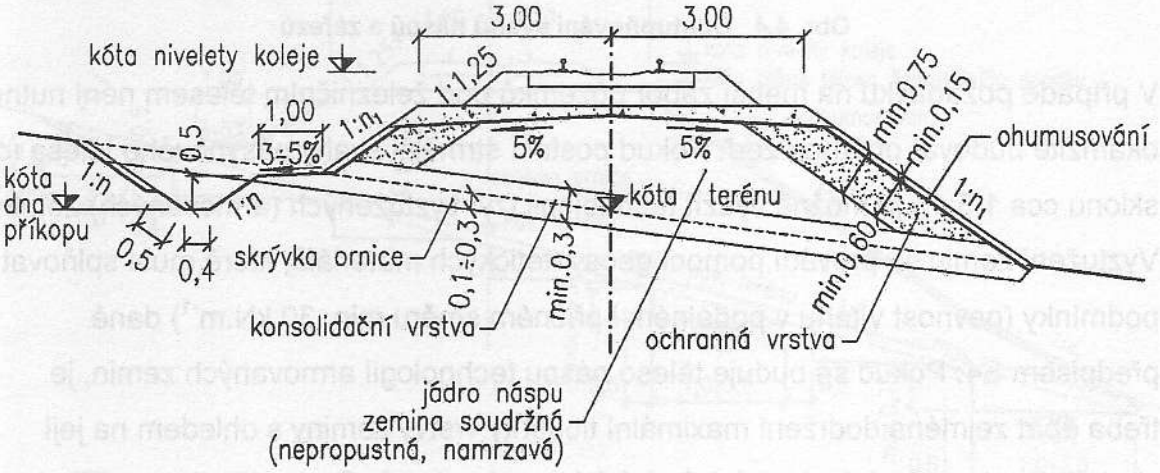
4.1.1 Úprava zemního tělesa v náspu

Násep se zřizuje na upraveném podloží, ze kterého je odstraněn porost a sejmuta ornice (zpravidla v tloušťce 0,10 až 0,30 m, obr. 4.2).



Obr. 4.2 Vzorový příčný řez jednokolejnou tratí v náspu

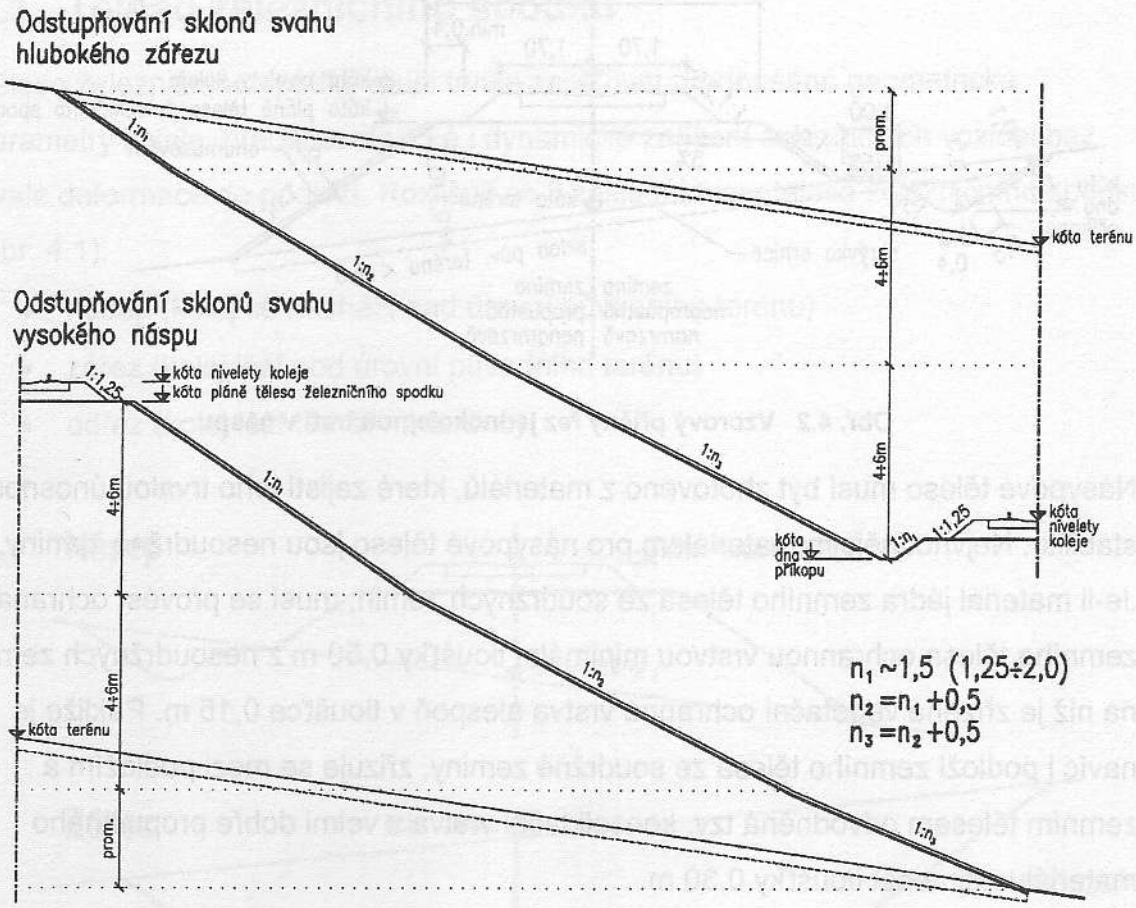
Násypové těleso musí být zhotoveno z materiálů, které zajistí jeho trvalou únosnost a stabilitu. Nejvhodnějším materiálem pro násypové těleso jsou nesoudržné zeminy. Je-li materiál jádra zemního tělesa ze soudržných zemin, musí se provést ochrana zemního tělesa ochrannou vrstvou minimální tloušťky 0,60 m z nesoudržných zemin, na níž je zřízena vegetační ochranná vrstva alespoň v tloušťce 0,15 m. Pakliže je navíc i podloží zemního tělesa ze soudržné zeminy, zřizuje se mezi podložím a zemním tělesem odvodněná tzv. konsolidační vrstva z velmi dobře propustného materiálu nejmenší tloušťky 0,30 m.



Obr. 4.3 Těleso náspu s jádrem ze soudržných namrzavých zemin

Tvar násypového tělesa vychází z šířky pláně tělesa železničního spodku, výšky náspu, druhu zeminy, či horniny a též z hydrogeologických podmínek v podloží v zájmovém území. Sklony svahů (1:n) určuje výsledek geotechnického průzkumu,

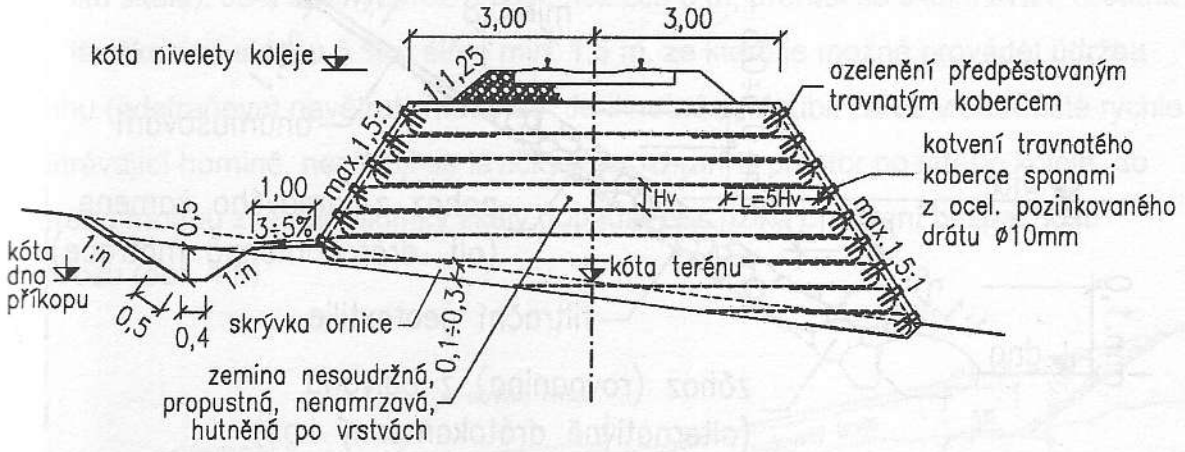
v případě potřeby se provede statické posouzení stability svahu. Pro zeminy nesoudržné jsou sklony svahů obvykle 1:1,5 až 1,75; pro zeminy soudržné 1:2 až 1:2,5. Jestliže je násep vyšší než 6 m, provádí se zalomení svahů vždy po výšce 4 až 6 m tak, že se n zvětší oproti předcházejícímu o hodnotu 0,25 až 0,5 (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Odstupňování svahů náspů a zářezů

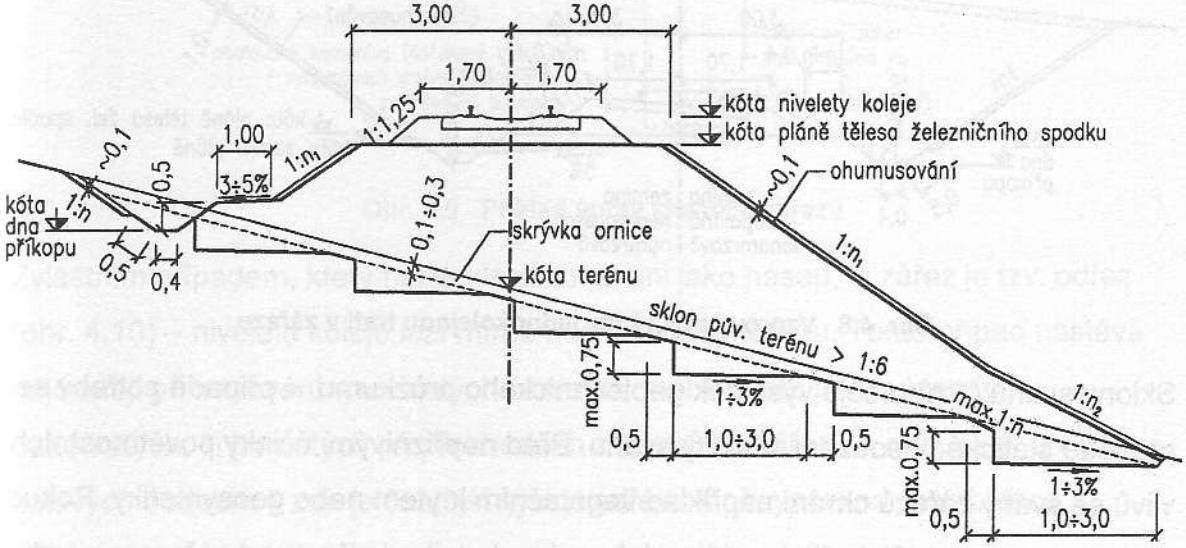
V případě požadavku na menší zábor pozemků pod železničním tělesem není nutné okamžitě budovat opěrnou zeď. Pokud postačí strmější svahy násypového tělesa (do sklonu cca 1,5:1), je možné využít technologii tzv. vyztužených (armovaných) zemin. Vyztužení zemin se provádí pomocí geosyntetických materiálů, které musí splňovat podmínky (pevnost v tahu v podélném i příčném směru min. 30 $kN.m^{-1}$) dané předpisem S4. Pokud se buduje těleso náspu technologií armovaných zemin, je třeba dbát zejména dodržení maximální tloušťky vrstvy zeminy s ohledem na její zhutnitelnost pomocí dostupných hutnících mechanismů. Geotextilie (geomřížka) se pak klade na zhutněnou vrstvu, a aby plnila svoji funkci, musí být další vrstvou zasypána v napnutém stavu. Kotvení výztužné geotextilie se provádí zpravidla na délku L=5.Hv, kde Hv je tloušťka vrstvy zeminy – viz obr. 4.5. Jelikož povrch násypových svahů z vyztužených zemin nepůsobí esteticky, je zejména v intravilánech nutné vždy jeho ozelenění. To se vzhledem ke sklonům větším, než

1:1 provádí zásadně pomocí předpěstovaných travnatých koberců, které jsou do násypového tělesa kotveny ocelovými sponami.



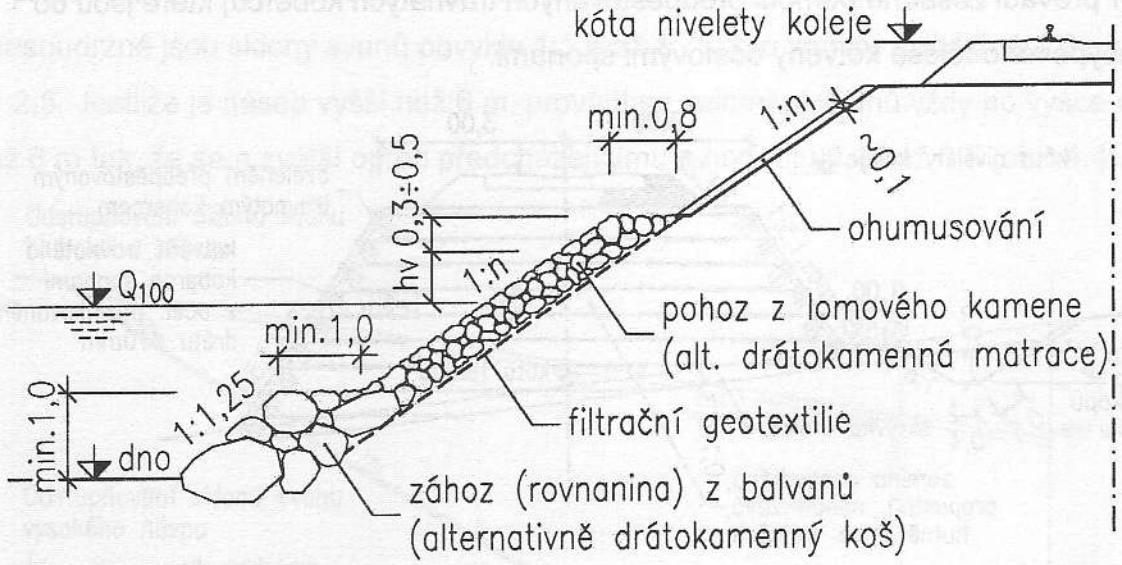
Obr. 4.5 Příklad náspu s využitím armované zeminy

Před nepříznivými účinky povětrnostních vlivů se svahy náspů v normálních sklonech (do 1:1) chrání například vegetačním krytem zřízeným technologií hydroosevu nebo geosyntetiky (jutovina). Na straně násypového tělesa přivrácené ke svahu původního terénu je nutné navrhnout příkop, oddělený od tělesa lavičkou o šířce 1,0 m a sklonu 3 až 5 ‰ do příkopu, aby nedocházelo k podmáčení, či dokonce k podemílání násypového tělesa. Je-li příčný sklon původního terénu větší než 1:6, upraví se svah do stupňů o výšce max. 0,75 m a šířce 1,0 až 3,0 m (obr. 4.6).



Obr. 4.6 Založení tělesa náspu ve svažitém území na stupních

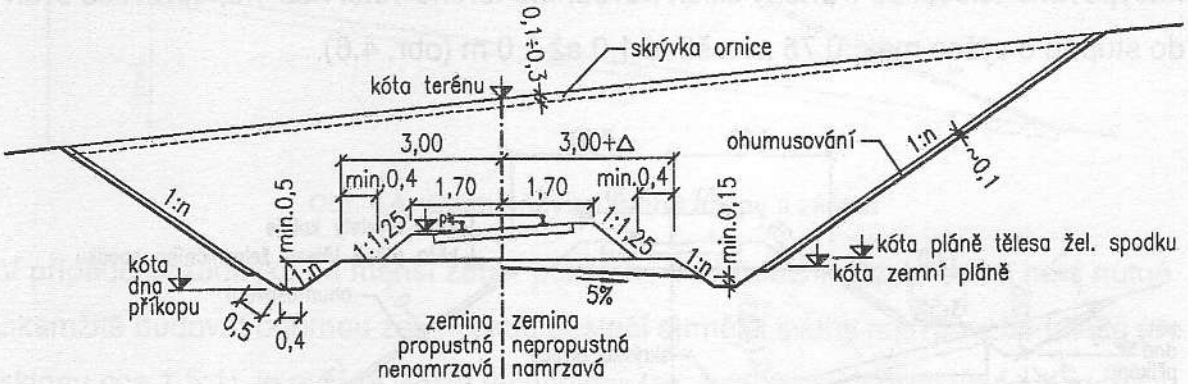
Násypové zemní těleso zasahující do vodního toku nebo vodní nádrže musí být opatřeno proti trvalým nebo dočasným účinkům proudící nebo stojaté vody (obr. 4.7).



Obr. 4.7 Opevnění paty tělesa náspu proti účinkům vody

4.1.2 Úprava zemního tělesa v zářezu

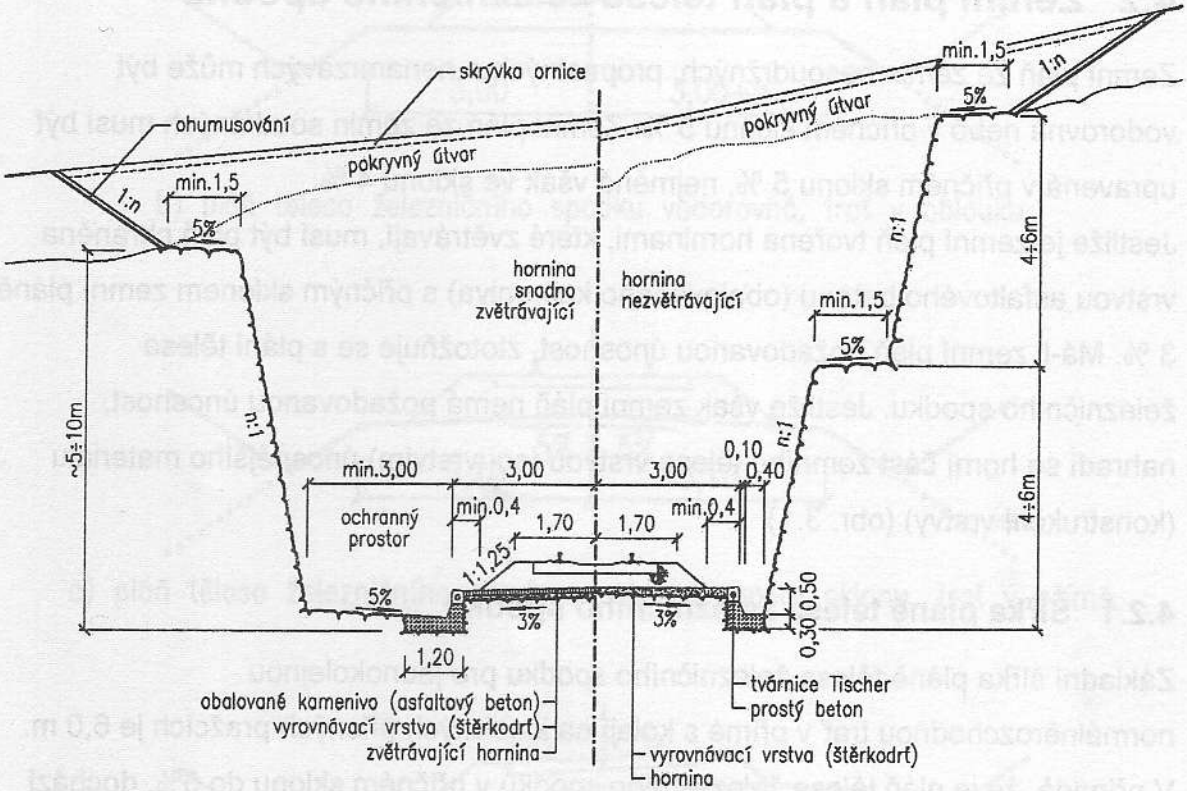
Tvar zářezového tělesa vychází z šířky pláně tělesa železničního spodku, hloubky zářezu, druhu zeminy, či horniny a též z hydrogeologických podmínek zájmového území (obr. 4.8).



Obr. 4.8 Vzorový příčný řez jednokolejnou tratí v zářezu

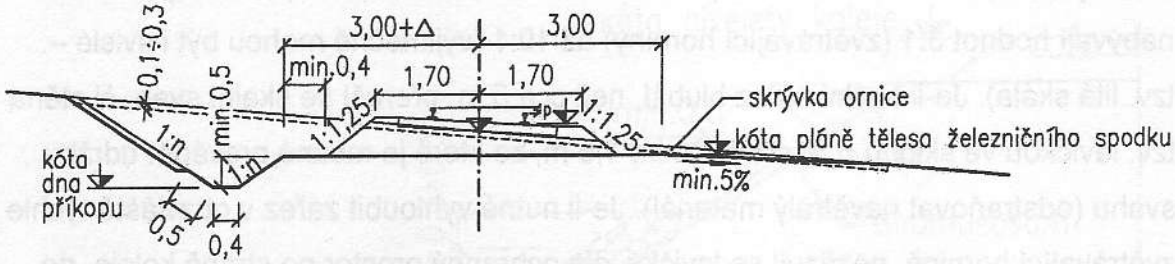
Sklony svahů (1:n) určuje výsledek geotechnického průzkumu, v případě potřeby se provede statické posouzení stability svahu. Před nepříznivými účinky povětrnostních vlivů se svahy zářezů chrání například vegetačním krytem nebo geosyntetiky. Pokud hrozí koncentrovanější přítok srážkových vod z okolního terénu nad zářezem a tedy zaplavení zářezu, lze nad horní hranou zářezu zřídit záchytný příkop. Odvod srážkových vod ze dna zářezu se nejčastěji provádí pomocí příkopů, případně lze kombinovat příkop a trativod, v odůvodněných případech (není-li prostor pro příkop) lze příkopy nahradit trativodem. Sklony svahů, či spíše stěn ve skalních horninách se také navrhují na základě výsledků geotechnického průzkumu – podle pevnosti

horniny a stupně zvětrání a dále podle směru a sklonu vrstev a puklin. Zpravidla nabývají hodnot 3:1 (zvětrávající horniny) až 10:1 (výjimečně mohou být i svislé – tzv. litá skála). Je-li skalní zářez hlubší, než cca 5 m, přeruší se skalní svah, či stěna tzv. lavičkou ve sklonu 5 % o šířce min. 1,5 m, ze které je možné provádět údržbu svahu (odstraňovat navětralý materiál). Je-li nutné vyhloubit zářez v obzvláště rychle zvětrávající hornině, nezřizují se lavičky, ale ochranný prostor po straně koleje, do kterého mohou zvětralé úlomky skály dopadat bez rizika ohrožení bezpečnosti provozu (obr. 4.9).



Obr. 4.9 Příklad úprav skalních zářezů

Zvláštním případem, který nelze klasifikovat ani jako násep, či zářez je tzv. odřez (obr. 4.10) – niveleta koleje leží mírně nad niveletou terénu. Tento případ nastává nejčastěji při trasování v rovinatých územích, méně často pak v územích pahorkatých, či hornatých při přechodech z náspů do zářezů a naopak (v tzv. nulových bodech) – zde je častější výskyt odřezu s přisypávkou (kombinace zářez+násep – obr. 4.1d).



Obr. 4.10 Příklad příčného řezu tratí v odřezu

4.2 Zemní pláň a pláň tělesa železničního spodku

Zemní pláň ze zemin nesoudržných, propustných a nenamrzavých může být vodorovná nebo v příčném sklonu 5 %. Zemní pláň ze zemin soudržných musí být upravená v příčném sklonu 5 %, nejméně však ve sklonu 4 %.

Jestliže je zemní pláň tvořena horninami, které zvětrávají, musí být pláň chráněna vrstvou asfaltového betonu (obalovaného kameniva) s příčným sklonem zemní pláně 3 %. Má-li zemní pláň požadovanou únosnost, ztotožňuje se s plání tělesa železničního spodku. Jestliže však zemní pláň nemá požadovanou únosnost, nahradí se horní část zemního tělesa vrstvou (souvrstvím) únosnějšího materiálu (konstrukční vrstvy) (obr. 3.1).

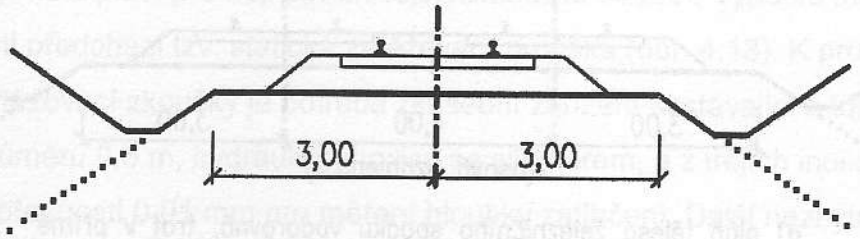
4.2.1 Šířka pláně tělesa železničního spodku

Základní šířka pláně tělesa železničního spodku pro jednokolejnou normálněrozchodnou trať v přímé s kolejí na klasických příčných pražcích je 6,0 m. V případě, že je pláň tělesa železničního spodku v příčném sklonu do 5%, dochází k jejímu rozšíření symetricky vždy o 0,1 m na každou stranu od osy koleje.

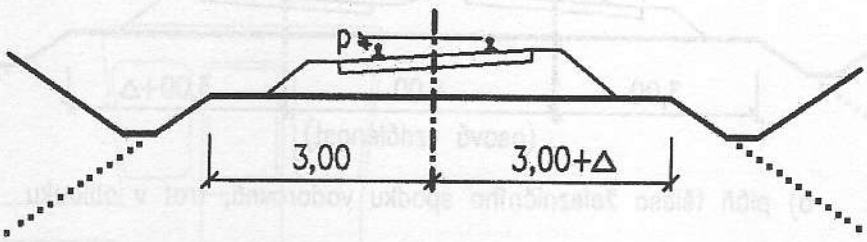
K rozšiřování dále dochází ve směrových obloucích s převýšením (obr. 4.11, tab. 4.1)

převýšení koleje p	rozšíření pláně Δ
do 29 mm	0,0 m
30 až 79 mm	0,1 m
80 až 150 mm	0,2 m

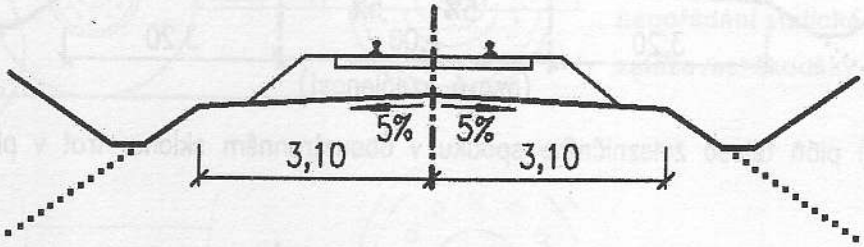
Tab. 4.1 Rozšíření pláně tělesa železničního spodku ve směrových obloucích s převýšením



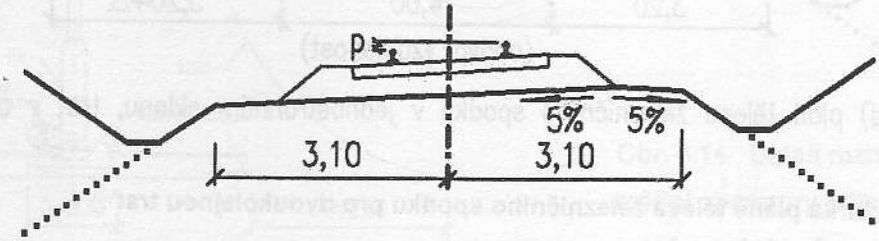
a) pláň tělesa železničního spodku vodorovná, trať v přímé



b) pláň tělesa železničního spodku vodorovná, trať v oblouku



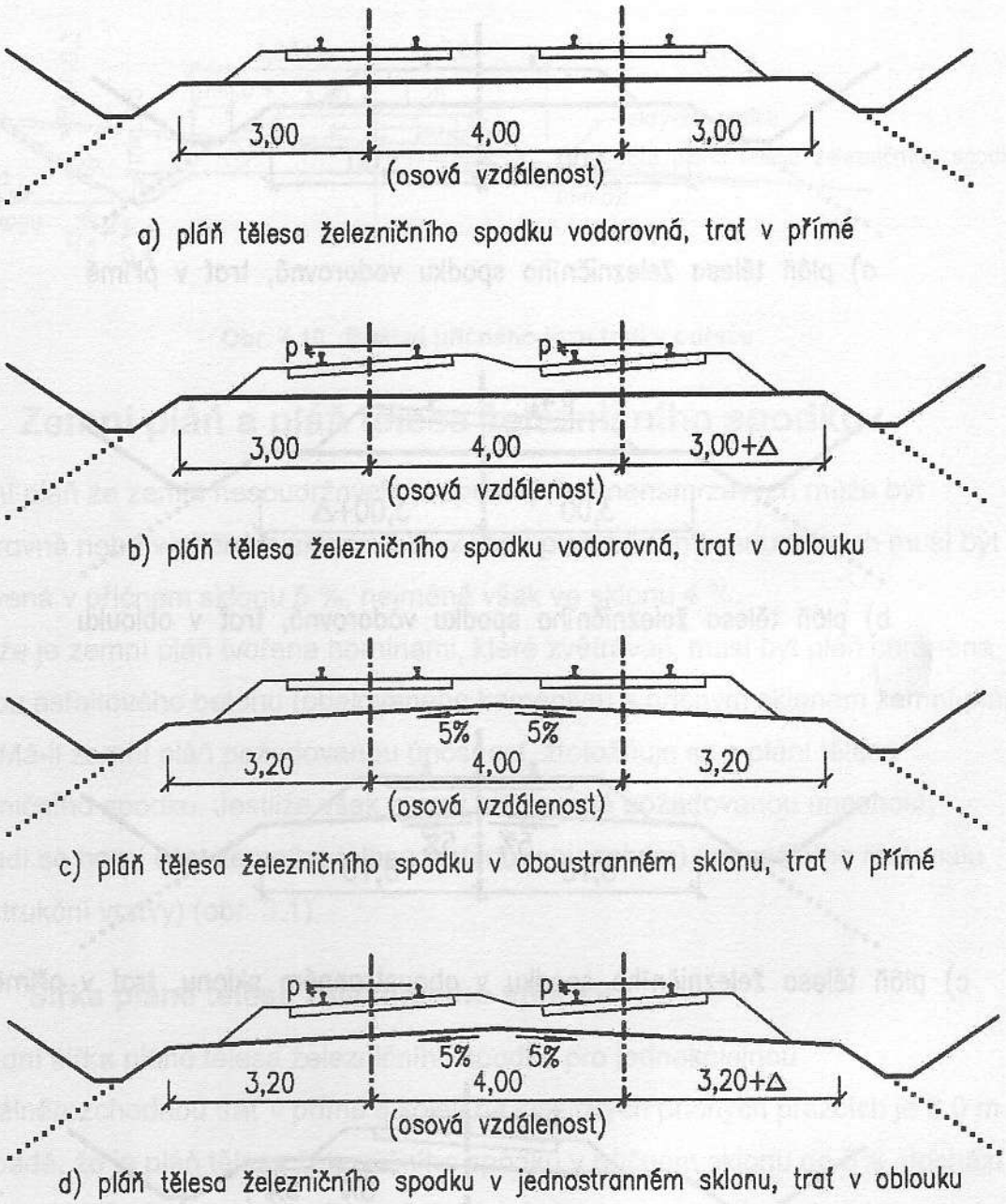
c) pláň tělesa železničního spodku v oboustranném sklonu, trať v přímé



d) pláň tělesa železničního spodku v jednostranném sklonu, trať v oblouku

Obr. 4.11 Šířka pláně tělesa železničního spodku pro jednokolejnou trať

U dvoukolejných železničních tratí dochází k rozšiřování pláně na vnější straně analogicky jako u jednokolejných tratí, zemní pláň je navíc širší o osovou vzdálenost kolejí (obr. 4.12). Vždy musí být dodržena minimální šířka stezky (banketu) 0,40 m, což může vést k dalšímu rozšíření pláně při navýšení kolejového lože pro bezstykovou kolej v obloucích o menších poloměrech.

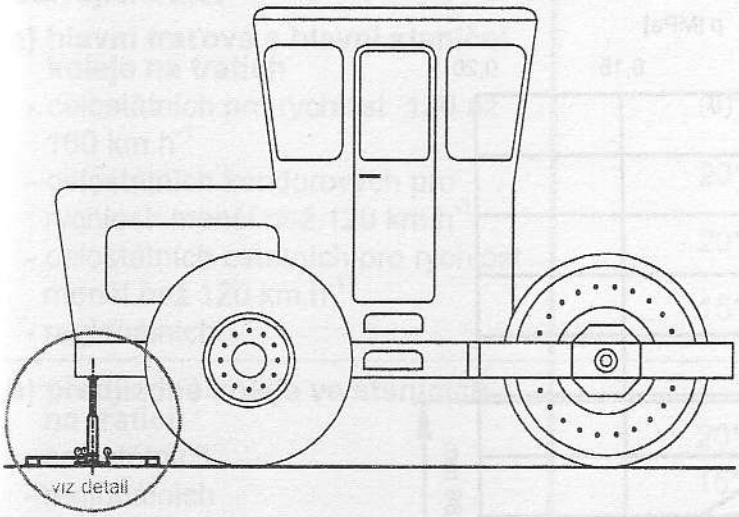


Obr. 4.12 Šířka pláně tělesa železničního spodku pro dvoukolejnou trať

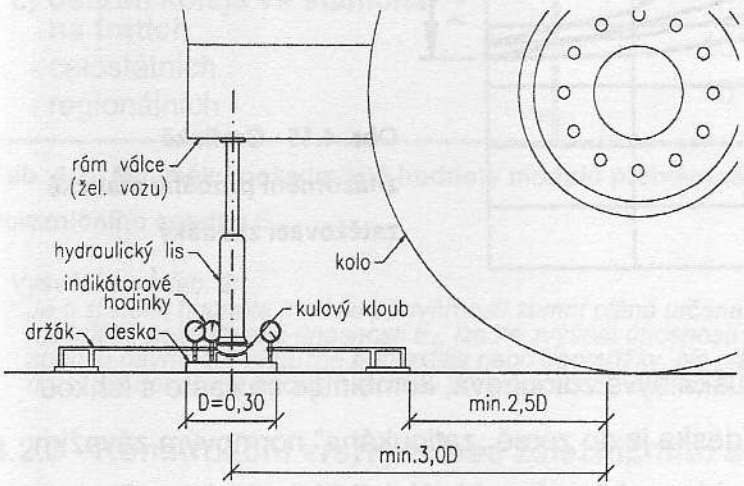
4.2.2 Únosnost pláně tělesa železničního spodku

Volba konkrétního typu konstrukce železničního spodku závisí zejména na horninovém složení podloží, úrovni hladiny podzemní vody, indexu mrazu pro danou oblast, a dále na požadované hmotnosti na nápravu, na traťové rychlosti a provezené zátěži za 1 rok. Návrh se provádí nejprve s ohledem na dosažení požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku, a potom se posoudí, zda-li navržená konstrukce vyhovuje také požadavkům na ochranu zemní pláně před účinky mrazu. Únosnost podloží (zemní pláně, či jakékoliv konstrukční vrstvy), i pláně tělesa železničního spodku je charakterizována statickým modulem přetvárnosti, jehož

hodnota by měla platit pro nejnepříznivější klimatické období. Výpočtu modulu přetvárnosti předchází tzv. statická zatěžovací zkouška (obr. 4.13). K provedení statické zatěžovací zkoušky je potřeba zkušební zařízení sestávající z tuhé kruhové desky o průměru 0,3 m, hydraulického lisu se siloměrem, a z trojích indikátorových hodinek s přesností 0,01 mm pro měření hloubky zatlačení. Další nezbytností je dostatečně těžký stavební stroj (typicky válec), či kolejové vozidlo (pro případ zkoušky pod nesnesenou kolejí), o které se hydraulický lis rozepře.



Obr. 4.13 Schéma uspořádání statické zatěžovací zkoušky



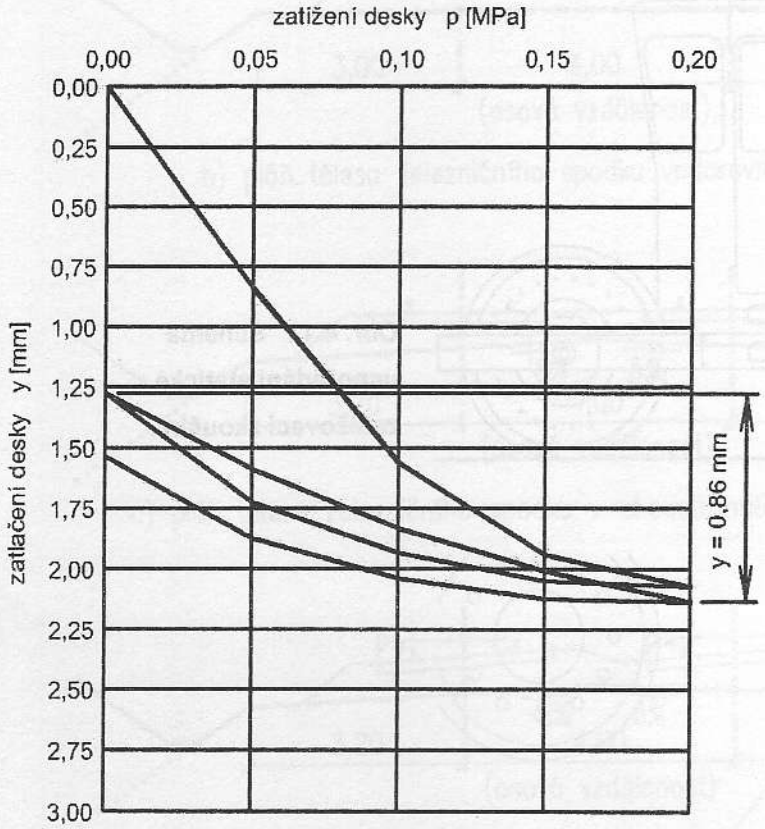
Obr. 4.14 Detail rozmístění měřicí aparatury při statické zatěžovací zkoušce

Kola stroje i držák indikátorových hodinek musí být dostatečně daleko od zatěžovací desky, aby nemohlo dojít k ovlivnění odečítaných hodnot jejího zatlačení (obr. 4.14). Zatěžování probíhá postupně ve dvou až třech cyklech po čtyřech krocích (obr. 4.15), přičemž po každém kroku se čeká na ustálení deformace pláně – zatlačení se po 1 min nesmí změnit o více, než 0,02 mm (podrobně viz příloha č.5 předpisu SŽDC S4).

Statický modul přetvárnosti se vypočte z následujícího vztahu:

$$E_{def} = \frac{1{,}5 \,.\, p \,.\, r}{y} \text{ [MPa]},$$

kde p je tlak na zatěžovací desku v MPa,
r je poloměr zatěžovací desky (0,15 m),
y je konečné zatlačení zatěžovací desky v m.



Obr. 4.15 Grafické znázornění průběhu statické zatěžovací zkoušky

Jelikož statická zatěžovací zkouška bývá zdlouhavá, kombinuje se často s lehkou rázovou zatěžovací zkouškou (deska je do země „zatloukána" normovým závažím spouštěným po vodící tyči), která je podstatně rychlejší, její výsledky jsou však pouze orientační a vždy je nutné je porovnat s výsledky zkoušky statické. Požadované hodnoty modulu přetvárnosti, zjišťované na zemní pláni a pláni tělesa železničního spodku, jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Druh koleje	Min. požadované hodnoty modulu přetvárnosti	
	E_0 [MPa] na zemní pláni	E_{pl} [MPa] na pláni tělesa železničního spodku
Novostavby:		
- pro rychlost větší než 160 km.h^{-1}	60	100
- pro rychlost do 160 km.h^{-1}	40	80
Stávající tratě:		
a) hlavní traťové a hlavní staniční koleje na tratích		
- celostátních pro rychlost 120 až 160 km.h^{-1}	30*)	50
- celostátních koridorových pro rychlost menší než 120 km.h^{-1}	20*)	50
- celostátních ostatních pro rychlost menší než 120 km.h^{-1}	20*)	40
- regionálních	15*)	30
b) předjízdné koleje ve stanicích na tratích		
- celostátních	20*)	40
- regionálních	15*)	30
c) ostatní koleje ve stanicích na tratích		
- celostátních	15*)	30
- regionálních	15*)	20

Tab. 4.2 Minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti zemní pláně E_0 a pláně tělesa železničního spodku E_{pl}

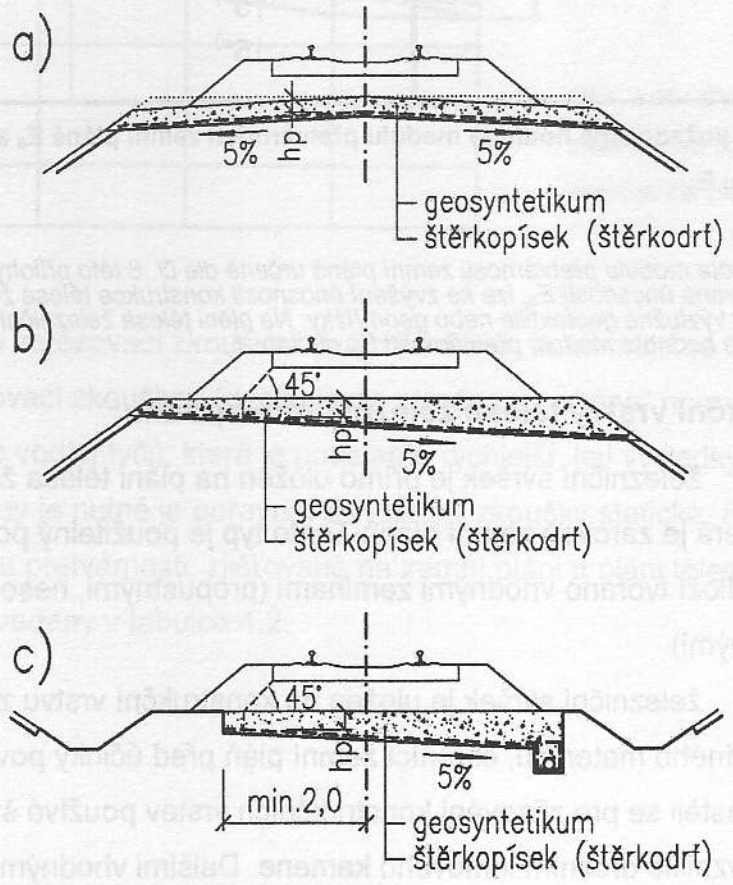
Vysvětlivka k tab. 2:
**) Je-li zjištěná hodnota modulu přetvárnosti zemní pláně určená dle čl. 8 této přílohy alespoň 60 % minimální požadované únosnosti E_0, lze ke zvýšení únosnosti konstrukce tělesa železničního spodku navrhnout výztužné geotextilie nebo geomřížky. Na pláni tělesa železničního spodku však musí být dosažena hodnota modulu přetvárnosti E_{pl} dle tab. 1.*

4.2.3 Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku:

- **typ 1** - železniční svršek je přímo uložen na pláni tělesa železničního spodku, která je zároveň zemní plání. Tento typ je použitelný pouze v případě, když je podloží tvořeno vhodnými zeminami (propustnými, nesoudržnými, nenamrzavými)
- **typ 2** - železniční svršek je uložen na konstrukční vrstvu z kameniva, či jiného vhodného materiálu, chránící zemní pláň před účinky povětrnostních vlivů. Nejčastěji se pro zřizování konstrukčních vrstev používá štěrkodrť – kamenivo vzniklé drcením lomového kamene. Dalšími vhodnými materiály jsou např. štěrkopísek (těžené přírodní kamenivo), recyklované materiály

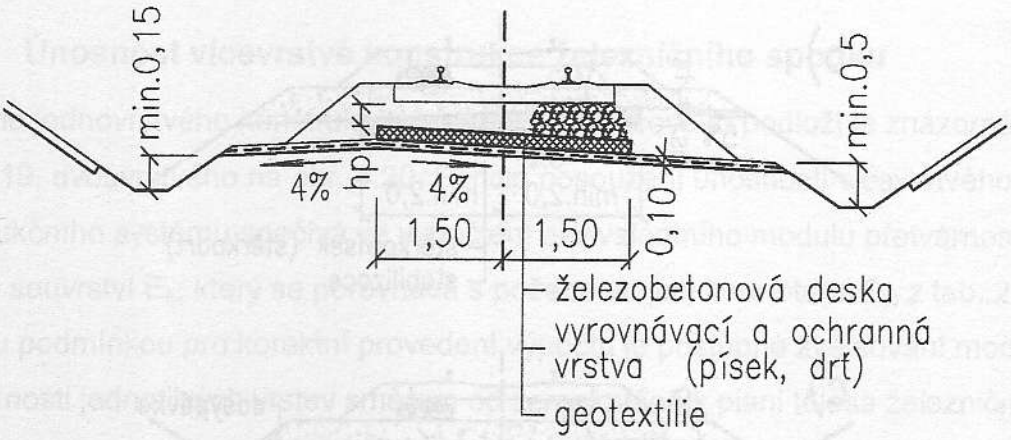
(např. předrcené a vyčištěné kolejové lože), vysokopecní struska. Obecně se za vhodné materiály považují opět materiály propustné, nenamrzavé. Tyto vlastnosti závisí zejména na jejich zrnitosti – procentuálním zastoupení zrn všech velikostí v hmotnostní jednotce materiálu. Zjednodušeně lze říci, že za nevyhovující materiály jsou považovány zeminy jemnozrnné (jíly, hlíny), naopak vhodné jsou zeminy písčité a štěrkové (převažuje velikost zrn větší, než 0,125 mm).

- **typ 3** - viz typ 2, obr. 4.16, zemní pláň je navíc chráněna geosyntetikem. Geosyntetikum je souhrnný název pro průmyslově vyráběné nebo lisované tkaniny, plastové mříže, či membrány, mající podle užitého typu za úkol oddělení podloží trati od konstrukční vrstvy nebo pouze zvýšení únosnosti podloží. Nejčastěji používanými geosyntetiky jsou geotextilie, které mají funkci separační a filtrační (zabraňují průniku jemných zrn z podloží do konstrukční vrstvy, a tedy jejímu znečištění), dále zvyšují únosnost podloží (vyztužují) a částečně plní i funkci hydroizolační (dle velikosti pórů v geotextilii část vody prosákne do podloží a část steče po jejím povrchu do odvodňovacích zařízení). Dalšími druhy geosyntetik jsou geomříže, které mají pouze funkci výztužnou, a dále geomembrány, které mají zejména funkci hydroizolační.



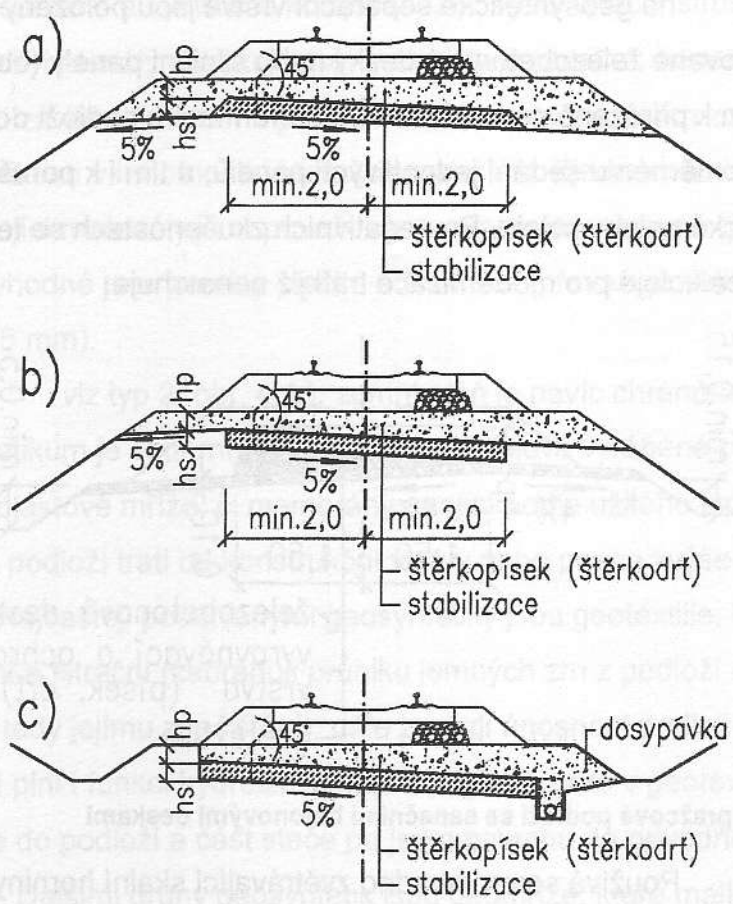
Obr. 4.16 Příklady úpravy zemní pláně s geosyntetickými materiály

- **typ 4** - na geosyntetické separační vrstvě jsou položeny sanační prefabrikované železobetonové desky nebo silniční panely (obr. 4.17). Vzhledem k přirozeně nerovnoměrným deformacím podloží dochází i k nerovnoměrnému sedání jednotlivých panelů, a tím i k porušování geometrické polohy koleje. Po negativních zkušenostech se tento typ konstrukce koleje pro modernizace tratí již nenavrhuje.



Obr. 4.17 pražcové podloží se sanačními betonovými deskami

- **typ 5** - Používá se pro snadno zvětrávající skalní horniny (pískovce, břidlice). Železniční svršek je uložen na vrstvě z asfaltového betonu nebo obalovaného kameniva, která zabraňuje průniku vody do podloží, a tedy i zvětrávání (obr. 4.9). Pokud povrch horniny není dostatečně rovinatý (např. po odstřelu), je možné pod ochrannou asfaltem stmelenou vrstvu zřídit navíc vyrovnávací vrstvu, např. ze štěrkodrti, či z písku.
- **typ 6** - viz typ 2, podloží pod konstrukční vrstvou je navíc tzv. stabilizováno buď hydraulickými, nebo chemickými pojivy (obr. 4.18). Zejména z ekonomických důvodů a pro jejich univerzálnost se téměř výhradně používají pojiva hydraulická (váží na sebe vodu – cement, cementárenské odprašky nebo vápno). Množství přídavku pojiva do zeminy tvořící podloží, bývá v řádu jednotek hmotnostních procent vysušené zeminy (max. cca 12). Stabilizace zeminy probíhá nejčastěji tzv. „v ose" pomocí dávkovače pojiva a zemní frézy, další možností je namíchání stabilizované směsi v míchacím centru (betonárně) a její následné dovezení a rozprostření na zemní pláň. Pro správné provedení stabilizované vrstvy je důležité dodržování technologických časů a správná vlhkost materiálu. Stabilizace se nesmí provádět za deště a za mrazu. Tento způsob zvyšování únosnosti železničního spodku se při modernizacích železničních tratí v ČR osvědčil a používá se velmi často.



Obr. 4.18 pražcové podloží s vrstvou stabilizované zeminy

a) v náspu - dovezené z míchacího centra,

b) v náspu - zhotovené na místě zemní frézou,

c) v zářezu - dovezené z míchacího centra

Pro orientační volbu typu konstrukce pražcového podloží existuje v předpise S4 tabulka, kde se typ pražcového podloží určuje podle modulu přetvárnosti zemní pláně, druhu zeminy v podloží a požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku.

V současné době probíhá novelizace předpisu S4, která by měla obsahovat jeho doplnění o úpravy konstrukce pražcového podloží proti pronikání vibrací a hluku z koleje do okolí.

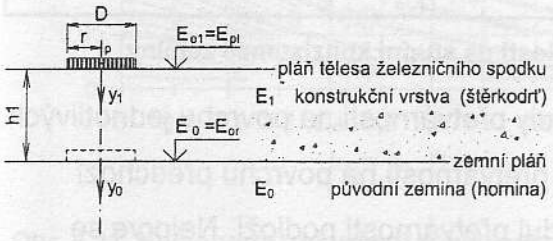
Nejmenší tloušťka konstrukční vrstvy je 0,15 m, minimální tloušťka vrstvy stabilizované zeminy je 0,25 m. Konstrukční vrstvy se většinou zřizují na celou šířku pláně, stabilizace zemin nejméně v šířce 2,0 m od osy koleje.

Při volbě typu pražcového podloží je nutné, aby bylo dodrženo tzv. filtrační kritérium – aby nedocházelo k mísení zeminy ze zemní pláně s materiálem konstrukční vrstvy a ta tak neztrácela schopnost propuštět a tím i odvádět vodu. V podmínkách ČR se uplatnilo filtrační kritérium podle Terzaghiho, k jehož ověření je nutno provést

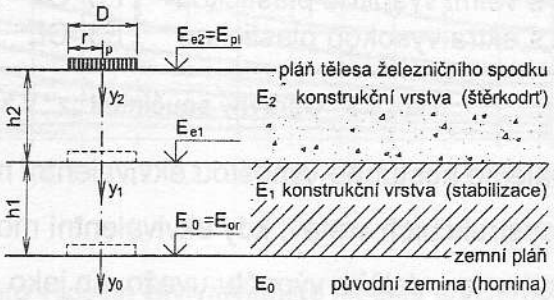
zatřídění zeminy pod zemní plání a znát zrnitost materiálu navrhované konstrukční vrstvy (S4, příloha 10). Pokud filtrační kritérium splnit nelze, je nutné položit na zemní pláň vrstvu separační geotextilie o hmotnosti alespoň 300 g.m^{-2}. V praxi je vždy nutné přihlédnout k místním podmínkám staveniště, předpokládané povětrnostní situaci, možnostem mechanizačních prostředků a dostupnosti navrhovaných stavebních materiálů.

4.2.4. Únosnost vícevrstvé konstrukce železničního spodku

Schéma jednovrstvého konstrukčního systému pražcového podloží je znázorněno na obr. 4.19, dvouvrstvého na obr. 4.20. Princip posouzení únosnosti vícevrstvého konstrukčního systému spočívá ve vypočtení ekvivalentního modulu přetvárnosti celého souvrství E_e, který se porovnává s požadovanými hodnotami E_{pl} z tab. 2. Nutnou podmínkou pro korektní provedení výpočtu je postupné zvětšování modulu přetvárnosti jednotlivých vrstev směrem od zemní pláně k pláni tělesa železničního spodku. Jedinou výjimkou může být utažená zemní pláň ze stabilizovaných zemin, která mívá vyšší modul přetvárnosti, než na ní ležící materiál konstrukční vrstvy.



Obr. 4.19 Jednovrstvý konstrukční systém



Obr. 4.20 Dvouvrstvý konstrukční systém

Protože modul přetvárnosti zemní pláně E_0 má reprezentovat její vlastnosti za nejnepříznivějších klimatických podmínek (nasycení zeminy vodou), je nutné hodnoty získané ze statických zatěžovacích zkoušek ještě zredukovat opravným součinitelem „z". Hodnoty součinitele „z" lze zjistit buď laboratorní zkouškou, nebo pomocí stupně konzistence zeminy I_c (tab. 4.3). Po stanovení součinitele „z" můžeme vypočítat redukovaný modul přetvárnosti zemní pláně:

$$E_{0r} = E_0 \cdot z \quad [\text{MPa}]$$

kde E_{0r} je redukovaný modul přetvárnosti zemní pláně v MPa,
E_0 je modul přetvárnosti zemní pláně ze zatěžovací zkoušky v MPa
z je opravný součinitel (tab. 4.3)

Název zeminy dle ČSN 72 1002	Symbol	Stupeň konzistence zeminy při zjišťování E_0		
		měkká, kašovitá $I_c < 0,5$	tuhá $I_c = 0,5$ až 1,0	pevná, tvrdá $I_c > 1,0$
		Hodnota opravného součinitele „z"		
štěrkovitá hlína štěrkovitý jíl	F1 MG F2 CG	1,0	0,9	0,8
písčitá hlína písčitý jíl	F3 MS F4 CS	1,0	0, 8	0,6
hlína s nízkou plasticitou hlína se střední plasticitou	F5 ML F5 MI	1,0	0,7	0,5
jíl s nízkou plasticitou jíl se střední plasticitou	F6 CL F6 CI	1,0	0,6	0,4
hlína s vysokou plasticitou hlína s velmi vysokou plasticitou hlína s extra vysokou plasticitou jíl s vysokou plasticitou jíl s velmi vysokou plasticitou jíl s extra vysokou plasticitou	F7 MH F7 MV F7 ME F8 CH F8 CV F8 CE	1,0	0,5	0,3

Tab. 4.3 Opravný součinitel „z" v závislosti na stupni konzistence zeminy

Dále se postupně vypočtou ekvivalentní moduly přetvárnosti na povrchu jednotlivých konstrukčních vrstev, kdy ekvivalentní modul přetvárnosti na povrchu předchozí vrstvy je v dalším výpočtu uvažován jako modul přetvárnosti podloží. Nejprve se vypočtou poměry k_1 a k_2, a podle nich se z nomogramu na obr. 4.21 určí koeficient k_3.

$$k_1 = \frac{E_0}{E_1},$$

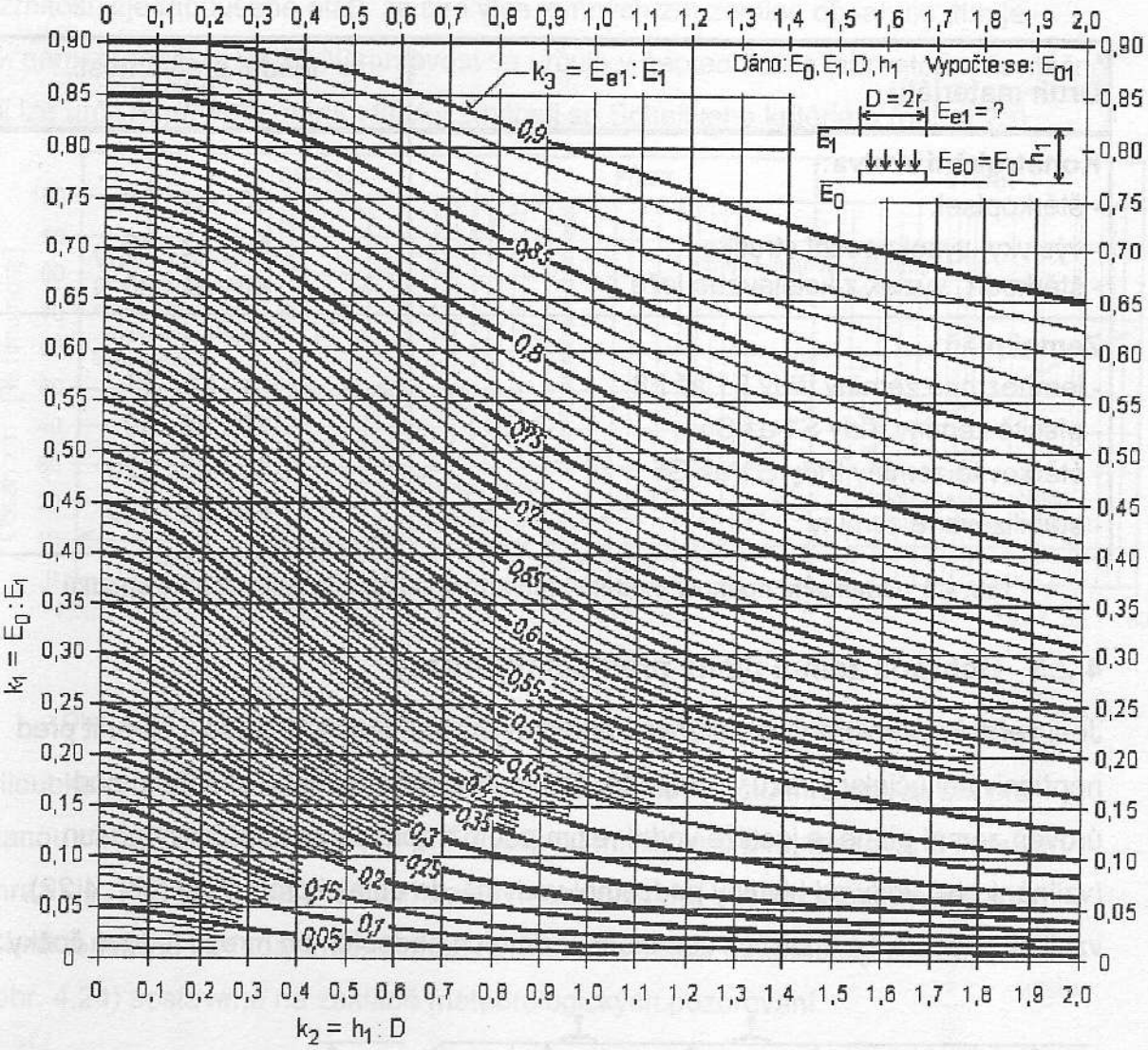
$$k_2 = \frac{h_1}{D},$$

kde E_0 je redukovaný modul přetvárnosti zemní pláně nebo hodnota ekvivalentního modulu přetvárnosti na předchozí vrstvě v MPa

E_1 je modul přetvárnosti materiálu navrhované vrstvy, na jejímž povrchu počítáme E_e v MPa – viz tab. 4.4

h_1 je tloušťka navrhované vrstvy

D je průměr zatěžovací desky v m



Obr. 4.21 Nomogram pro určení koeficientu k_3 pro výpočet ekvivalentního modulu přetvárnosti

Po odečtení koeficientu k_3 můžeme vypočítat ekvivalentní modul přetvárnosti E_{e1} na povrchu navrhované vrstvy:

$E_{e1} = k_3 \cdot E_1$ [MPa]

kde E_{e1} je ekvivalentní modul přetvárnosti na povrchu navrhované vrstvy v MPa

k_3 je koeficient z nomogramu – (obr. 4.21)

E_1 je modul přetvárnosti materiálu navrhované vrstvy, na jejímž povrchu počítáme E_{e1} v MPa (tab. 4.4)

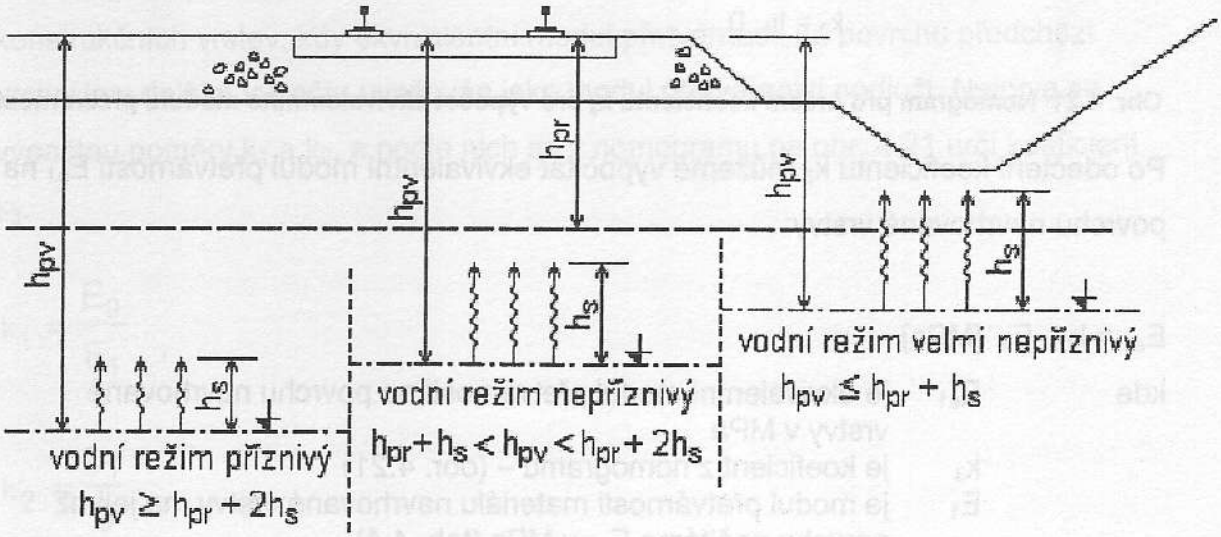
Vypočtený modul přetvárnosti E_{e1} porovnáme s požadovaným modulem E_{pl} (tab. 4.2), nebo, pokud jsme navrhli vícevrstvý konstrukční systém, pokračujeme analogicky výpočtem pro další vrstvu.

Druh materiálu	Modul přetvárnosti E [MPa]
Konstrukční vrstva:	
- štěrkopísek	40 až 60
- výsivky, vysokopecní struska	50 až 70
- štěrkodrť, výzisk z kolejového lože	60 až 80
Zemní pláň:	
- jemnozrnné zeminy třídy F1 až F8	5 až 20
- písčité zeminy třídy S1 až S5	15 až 40
- štěrkovité zeminy třídy G1 až G5	40 až 120
- stabilizované zeminy	60 až 100

Tab. 4.4 Orientační hodnoty modulů přetvárnosti materiálů železničního spodku

4.2.5 Ochrana zemní pláně před účinky mrazu

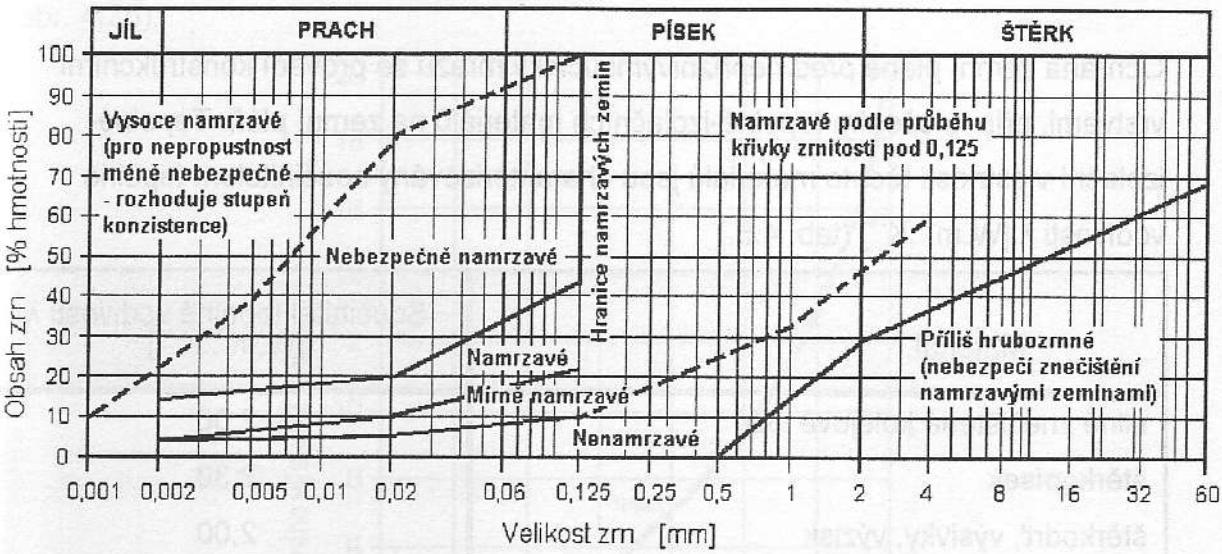
Je-li zemní pláň tvořena soudržnými namrzavými zeminami, je třeba ji chránit před nepříznivými účinky mrazu. V případě, že hloubka promrzání h_{pr} zasahuje pod úroveň zemní pláně, a jestliže vodní režim podloží způsobuje nepříznivý přísun (vzlínání - h_s) vody od hladiny podzemní vody h_{pv} do oblasti promrzání (obr. 4.22), vznikají v těchto namrzavých zeminách v zimních obdobích při mrazu ledové čočky.



Obr. 4.22 Vodní režimy podloží

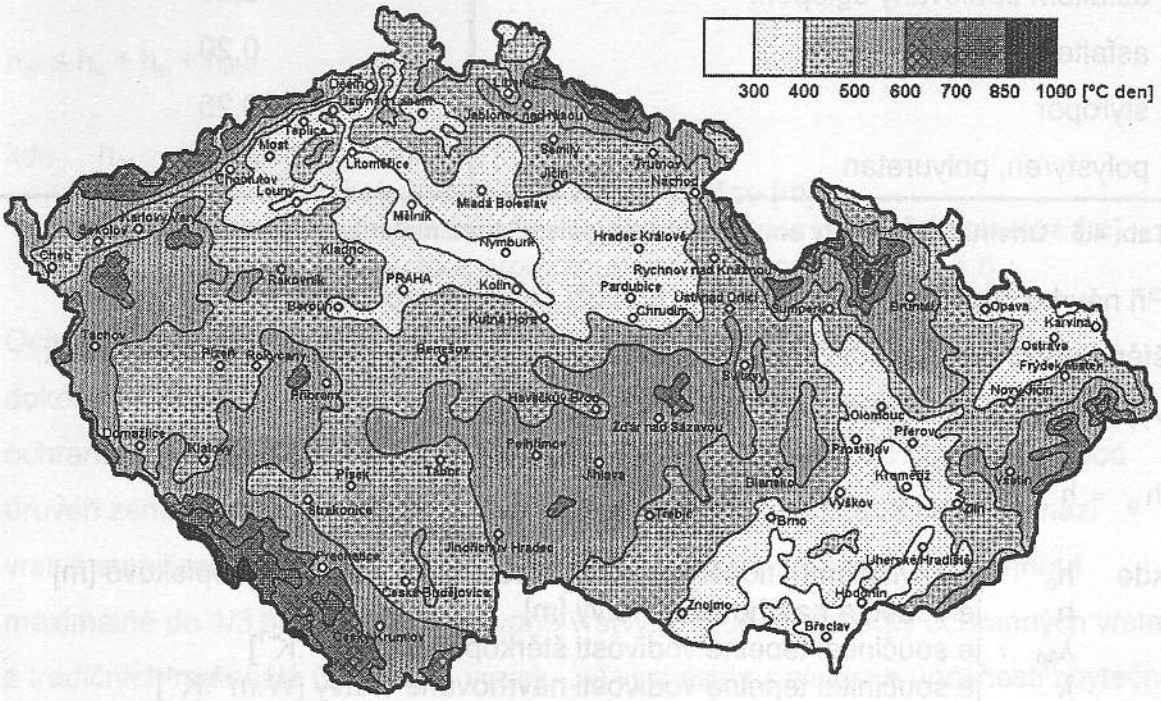
Vznik ledových čoček vede k nadzdvihování zemní pláně, což má za důsledek i zdvih vlastní nivelety koleje – vytvoří se hloubkový výmrazek. V jarním období má tání ledových čoček za následek snížení únosnosti pláně a tím dojde i k výraznějším změnám průběhu nivelety koleje. O namrzavosti zeminy rozhoduje především její

zrnitost, zjednodušeně platí, že čím více jemných zrn zemina obsahuje, tím je k namrzání náchylnější. Namrzavost se určuje v geotechnické laboratoři, orientačně ji lze určit např. porovnáním křivky zrnitosti se Scheibleho kritériem (obr. 4.23).



Obr. 4.23 Určení namrzavosti zemin v závislosti na zrnitosti (Scheibleho kritériium)

Hloubka promrzání závisí na nadmořské výšce a tedy počtu mrazových dní pro danou oblast. Počet mrazových dní a velikost mrazu je charakterizována indexem mrazu I_{mn} [°C.den], což je součin počtu mrazových dní a jejich průměrné teploty. Chrakteristické hodnoty indexu mrazu pro danou oblast se odečítají z mapy (obr. 4.24) sestavené na základě meteorologických pozorování.



Obr. 4.24 Mapa charakteristických hodnot indexu mrazu I_{mn} [°C.den]

Hloubka promrzání se vypočte ze vztahu

$h_{pr} = 0{,}045 \sqrt{I_{mn}}$ [m]

Ochrana zemní pláně před nepříznivými účinky mrazu se provádí konstrukčními vrstvami, příp. uložením tepelně-izolačních materiálů na zemní pláň. Tepelně-izolační vlastnosti těchto materiálů jsou charakterizovány součinitelem tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$] (tab. 4.5.)

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
silně znečištěné kolejové lože	2,00
štěrkopísek	2,30
štěrkodrť, výsivky, výzisk	2,00
vysokopecní struska, škvára	0,95
stabilizovaná zemina	1,75
asfaltem obalovaný štěrkopísek	1,15
cementový beton	2,55
písčitá hlína, písčitý jíl	2,20
hlína	1,95
jíl	1,70
asfaltem obalovaný agloporit	0,60
asfaltem obalovaný perlit	0,20
styropor	0,25
polystyren, polyuretan	0,10

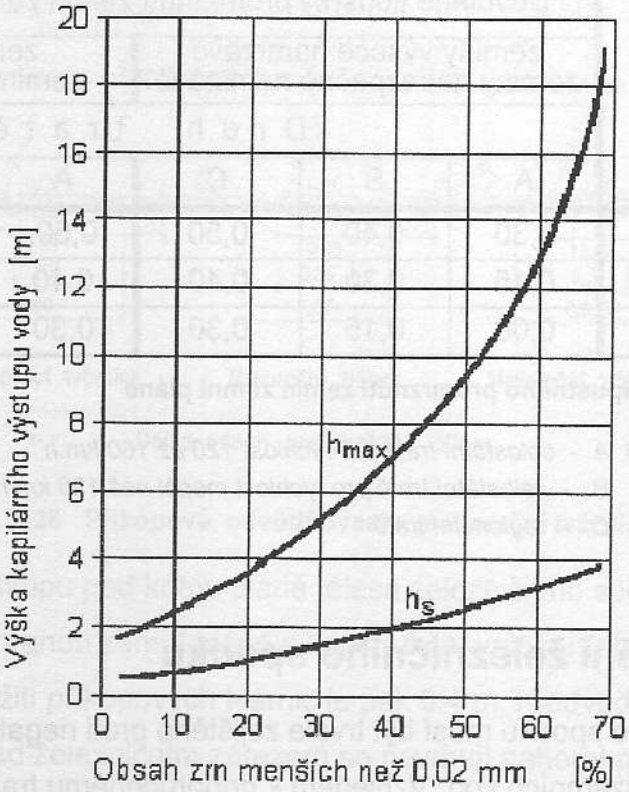
Tab. 4.5 Orientační hodnoty součinitelů tepelné vodivosti materiálů konstrukčních vrstev

Při návrhu a posouzení pražcového podloží se určuje potřebná tloušťka vrstvy štěrkopísku pod štěrkovým ložem. Pokud se použije jiný materiál než štěrkopísek, vypočte se ekvivalentní tloušťka vrstvy z tohoto materiálu podle vztahu

$$h_e = h \frac{\lambda_{šp}}{\lambda}$$

kde h_e je ekvivalentní tloušťka vrstvy odpovídající vrstvě štěrkopískové [m]
h je tloušťka navrhované vrstvy [m]
$\lambda_{šp}$ je součinitel tepelné vodivosti štěrkopísku [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
λ je součinitel tepelné vodivosti navrhované vrstvy [$W.m^{-1}.K^{-1}$]

Z obr. 4.22 je zřejmé, že pro posouzení konstrukce pražcového podloží z hlediska ochrany před účinky mrazu, je ještě nutné určit výšku kapilárního vzlínání vody h_s při 100 % saturaci zeminy. Ta je ovlivněna podílem zrn menších než 0,02 mm v zemině (obr. 4.25).



Obr. 4.25 Určení výšky kapilárního vzlínání

Zemní pláň je před účinky mrazu dostatečně chráněna, pokud platí:

$$h_{pr} \leq h_k + h_e + h_{dov}$$

kde h_{pr} je hloubka promrzání [m]
h_k je tloušťka kolejového lože včetně pražce [m]
h_e je ekvivalentní tloušťka vrstvy odpovídající vrstvě štěrkopískové [m]
h_{dov} je dovolená tloušťka promrznutí zemní pláně – viz tab. 4.6

Ochranu zemní pláně proti nepříznivým účinkům mrazu lze navrhnout jako dokonalou nebo částečnou – viz dovolené tloušťky promrznutí (tab. 4.6). Dokonalá ochrana proti promrznutí znamená, že hloubka promrzání vůbec nezasahuje pod úroveň zemní pláně. V případě, že se v konstrukci pražcového podloží nachází vrstva stabilizované zeminy, by měla dovolená hloubka promrznutí dosáhnout maximálně do 1/3 tloušťky stabilizované vrstvy. Pokud by tloušťky ochranných vrstev z tradičních materiálů (štěrkodrť, výzisk.....) vycházely z hlediska únosnosti zbytečně vysoké, je možné navrhnout speciální tepelně-izolační vrstvu, např. z extrudovaného

polystyrenu (tab. 4.5). Speciální tepelně-izolační vrstvy mívají vlastní tloušťky cca 5 ÷ 10 cm, vždy je však nutné je chránit před mechanickým poškozením v průběhu stavby, např. vrstvou z písku, či drti v tloušťce alespoň 5 cm.

Vodní režim	Dovolené tloušťky promrznutí zemin zemní pláně h_{dov} [m]					
	zeminy vysoce namrzavé zeminy nebezpečně namrzavé			zeminy namrzavé zeminy mírně namrzavé		
	Druh tratě					
	A	B	C	A	B	C
příznivý	0,30	0,40	0,50	0,50,	0,60	0,70
nepříznivý	0,15	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
velmi nepříznivý	0,00	0,15	0,30	0,30	0,40	0,50

Tab. 4.6 Hodnoty přípustného promrznutí zemin zemní pláně

Vysvětlivky k tab. 4.6: A - celostátní tratě pro rychlost 120 až 160 km.h^{-1}
B - celostátní tratě pro rychlost menší než 120 km.h^{-1}
C - regionální tratě

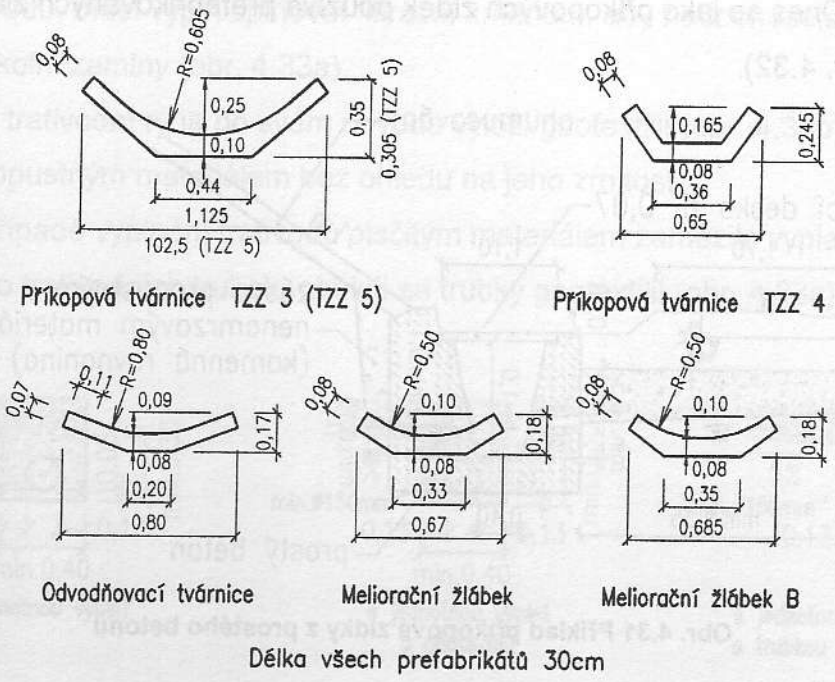
4.3 Odvodnění železničního spodku

Těleso železničního spodku musí být trvale zajištěno proti negativním účinkům povrchových a podzemních vod. Vzhledem k doporučenému trasovacímu prvku – vodorovné – není tento úkol vždy jednoduše splnitelný. Odtok srážkových vod ze zemní pláně bývá zajištěn jejím příčným sklonem, který by měl být 5,0 %. Sklon povrchu zemní pláně může být buď střechovitý nebo jednostranný. Příčným sklonem je voda z pláně odváděna buď do svahů náspů, nebo do odvodňovacích zařízení. Z hlediska přístupnosti při údržbě se odvodňovací zařízení člení na otevřená a krytá.

4.3.1 Otevřená odvodňovací zařízení

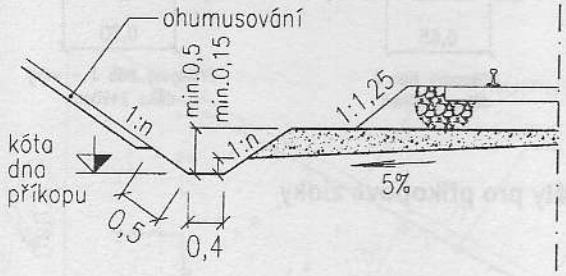
Otevřenými odvodňovacími zařízeními, odvádějícími vodu z povrchu tělesa, jsou především příkopy. Při podélném sklonu 0,4 ÷ 2,5 % mohou být nezpevněné (obr. 4.27), při menším, či větším podélném sklonu by hrozilo jejich zanášení splaveninami, respektive vymílání dna. Při jiných podélných sklonech musí být dno zpevněno příkopovými tvárnicemi (obr. 4.26, 4.28). Při podélných sklonech nad 10 % se navrhují skluzy a kaskády.

Pokud nelze z důvodu stísněných poměrů v zářezu navrhnout příkopy, je možné je nahradit příkopovými zídkami, či žlaby různých tvarů (obr. 4.31, 4.32).

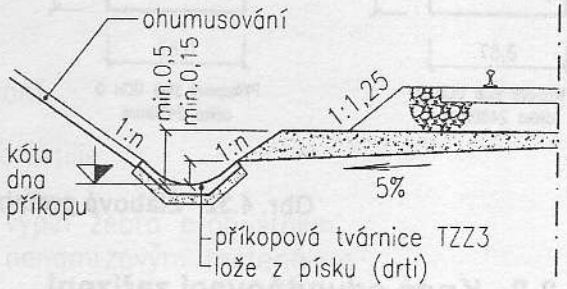


Obr. 4.26 Příkopové, odvodňovací a meliorační tvárnice

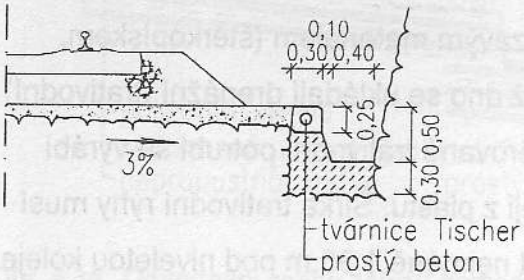
Nejmenší hloubka příkopu pod kótou pláně tělesa železničního spodku je 0,5 m a alespoň 0,15 m pod hranou zemní pláně s konstrukční vrstvou (obr. 4.27), nejmenší šířka ve dně bez použití příkopových tvárnic je pak 0,4 m. K odvedení vody z rozsáhlých ploch nad železničním zářezem se navrhují náhorní příkopy (obr. 4.30).



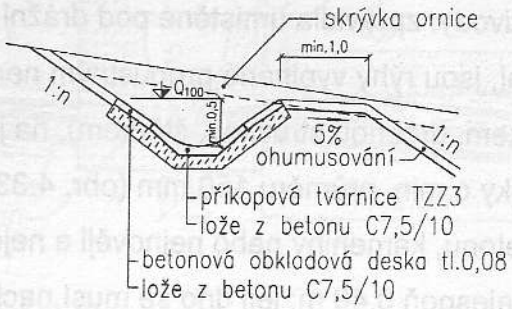
Obr. 4.27 Nezpevněný příkop



Obr. 4.28 Zpevněný příkop



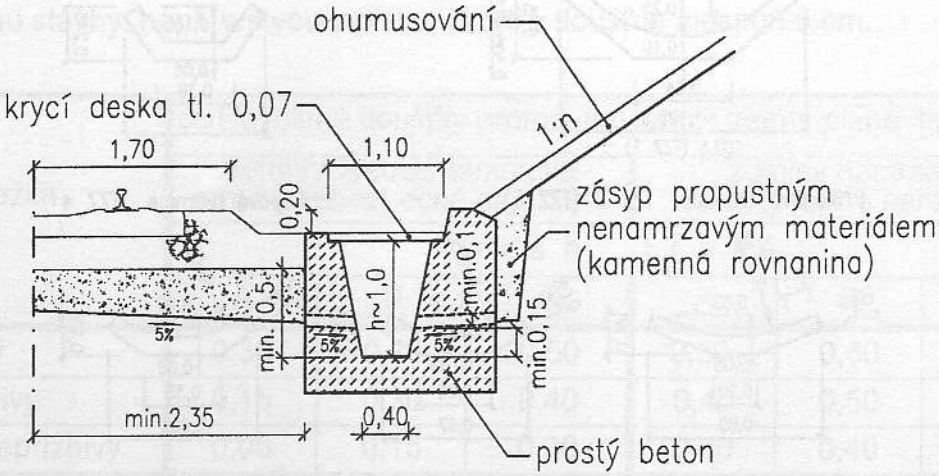
Obr. 4.29 Příkop ve skalní hornině



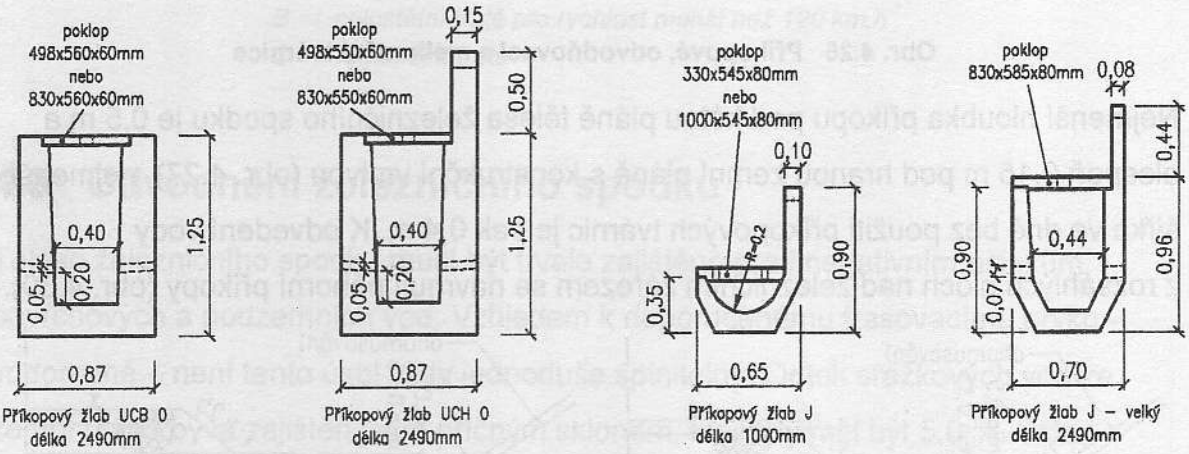
Obr. 4.30 Náhorní příkop

Příkopové zídky se projektují v soudržných zeminách proto, aby se snížil objem výkopových prací v hlubokých zářezech. Do takto vzniklého příkopu se otvory ve stěnách příkopových zídek odvodňuje jednak pražcové podloží a jednak přilehlý svah

(obr. 4.31). Dnes se jako příkopových zídek používá prefabrikovaných žlabů krytých poklopy (obr. 4.32).



Obr. 4.31 Příklad příkopové zídky z prostého betonu



Obr. 4.32 Žlabové prefabrikáty pro příkopové zídky

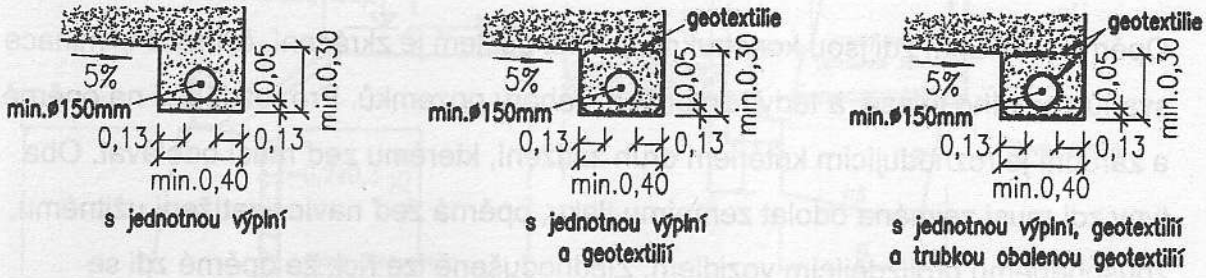
4.3.2 Krytá odvodňovací zařízení

Mezi krytá odvodňovací zařízení náleží zejména trativody s příslušenstvím a šachty. Trativody, zpravidla umístěné pod drážní stezkou na trati s nepropustnou zemní plání, jsou rýhy vyplněné propustným nenamrzavým materiálem (štěrkopískem, pískem, drcenou struskou, štěrkem), na jejichž dno se ukládají drenážní (trativodní) trubky o min. průměru 150 mm (obr. 4.33). Děrované trativodní potrubí se vyrábí z betonu, kameniny nebo nejnověji a nejčastěji z plastu. Šířka trativodní rýhy musí být alespoň 0,40 m; její dno se musí nacházet nejméně 1,35 m pod niveletou koleje a zároveň nejméně 0,30 m pod hranou zemní pláně v příčném sklonu. Podélný sklon trativodu má být alespoň 1 %. Šachty z betonu nebo plastu slouží k prohlídkám a čištění trativodů a rozdělují je na přímé úseky délky 30 ÷ 50 m. Volí-li se jednotná

výplň trativodu, musí výplň splňovat filtrační kriterium, aby nedocházelo k promísení výplně a okolní zeminy (obr. 4.33a).

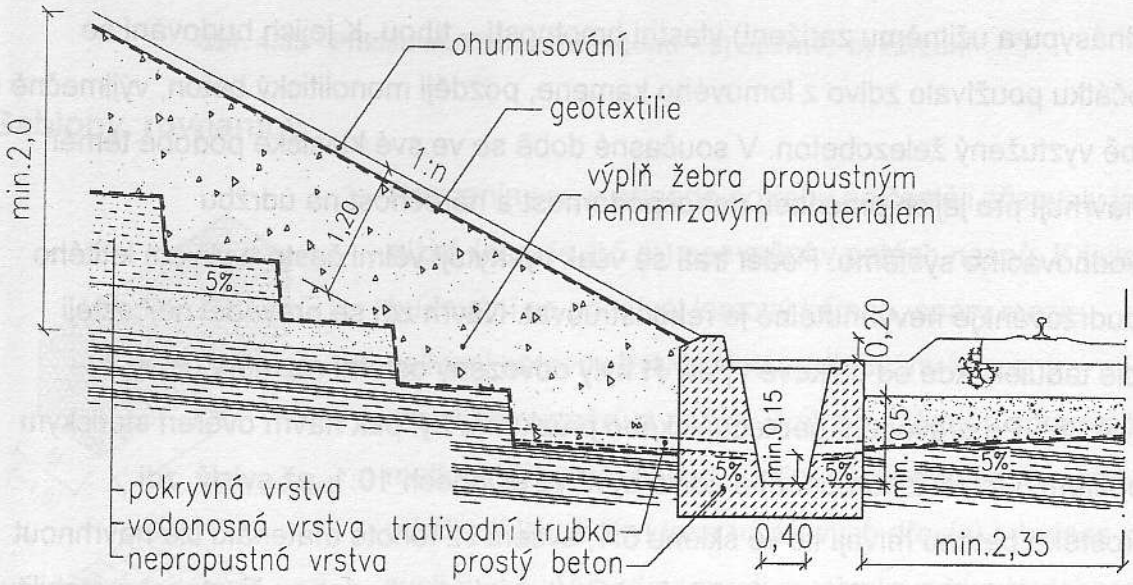
Jestliže se trativodní rýha po svém obvodu vyloží geotextilií (obr. 4.33b), lze vyplnit trativod propustným materiálem bez ohledu na jeho zrnitost.

Aby se v případě vyplnění trativodu písčitým materiálem zamezilo vyplavování výplně trativodu do trativodních trubek, obalují se trubky geotextilií (obr. 4.33c).



Obr. 4.33 Příklady úprav trativodů podle jejich výplně

K odvedení podzemní vody ze svahu zářezu je možné vybudovat nad horní hranu zářezu náhorní trativod. Trativod má být veden od horní hrany zářezu ve vzdálenosti rovné výšce zářezu (min. 15 m). Další možností sanace nestabilních svahů je zřízení štěrkových žeber o šířce cca 0,8 m ve vzdálenosti cca 5 až 10 m (obr. 4.34).



Obr. 4.34 Odvodnění svahu zářezu pomocí štěrkového žebra

4.4 Stavby železničního spodku

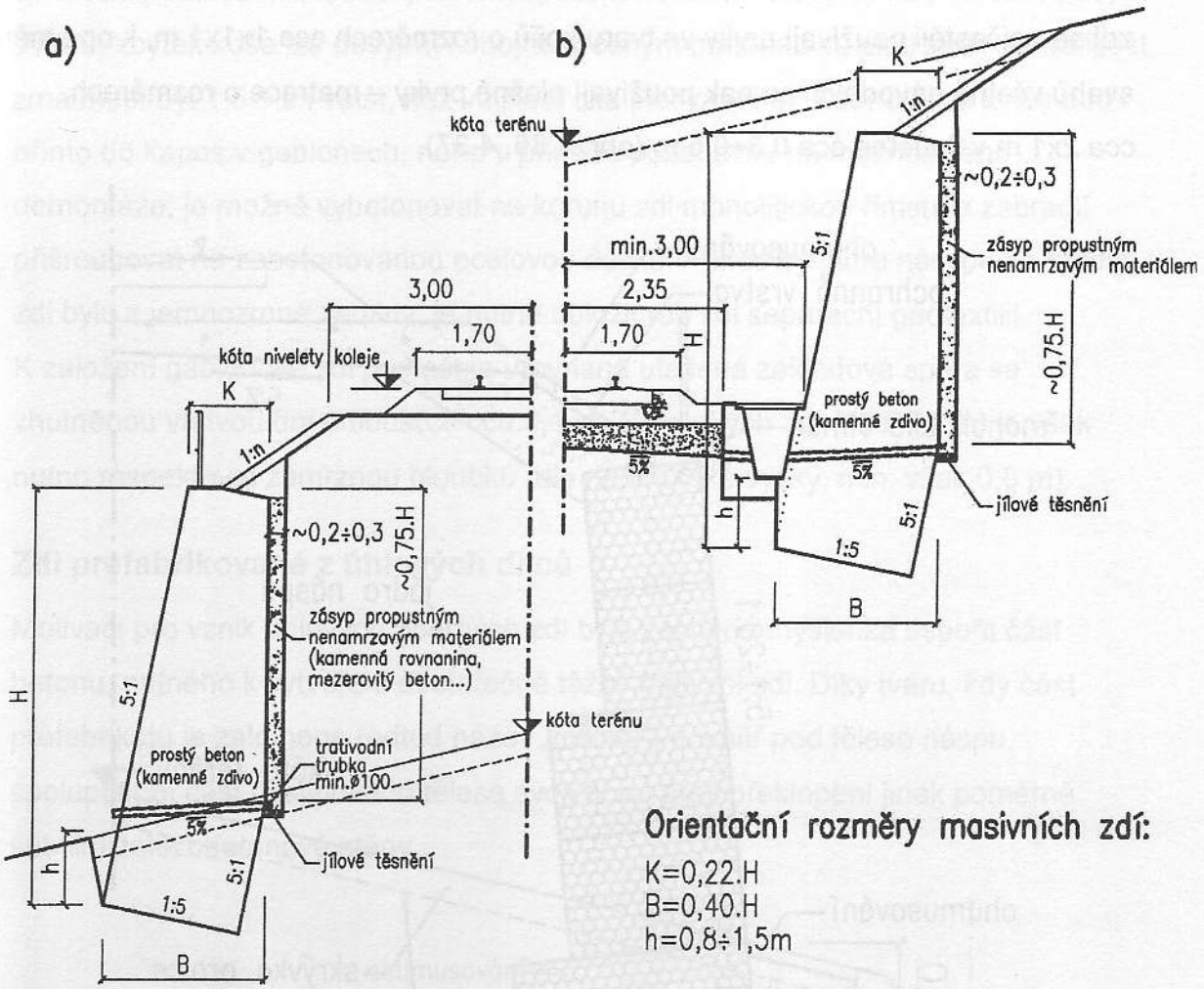
Stavby železničního spodku jsou umělé stavební objekty, mající za úkol buď úplně, nebo částečně nahradit těleso železničního spodku, případně souvisí s jeho odvodněním, či ochranou životního prostředí. Patří mezi ně opěrné, zárubní a obkladní zdi, protihlukové stěny, propustky, mosty, tunely, galerie, apod.

4.4.1 Zdi v železničním spodku

Opěrné a zárubní zdi jsou konstrukce, jejichž účelem je zkrácení, či úplná eliminace svahů zemního tělesa, a tedy i zmenšení záboru pozemků. Pro rozdělení na opěrné a zárubní je rozhodujícím kritériem druh zatížení, kterému zeď musí odolávat. Oba typy zdí musí zejména odolat zemnímu tlaku, opěrná zeď navíc i zatížení užitnému, způsobenému projíždějícím vozidlem. Zjednodušeně lze říci, že opěrné zdi se nejčastěji nacházejí pod úrovní pláně tělesa železničního spodku a zárubní naopak nad její úrovní. Podle historického vývoje, použitého materiálu a statického působení lze zdi rozdělit na masivní (tížní), gabionové (dříve rovnaniny), zdi budované technologií vyztužených zemin, zdi z úhlových dílců, zdi srubové a pilotové stěny.

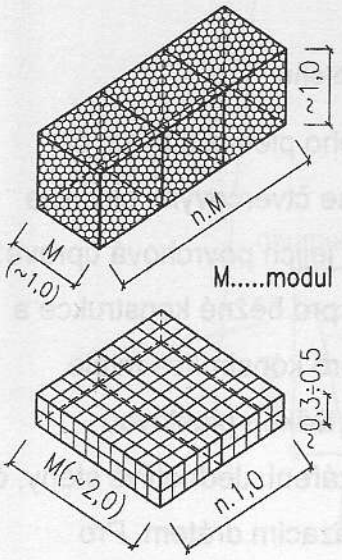
Zdi masivní

Masivní (tížní, gravitační) zdi odolávají zatížení od zemního tlaku (případně i z nadnásypu a užitnému zatížení) vlastní hmotností – tíhou. K jejich budování se zpočátku používalo zdivo z lomového kamene, později monolitický beton, výjimečně i slabě vyztužený železobeton. V současné době se ve své klasické podobě téměř nenavrhují pro jejich pracnost, nehospodárnost a náročnost na údržbu odvodňovacího systému. Podél tratí se však vyskytují velmi často a vlivem letitého podudržování je nevyhnutelné je rekonstruovat. Návrh zdí se prováděl nejčastěji podle tabulek, kde od celkové výšky H byly odvozeny ostatní rozměry (B, K, h – obr. 4.35). Po provedení geotechnického průzkumu byl pak návrh ověřen statickým výpočtem. Líc zdí z kamenného zdiva bývá ve sklonech 10:1, až svislý, zdi z prostého betonu mívají líc ve sklonu 5:1, ovšem i z tohoto materiálu lze navrhnout zeď se svislým lícem. Pro správnou funkci zdi a její dlouhodobou životnost a stabilitu je nutné za jejím rubem vytvořit plošný svislý drén z propustného materiálu, z něhož je voda vyvedena skrz zeď na její líc a dále do terénu, či odvodňovacího zařízení.



Obr. 4.35 Příklad masivní zdi z betonu – a) opěrné, b) zárubní

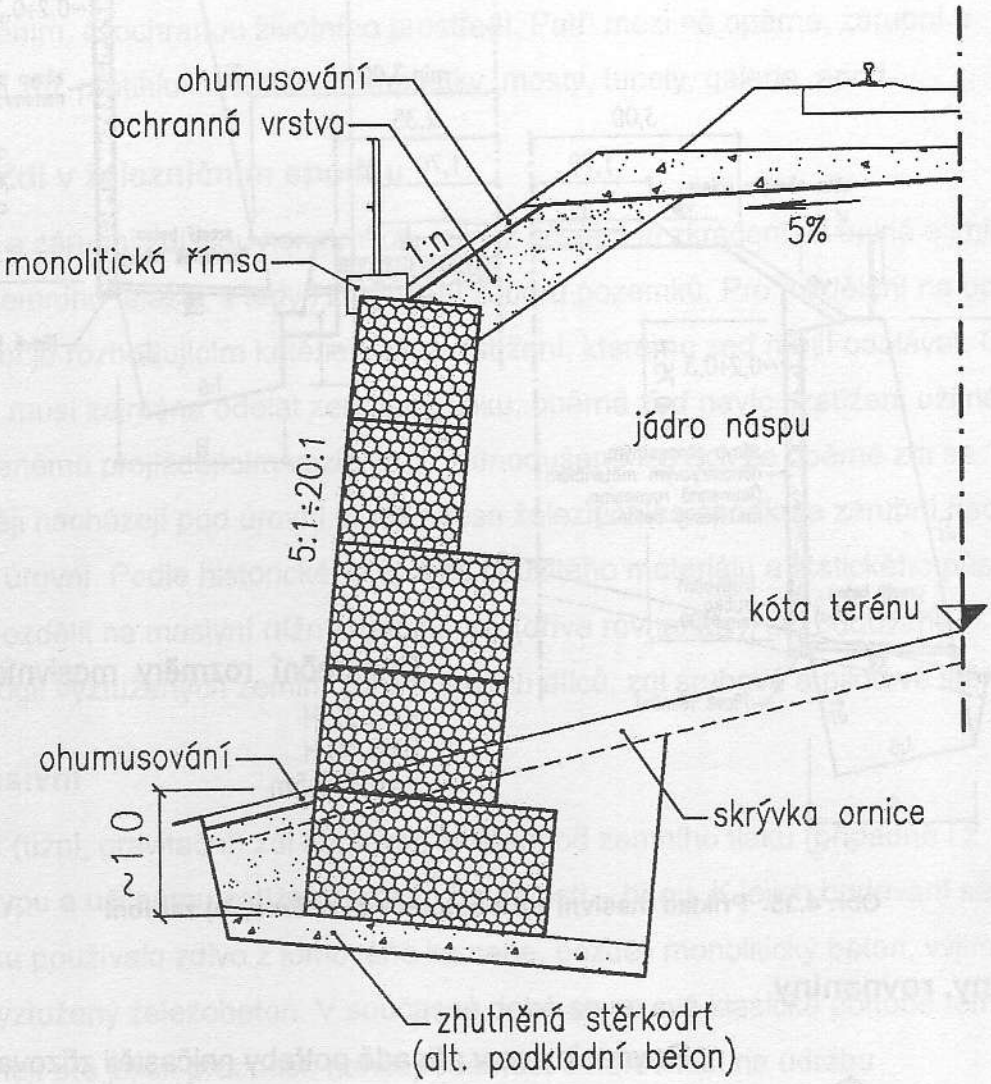
Gabiony, rovnaniny



Obr. 4.36 Příklady gabionů

Rovnaniny se v případě potřeby nejčastěji zřizovaly jako nízká (cca do 1,5 m) opevnění v patách náspů. K jejich budování se používal lomový kámen, spáry mezi velkými kameny byly pouze vyklínovány kameny menších rozměrů a nebyly vyplněny žádnou spárovací maltou. Výborně plnily a v případě alespoň minimální údržby (hlavně likvidace náletových dřevin) i dodnes plní svoji funkci. Výhodou oproti masivním zdem je dokonalá drenážní funkce a skutečnost, že nevyžadují žádný hlubinný základ. Snahou skloubit dohromady výhody tížních zdí (jednoduché statické schéma) a kamenných rovnanin (dokonalé odvodnění, jednoduché zakládání) vznikly prostorové prvky se stěnami z drátěné síťoviny

vyplněné lomovým, či jiným vhodným (i umělým) kamenem – **gabiony**. Pro stavbu zdí se nejčastěji používají prvky ve tvaru košů o rozměrech cca 1x1x1 m, k opevnění svahů včetně návodních se pak používají plošné prvky – matrace o rozměrech cca 2x1 m v tloušťce cca 0,3÷0,5 m (obr. 4.36, 4.37).



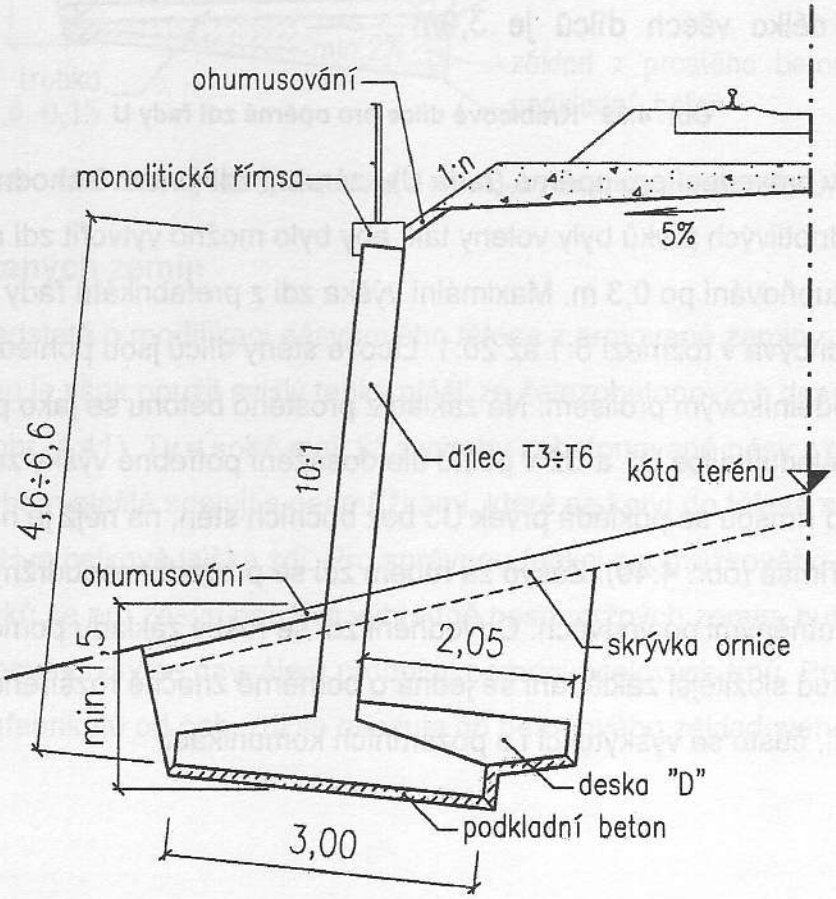
Obr. 4.37 Příklad opěrné zdi z gabionů

Ke zhotovení drátěného koše je možné použít buď ocelového pletiva s šesti, či osmihrannými oky nebo svařované sítě z ocelových drátů se čtvercovými oky. Dle požadavku na životnost a umístění ocelových prvků se volí jejich povrchová úprava: Bez úprav pro dočasné konstrukce, s žárovým zinkováním pro běžné konstrukce a s potažením zinkovaného drátu vrstvou PVC cca 0,5 mm pro konstrukce trvale ponořené do vody. Drátěnou stěnu je také možné nahradit těžkou plastovou geomřížkou, která však musí být odolná proti slunečnímu záření. Jednotlivé stěny, či celé koše se v hranách spojují drátěnými spirálami nebo vázacím drátem. Pro dodržení požadovaného tvaru košů po jejich naplnění – rovinatosti pohledových stěn se protilehlé stěny propojují distančními sponami. K vyplnění drátěných košů se

zpravidla používá nezvětrávající lomový kámen (ručně rovnaný) na pohledovou stranu, zbytek koše lze dosypat i strojně drceným materiálem, platí však, že velikost zrna musí být 1,5 ÷ 2x větší, než velikost oka pletiva (sítě). Zábradlí lze kotvit buď přímo do kapes v gabionech, nebo v případě požadavku na možnost jeho demontáže, je možné vybetonovat na korunu zdi monolitickou římsu, a zábradlí přišroubovat na zabetonovanou ocelovou desku. Pokud by jádro násypu za rubem zdi bylo z jemnozrnné zeminy, je nutné obložit rub zdi separační geotextilií.
K založení gabionové zdi postačuje urovnaná utažená základová spára se zhutněnou vrstvou drti o tloušťce cca 0,1 m. U vysokých zdí (nad 1,5 m) je však nutno respektovat zámrznou hloubku (dle nadmořské výšky, min. však 0,8 m).

Zdi prefabrikované z úhlových dílců

Motivací pro vznik úhlových opěrných zdí byla zejména myšlenka uspořit část betonu, nutného k vytvoření dostatečně těžké masivní zdi. Díky tvaru, kdy část prefabrikátu je zalomena (odtud název „úhlové") dovnitř pod těleso náspu, spolupůsobí část násypového tělesa svojí tíhou proti překlopení jinak poměrně subtilní železobetonové stěny.

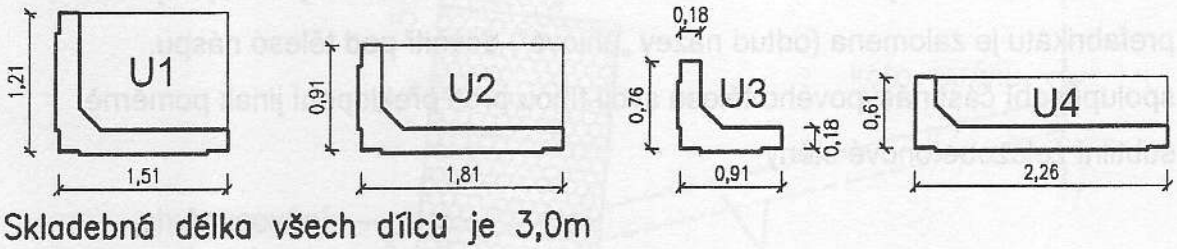


Obr. 4.38 Opěrná zeď z úhlových dílců T

Běžně se používá prefabrikátů tvaru L a obráceného T, kde překlopení kolem paty zdi brání ještě základový předstupek (obr. 4.38). Navíc lze prefabrikáty T3 až T6 doplnit o desku D, čímž se míra spolupůsobení zeminy násypového tělesa za rubem zdi proti překlopení zdi ještě zvýší. Skladebná délka prefabrikátů řady T je 1,5 m. Díky svému tvaru, vyžadujícímu širokou základovou spáru, se tento typ nepoužívá pro zřizování zdí zárubních.

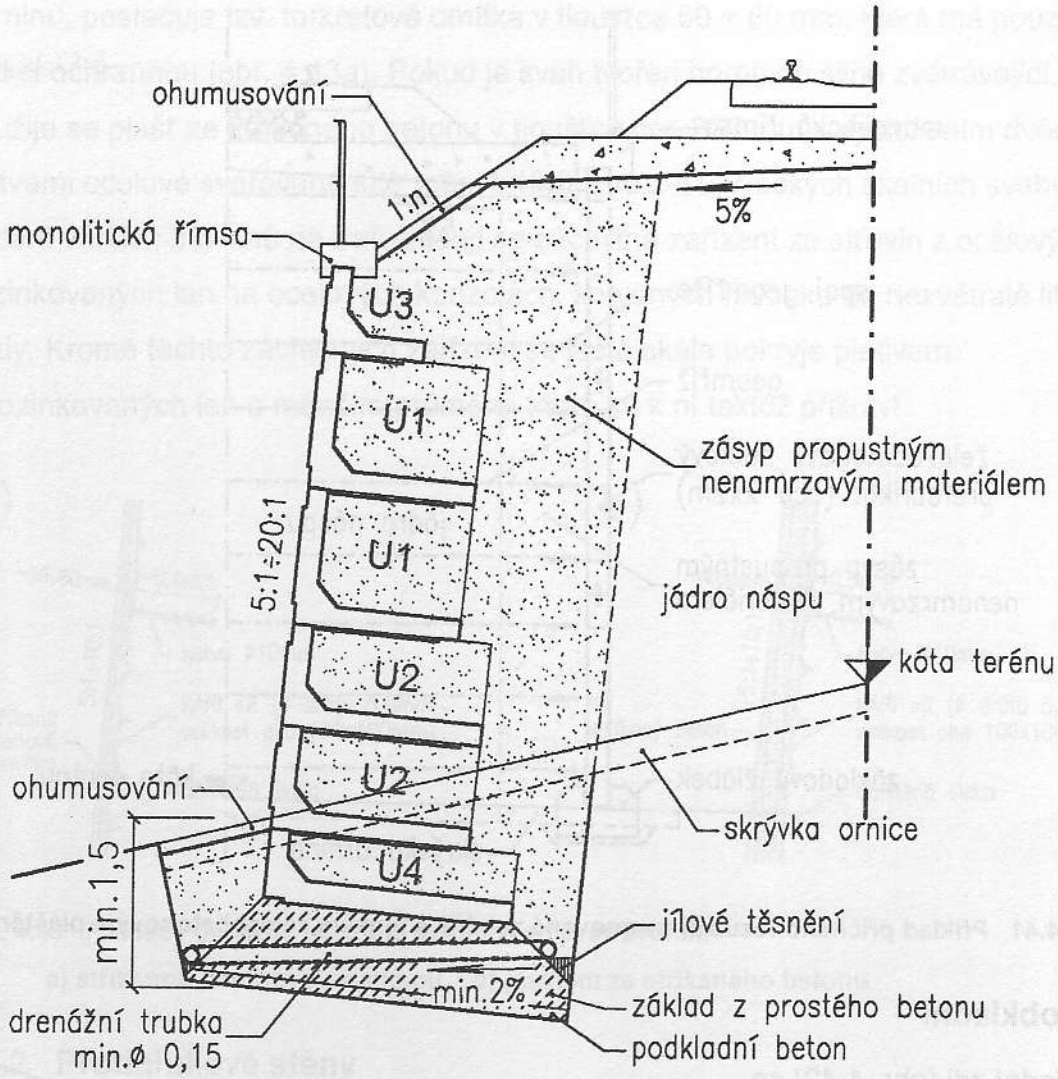
Zdi prefabrikované krabicové

Za vznikem krabicových dílců stojí taktéž myšlenka využít tíhu zeminy za rubem zdi ke zvýšení její stability. Místo velkých těžkých úhlových dílců se však používají mnohem menší a hlavně lehčí krabice s chybějícími stěnami, k jejichž montáži postačuje běžný autojeřáb (obr. 4.39).



Obr. 4.39 Krabicové dílce pro opěrné zdi řady U

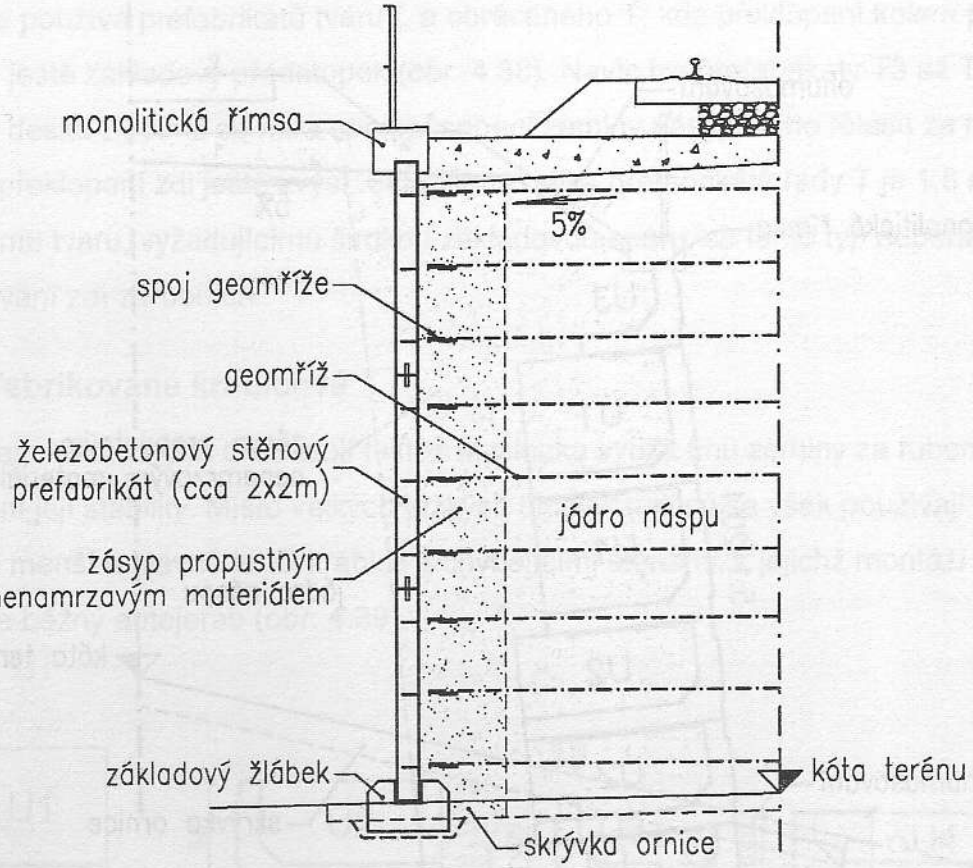
Vyrábějí se v provedení pro opěrné (řada U) i zárubní zdi (tvarově shodná řada PU). Rozměry jednotlivých prvků byly voleny tak, aby bylo možno vytvořit zdi různých výšek v odstupňování po 0,3 m. Maximální výška zdi z prefabrikátů řady U je 7,0 m. Sklon líce zdi bývá v rozmezí 5:1 až 20:1. Lícové stěny dílců jsou pohledově upraveny obdélníkovým prolisem. Na základ z prostého betonu se jako první pokládá dílec U4, následují dílce U1 a U2 v počtu dle dosažení potřebné výšky zdi. Jako poslední pod římsou se pokládá prvek U3 bez bočních stěn, na nějž je nabetonována monolitická římsa (obr. 4.40). Zásyp za rubem zdi se provádí nesoudržnými zeminami, hutněnými po vrstvách. Odvodnění zdi se řeší v základu pomocí trativodů. I přes poněkud složitější zakládání se jedná o poměrně značně rozšířenou konstrukci opěrných zdí, často se vyskytující i u pozemních komunikací.



Obr. 4.40 Příčný řez opěrnou zdí z krabicových prefabrikátů řady U

Zdi z vyztužených zemin

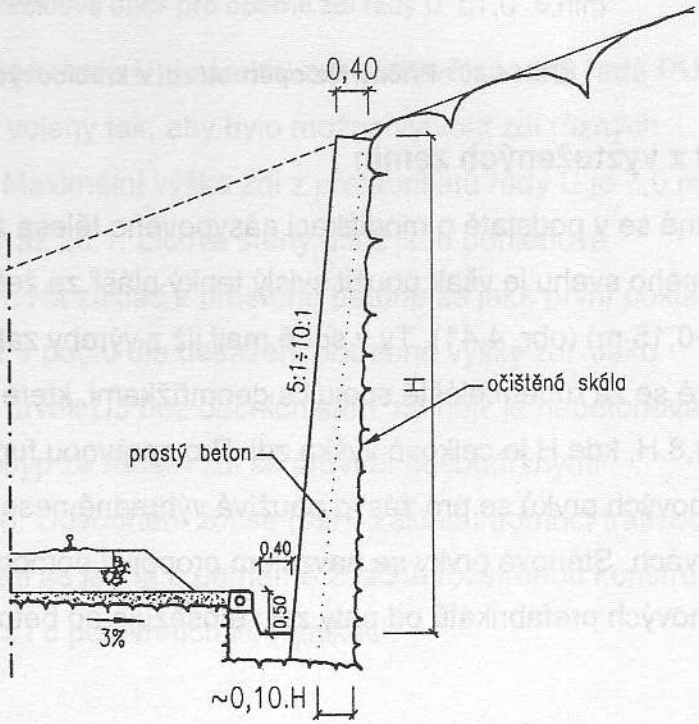
Jedná se v podstatě o modifikaci násypového tělesa z armované zeminy, namísto šikmého svahu je však použit svislý tenký plášť ze železobetonových desek (tl.~0,15 m) (obr. 4.41). Ty v sobě mají již z výroby zabetonované pásy z geomřížek, které se za rubem pláště spojují s geomřížkami, které se kotví do tělesa na délku L=0,8.H, kde H je celková výška zdi. Pro správnou funkci geomřížkového kotvení stěnových prvků se pro zásyp používá výhradně nesoudržných zemin, hutněných po vrstvách. Stěnové prvky se navzájem propojují pomocí ocelových trnů. První řada stěnových prefabrikátů od paty zdi se osazuje do betonového základového žlábku.



Obr. 4.41 Příklad příčného řezu zdí z armované zeminy s tenkým železobetonovým pláštěm

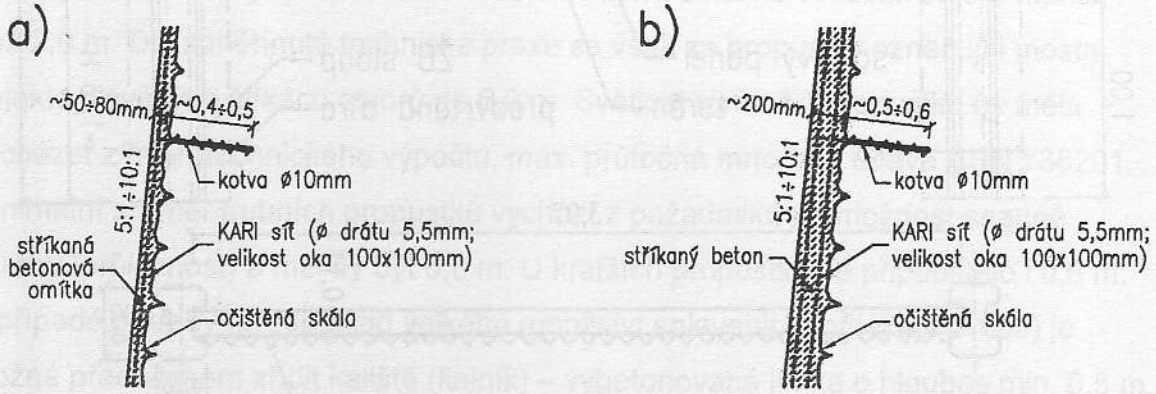
Zdi obkladní

Obkladní zdi (obr. 4.42) se používaly v minulosti jako ochrana skalních zářezových svahů před zvětráváním. Bývají nejčastěji monolitické, případně slabě vyztužené svařovanou sítí. Vzhledem k zemnímu tělesu nemají žádnou statickou funkci, dimenzovány jsou pouze na vlastní tíhu. Dnes se ve své původní podobě již nenavrhují z důvodu značné nehospodárnosti a i horší funkčnosti (poměrně tlustá zeď se často oddělila od skály a do spáry zatékalo). Nově se skalní svahy chrání stříkaným betonem. Pokud se nejedná o silně zvětrávající



Obr. 4.42 Příčný řez obkladní zdí

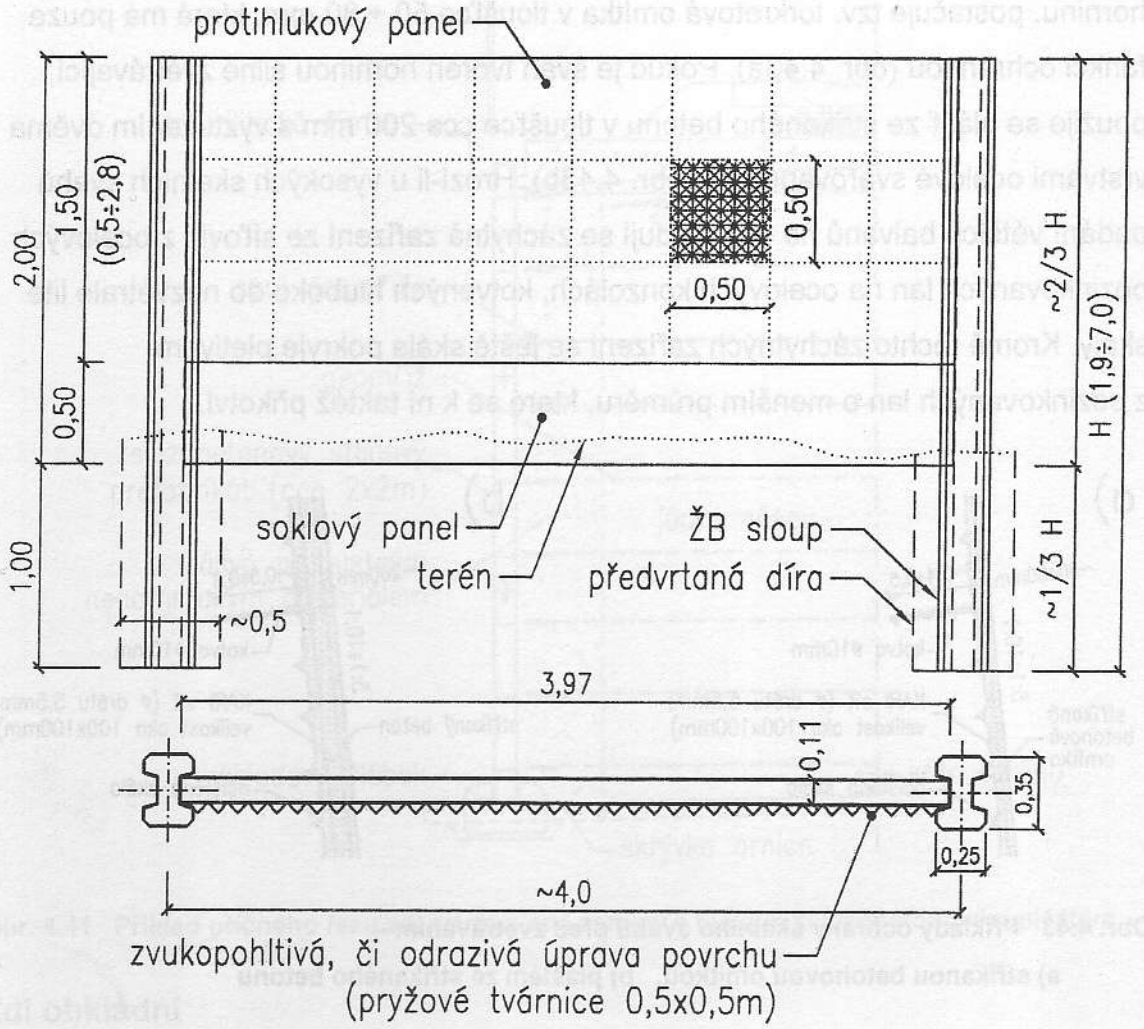
horninu, postačuje tzv. torkretová omítka v tloušťce 50 ÷ 80 mm, která má pouze funkci ochrannou (obr. 4.43a). Pokud je svah tvořen horninou silně zvětrávající, použije se plášť ze stříkaného betonu v tloušťce cca 200 mm s vyztužením dvěma vrstvami ocelové svařované sítě (obr. 4.43b). Hrozí-li u vysokých skalních svahů padání větších balvanů na trať, budují se záchytná zařízení ze síťovin z ocelových pozinkovaných lan na ocelových konzolách, kotvených hluboko do nezvětralé lité skály. Kromě těchto záchytných zařízení se ještě skála pokryje pletivem z pozinkovaných lan o menším průměru, které se k ní taktéž přikotví.



Obr. 4.43 Příklady ochrany skalního svahu před zvětráváním – a) stříkanou betonovou omítkou, b) pláštěm ze stříkaného betonu

4.4.2 Protihlukové stěny

Budují se v místech, kde je předpoklad ohrožení obyvatelstva hlukem vyšším, než dovolují hygienické limity. Nejvyšší účinnosti dosahují při výškách cca 2,0÷3,0 m nad temenem kolejnice, v závislosti na vzdálenosti od osy koleje. Protihlukové stěny se z hlediska akustického dělí na 2 základní typy: 1) pohltivé, 2) odrazivé, přičemž použití příslušného typu povrchu určí akustická studie pro stav po dokončení stavby. Toto dělení má však na konstrukci protihlukových stěn minimální vliv – vždy se jedná o svisle orientovanou desku z různých materiálů s různou povrchovou úpravou. Pokud nejsou zvýšené požadavky na estetické působení protihlukových stěn, používají se nejčastěji železobetonové desky s jednostrannou zvukopohltivou povrchovou úpravou (obr. 4.44). Protihlukové panely se vyrábějí buď pouze lehce zdrsněné, připravené pro nalepení protihlukových tvárnic z recyklované pryže (pneumatik), apod., nebo přímo s finální povrchovou úpravou (častěji u zvukoodrazivých panelů). U některých typů stěn se nejedná o panely, ale o rámy, které se následně vyplňují sendvičem ze zvukopohltivých materiálů.



Obr. 4.44 Základní součásti protihlukové stěny PHS 2

Sortiment protihlukových panelů je doplněn panely soklovými, které slouží jako výplň v nejspodnější části stěny, kde by protihlukový panel neplnil svůj účel. Rozměry jednotlivých prvků protihlukového systému PHS 2 jsou patrné z obr. 4.44. V místech, kde je obzvláště žádoucí, aby byl skrz protihlukovou zeď umožněn výhled, se nejčastěji používají stěny z desek z organického, i speciálního bezpečnostního tvrzeného skla, zasazených v ocelových metalizovaných rámech. V minulosti se pro zřizování zvukopohltivých výplní používaly též děrované cihelné bloky, které se však neosvědčují, protože díky povětrnostním vlivům dochází k jejich rozpadání. Pro všechny druhy protihlukových stěn platí, že musí být dimenzovány na zatížení větrem, tj. hloubka základu pod zemí bývá přibližně 1/3.H, kde H je celková výška svislého nosníku stěny. S touto skutečností je nutné počítat při návrhu kotvení protihlukových stěn na náspech a zejména na mostech.

Tam, kde to dovolují prostorové poměry, lze namísto protihlukové zdi navrhnout zemní protihlukový val. Je však třeba mít na paměti, že pro útlum hluku je důležitá i vzdálenost protihlukového opatření od osy koleje, pročež vlivem šikmosti svahů

budou zemní valy dosahovat horších výsledků útlumu, než stěny. Pro stavbu valu platí podobné podmínky, jako pro násypová tělesa, včetně možnosti použití armovaných zemin, šířka v koruně valu musí být nejméně 2,0 m. Svahy protihlukových valů se taktéž opatřují vegetačním ochranným krytem, který může být navíc doplněn i vyšší zelení. Ta však nesmí ohrožovat bezpečnost provozu na železniční trati.

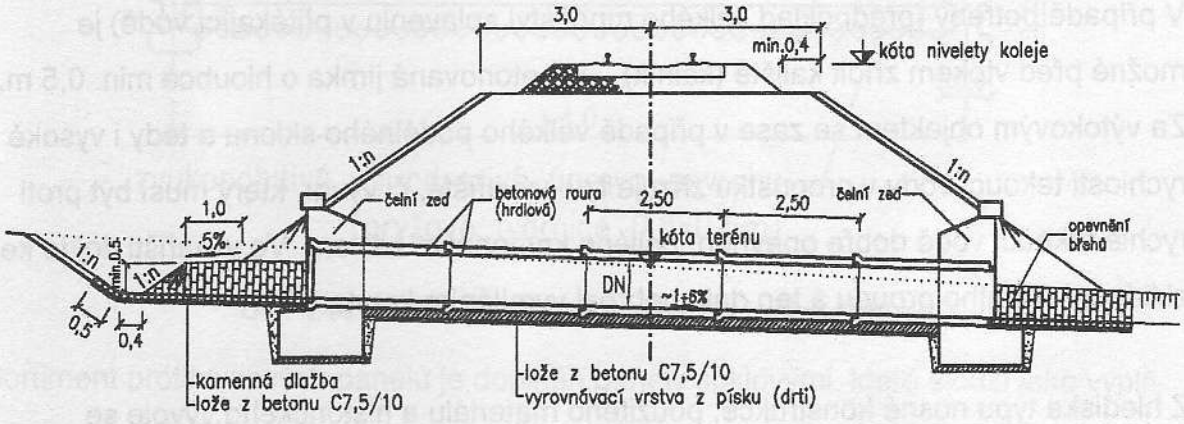
4.4.3 Propustky

Podle ČSN 736200 je propustkem nazýván objekt o kolmé světlosti otvoru menší, než 2,0 m. Dle zaběhnuté technické praxe se však za propustky označují i mostní objekty o světlých šířkách otvorů do 6,0 m. Světlost (průměr) propustku by měla vycházet z hydrotechnického výpočtu, max. průtočná množství udává ČSN 736201. Minimální průměr trubních propustků vychází z požadavku na možnost snadné údržby (průleznost) a měl by být 0,8 m. U kratších propustků se připouštělo i 0,6 m. V případě potřeby (předpoklad velkého množství splavenin v přitékající vodě) je možné před vtokem zřídit kaliště (kalník) – vybetonovaná jímka o hloubce min. 0,5 m. Za výtokovým objektem se zase v případě velkého podélného sklonu a tedy i vysoké rychlosti tekoucí vody v propustku zřizuje tzv. vývařiště, či vývar, který musí být proti rychle tekoucí vodě dobře opevněn, nejlépe kamenným zdivem. Ve vývařišti dojde ke zklidnění vodního proudu a ten dále nehrozí vymíláním koryta toku.

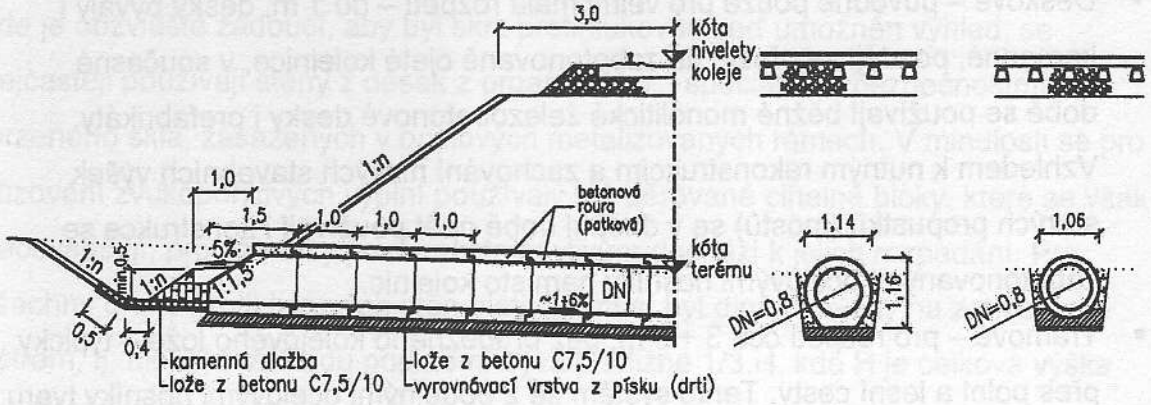
Z hlediska typu nosné konstrukce, použitého materiálu a historického vývoje se propustky dělí na:

- Deskové – původně pouze pro velmi malá rozpětí – do 1 m, desky bývaly i kamenné, později se přešlo na zabetonované ojeté kolejnice, v současné době se používají běžné monolitické železobetonové desky i prefabrikáty. Vzhledem k nutným rekonstrukcím a zachování nízkých stavebních výšek starých propustků (mostů) se v dnešní době opět používají i konstrukce se zabetonovanými ocelovými nosníky namísto kolejnic.
- Trámové – pro rozpětí cca 3 ÷ 6 m, bez průběžného kolejového lože – typicky přes polní a lesní cesty. Tento systém se 2 podélnými ocelovými nosníky tvaru I pod kolejnicemi v kombinaci s mostnicemi se na našich tratích dodnes velmi hojně vyskytuje a v tratích s rychlostí do 100 km.h^{-1} se pravděpodobně ještě dlouho vyskytovat bude. Pro ucelenost přehledu uveďme, že se používaly i trámové konstrukce dřevěné, v našich podmínkách však pouze jako dočasné.

- Klenbové – pro všechna rozpětí, kamenné i cihelné, často se vyskytují s vysokým nadnásypem, dnes se rekonstruují pouze v případech, když se jedná o kulturní technické památky, jinak se nahrazují trubními a rámovými propustky o větších průměrech.
- Trubní – dnes téměř výhradně nahrazují předchozí typy pro menší průtoky. Používají se výhradně železobetonové trouby hrdlové nebo patkové o průměru 0,8÷1,2 m. Dříve se pro účely železničního stavitelství používaly speciálně navržené osmiboké trouby. Propustek z hrdlových trub musí být zakončen čelními zdmi (obr. 4.45), ze sortimentu patkových trub lze k zakončení propustku použít vtokový / výtokový kus se sešikmeným čelem (obr. 4.46), který však musí být vytažen cca 0,5 m před patu náspu, aby nemohlo dojít k přesypání čela. Betonové trouby se ukládají do betonového lože a je nutné je důkladně odizolovat. Pokud nad troubou zbývá nadnásyp menší, než 1,5 m, obetonuje se celá.



Obr. 4.45a Podélný řez propustkem z hrdlových trub

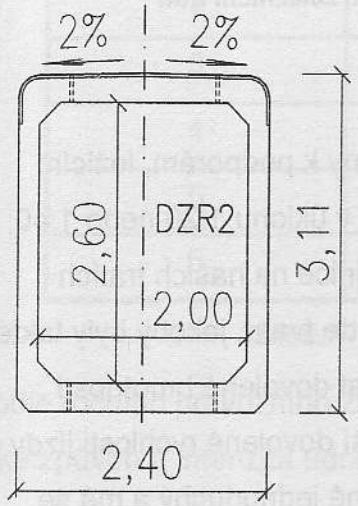


Obr. 4.46 Podélný a příčný řez propustkem z patkových trub

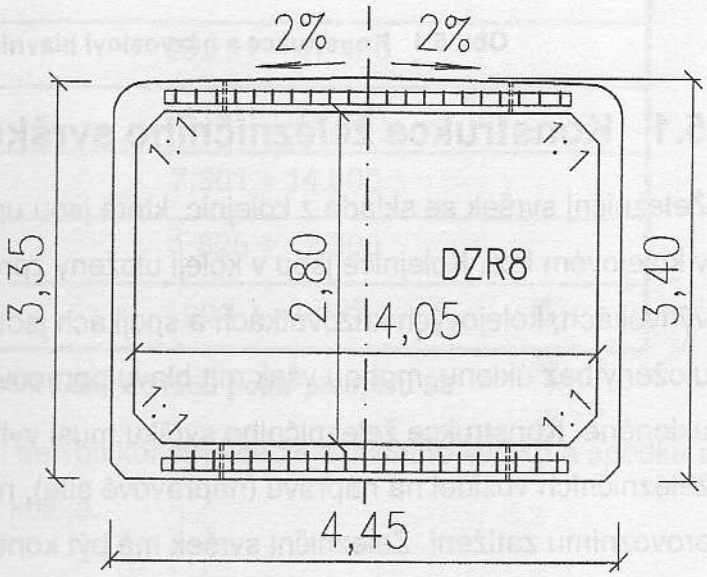
Obr. 4.45b Příčný řez propustkem z hrdlových trub

Ocelové roury se používají pouze k dočasnému převedení vodoteče pod tělesem z důvodu možné koroze. Na trhu jsou dále dostupné trouby plastové a kompozitní o průměrech až 2 m, vykazující v některých směrech (jako například drsnost, či spíše hladkost vnitřní stěny) podstatně lepší vlastnosti, jež jsou ovšem vyvážené cenou.

- Rámové – nové, prefabrikované téměř univerzálně použitelné konstrukce, vhodné pro zřizování propustků (dílce DZR 2, 3, 4) (obr. 4.47), zavazadlových tunelů, podchodů, i podjezdů na jednopruhových komunikacích (dílce DZR 5, 6, 7, 8) (obr. 4.48). Pokud jsou mělce založeny (nadloží 0,5÷1,0 m), spojují se po usazení na betonový podklad petlicovými spoji z betonářské výztuže, které se zmonolitňují. Skladebné délky dílců DZR jsou 1,5 nebo 2,0 m.



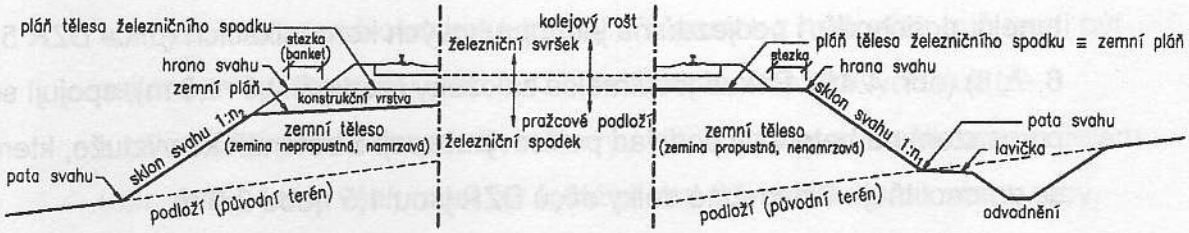
Obr. 4.47 Rámový dílec DZR 2



Obr. 4.48 Rámový dílec DZR 8

5 Železniční svršek

Železniční svršek je konstrukce, která tvoří jízdní dráhu pro pohybující se železniční vozidla. Její hlavní funkcí je bezpečné vedení vozidel a přenášení statického i dynamického zatížení ze železničního svršku na železniční spodek (obr. 5.1).



Obr. 5.1 Konstrukce a názvosloví hlavních částí železniční trati

5.1 Konstrukce železničního svršku

Železniční svršek se skládá z kolejnic, které jsou upevněny k podporám, ležícím v kolejovém loži. Kolejnice jsou v koleji uloženy zpravidla v úklonu 1:20 nebo 1:40; ve výhybkách, kolejových křižovatkách a spojkách jsou kolejnice na našich tratích uloženy bez úklonu, mohou však mít hlavu opracovanou do tvaru, jakoby byly taktéž ukloněné. Konstrukce železničního svršku musí vyhovovat dovolené hmotnosti železničních vozidel na nápravu (nápravové síle), nejvyšší dovolené rychlosti jízdy a provoznímu zatížení. Železniční svršek má být konstrukčně jednoduchý a má se skládat z malého počtu součástí, má umožnit jednoduchou montáž i stavbu, snadnou opravu výškové i směrové polohy kolejnicových pásů a snadnou výměnu jednotlivých opotřebovaných nebo poškozených součástí. Železniční svršek má mít v provozních podmínkách co nejdelší životnost a má umožňovat hospodárnou údržbu.

5.1.1 Základní součásti železničního svršku

- kolejnice
- kolejnicové podpory
- drobné kolejivo a upevňovadla: spojky, podkladnice, vložky, svěrky, spony, šrouby, matice, podložky, vrtule, pružné kroužky, případně další
- kolejové lože, případně deska (desky) pevné jízdní dráhy

Zemní pláň, konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a část kolejového lože (popř. část konstrukčních vrstev pevné jízdní dráhy) pod ložnou plochou pražce (nebo konstrukce pražec nahrazující) vytvářejí pražcové podloží (obr. 5.1).

5.1.2 Provozní zatížení tratí

Koleje v naší železniční síti se začleňují do 6 řádů podle jejich výsledného přepočteného skutečného provozního zatížení. Provozní zatížení se počítá vždy pro ucelený traťový úsek podle předpisu S3, který shrnuje všechny zásady konstrukce železničního svršku u nás. Přepočtené provozní zatížení za rok se vyjadřuje v mil. hrubých tun. Rozdělení kolejí do řádů podle provezené zátěže je v tab. 5.1.

Řád koleje	Provozní zatížení v mil. hrt za 1 rok
1	nad 47,450
2	29,201 ÷ 47,450
3	14,601 ÷ 29,201
4	7,301 ÷ 14,600
5	1,825 ÷ 7,300
6	pod 1,825

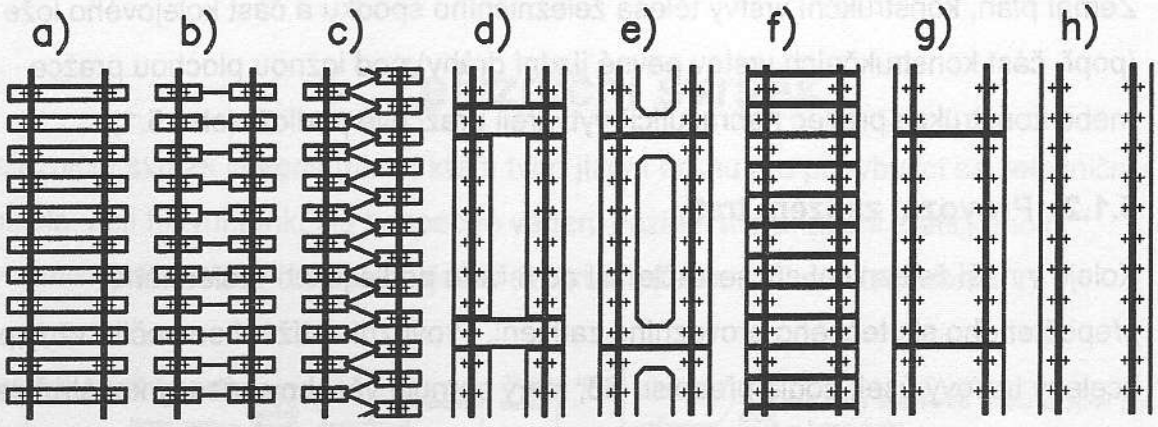
Tab. 5.1 Rozdělení kolejí do řádů podle předpisu S3

Podle ročního provozního zatížení se volí konstrukce železničního svršku a spodku a také způsob a intenzita udržování koleje.

5.1.3 Konstrukce koleje

Jízdní dráhu pro železniční vozidla tvoří kolej. Jsou to dva kolejnicové pásy upevněné na podpory. Kolejnicové pásy se vytvářejí spojením jednotlivých kolejnic spojkami nebo svařením. Podle druhu použitých podpor, na kterých jsou upevněny kolejnicové pásy, se rozeznává:

- kolej na příčných pražcích (obr. 5.2a) - betonových, dřevěných, ocelových
- kolej na blokových pražcích (obr. 5.2b) - betonové bloky vstřícně umístěné jsou navzájem spojeny ocelovým profilem,
- kolej na betonových blocích (obr. 5.2c) - betonové bloky ve vzájemné posunuté poloze jsou spojeny ocelovými profily vždy se dvěma protilehlými
- kolej na podélných prazích (obr. 5.2d) z předpjatého betonu
- kolej na roštové konstrukci (obr. 5.2e) z předpjatého betonu
- kolej na deskových pražcích (obr. 5.2f) z předpjatého betonu
- kolej na prefabrikované desce (obr. 5.2g) z předpjatého betonu
- kolej na monolitické desce (obr. 5.2h) ze železového betonu.



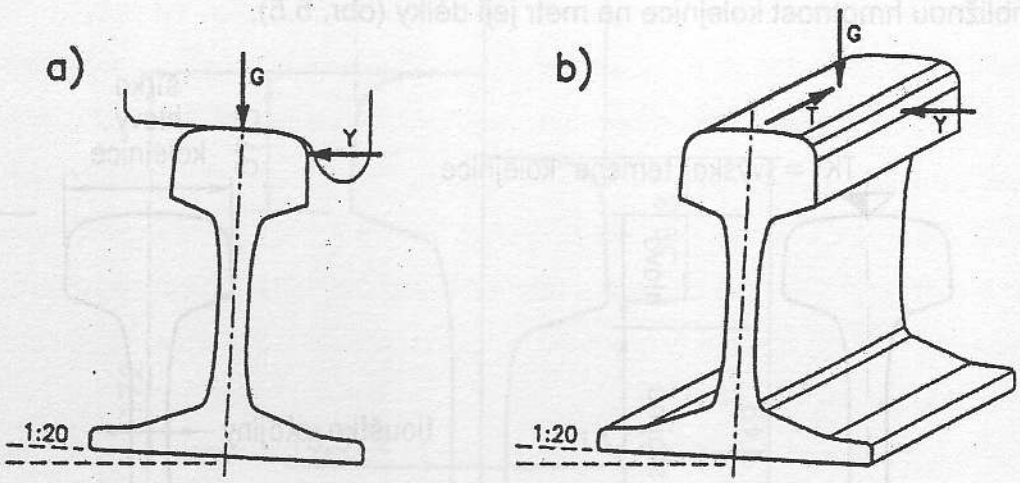
Obr. 5.2 Základní typy konstrukcí koleje

Nejrozšířenější konstrukcí koleje je kolej na příčných pražcích, které jsou uloženy v kolejovém loži. Tato konstrukce se nazývá klasickou kolejí nebo kolejí s klasickým železničním svrškem. Při klasické konstrukci železničního svršku vytvářejí jednotlivé kolejnicové pásy upevněné na pražcích kolejový rošt, resp. kolejové pole. Vlastní konstrukční prvky kolejového roštu – kolejnice, upevňovadla, pražce, se navrhují podle provozního zatížení trati a rozdělení kolejí do řádů. Určující charakteristikou tvaru (soustavy, typu) železničního svršku je hmotnost 1 bm kolejnice a počet pražců na 1 km koleje, případně i způsob upevnění kolejnice na pražce. Kolej na deskové konstrukci tvoří tzv. pevnou jízdní dráhu.

5.2 Kolejnice

Kolejnice, jako základní konstrukční prvek jízdní dráhy, má za úkol zabezpečit vedení železničních vozidel a přenášení veškerých sil vznikajících provozem na podpory. Kolejnice jsou nejvíce namáhaným prvkem koleje, protože přicházejí do bezprostředního styku s koly vozidel, která jim předávají na malých styčných ploškách velké statické tlaky a dynamické rázy, jejichž velikost, charakter a směr se neustále mění. Pod jejich účinky se kolejnice prohýbá ve svislém i vodorovném směru a materiál na její hlavě se obrušuje a roztlačuje. Hnací kola lokomotiv při přenosu tažné síly a dále pak kola všech vozidel při brždění vyvozují v kolejnici podélné osové síly. Další podélné síly jsou vyvolávány tepelnými změnami v případech, kdy kolejnice nemůže volně dilatovat. Tvar a rozměry kolejnice a její materiál musí vyhovovat všem těmto požadavkům. Schéma namáhání kolejnice je na obr. 5.3.

Tvar průřezu kolejnice vychází z provozních podmínek (rychlost, hmotnost na nápravu, množství přepravované zátěže, směrové a sklonové poměry a další),



Obr. 5.3 Schéma namáhání kolejnice – a) kolem vozidla v klidu
b) kolem vozidla jedoucího a teplotními změnami

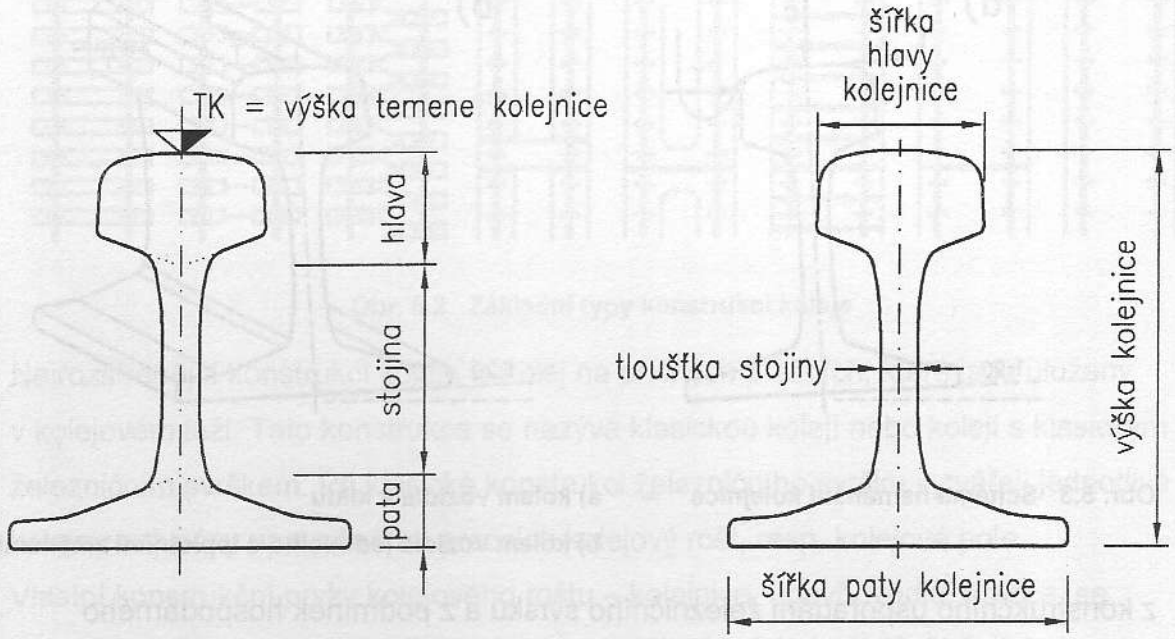
z konstrukčního uspořádání železničního svršku a z podmínek hospodárného udržování železničního svršku. Pro porovnávání jednotlivých tvarů kolejnic se používá technicko-hospodářských ukazatelů:

- hmotnost kolejnice na metr délky
- výška kolejnice
- šířka hlavy kolejnice
- šířka stojiny kolejnice
- šířka paty kolejnice
- moment setrvačnosti kolejnice k vodorovné a svislé těžišťové ose
- průřezový modul kolejnice
- průřezová plocha kolejnice
- rozdělení hmoty v průřezu kolejnice
- stabilita kolejnice (poměr šířky paty k výšce kolejnice)
- výhodnost průřezu kolejnice (poměr průřezového modulu k hmotnosti kolejnice)
- tuhost kolejnice (poměr momentu setrvačnosti k hmotnosti kolejnice)

5.2.1 Tvary kolejnic

Historický vývoj tvaru kolejnice je velmi pestrý a směřuje od plochých litinových kolejnic až po dnes používané kolejnice širokopatní (Vignolové). Širokopatní kolejnice se skládá z hlavy, stojiny a paty (obr. 5.4). Hlava umožňuje dokonalý styk kola s kolejnicí a přejímá síly vzniklé vedením a nesením kola. Její tvar je ovlivněn tvarem nákolku a okolku kola. Boční stěny hlavy kolejnice jsou svislé nebo šikmé, rozšiřující hlavu směrem dolů. Tvar paty kolejnice odpovídá jednak přírubě nosníku z důvodů statických, jednak je ovlivněn opřením kolejnicových spojek o stojinu a

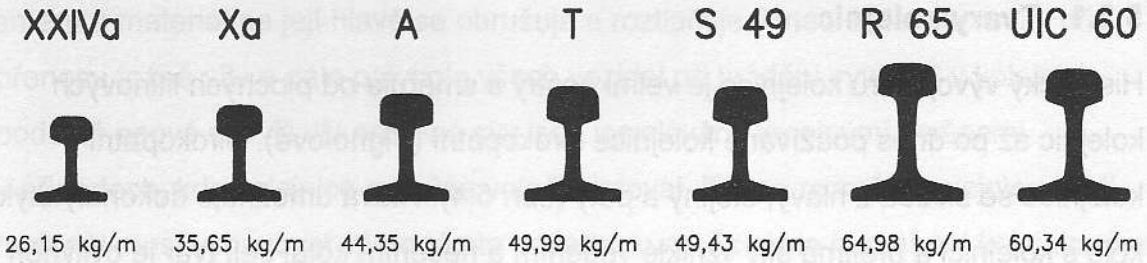
nakonec má pata umožnit dokonalé upevnění kolejnice k pražci. Tvar kolejnice se obvykle označuje písmeny a číslem (u starších tvarů římským), které udává přibližnou hmotnost kolejnice na metr její délky (obr. 5.5).



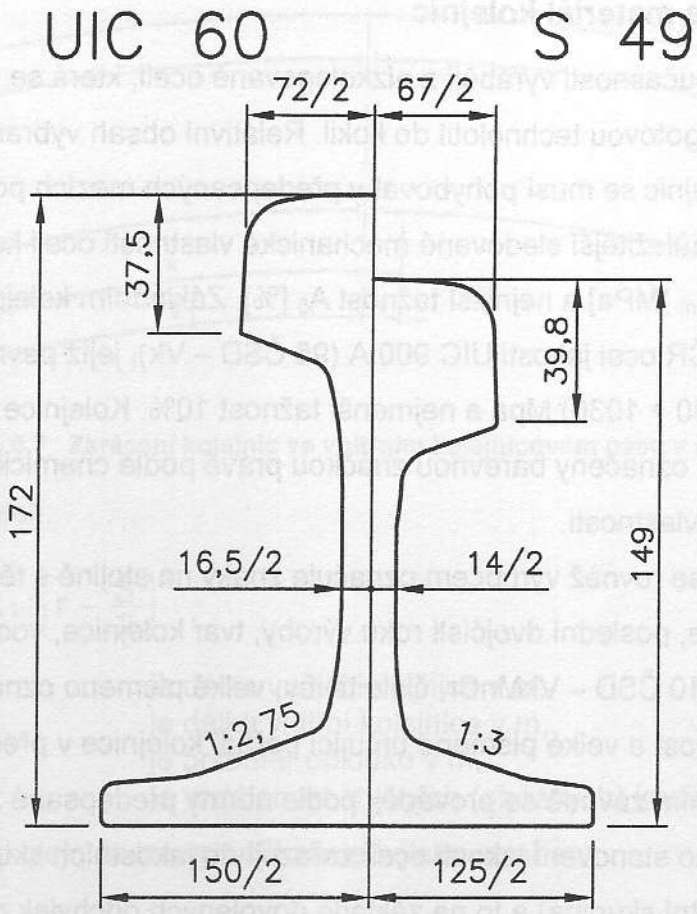
Obr. 5.4 Názvosloví a hlavní charakteristické rozměry širokopatní kolejnice

V roce 1918, při vzniku Československé republiky, bylo v naší železniční síti přes 150 soustav železničního svršku, pro něž bylo užito přes 100 různých tvarů kolejnic. Železniční správa ČSD se rozhodla, že nadále bude vyrábět a nově vkládat jen kolejnice tvarů Xa a A. Železniční svršek s kolejnicí tvaru A byl na našich tratích zaveden v roce 1903 a vyhovoval pro rychlost 100 km.h^{-1} a hmotnosti na nápravu 20 t.

Zvyšování rychlosti, hmotnosti na nápravu a intenzity přepravy vedly v roce 1929 k zavedení těžší kolejnice tvaru T, která vyhovovala pro výhledovou rychlost 150 km.h^{-1} a hmotnost na nápravu 25 t. V roce 1945 bylo rozhodnuto používat pouze kolejnice tvarů A a T.



Obr. 5.5 Tvary kolejnic užívané u nás (v síti býv. ČSD)



Obr. 5.6 Příčný řez kolejnicemi tvarů UIC 60 a S 49

V roce 1963 se započalo s výrobou a používáním těžší kolejnice tvaru R 65, která byla určena pro silně zatížené tratě. V roce 1970 byla zahájena výroba kolejnic tvaru S 49, která nahradila tvar T. V současné době se vyrábějí a používají kolejnice tvaru UIC 60 (které nahradily na zatížených tratích kolejnice tvaru R 65) a tvaru S 49. Vývoj průřezů kolejnic je zachycen na obr. 5.5. Průřezy a rozměry kolejnic dnes vyráběných a používaných tvarů S 49 a UIC 60 jsou na obr. 5.6. Základní parametry dnes užívaných tvarů kolejnic S 49 a UIC 60 jsou v tab. 5.2.

tvar kolejnice	výška kolejnice [mm]	šířka paty [mm]	tloušťka stojiny [mm]	šířka hlavy v úrovni temene [mm]	průřezová plocha [cm^2]	jednotková hmotnost [kg/m]
S 49	149	125	14,0	67,0	62,97	49,43
UIC 60	172	150	16,5	72,0	76,86	60,34

Tab. 5.2 Základní parametry kolejnic tvarů S 49 a UIC 60

5.2.2 Výroba a materiál kolejnic

Kolejnice se v současnosti vyrábějí z nízkolegované oceli, která se plynule odlévá do předlitků nebo ingotovou technolotií do kokil. Relativní obsah vybraných chemických prvků v oceli kolejnic se musí pohybovat v předepsaných mezích podle požadované jakosti. Mezi nejdůležitější sledované mechanické vlastnosti oceli kolejnic náleží pevnost v tahu R_m [MPa] a nejnižší tažnost A_5 [%]. Základním kolejnicovým materiálem je v ČR ocel jakosti UIC 900 A (95 ČSD – Vk), jejíž pevnost v tahu musí být v rozmezí (880 ÷ 1030) Mpa a nejmenší tažnost 10%. Kolejnice jsou na svých čelech výrobcem označeny barevnou značkou právě podle chemického složení oceli a mechanických vlastností.

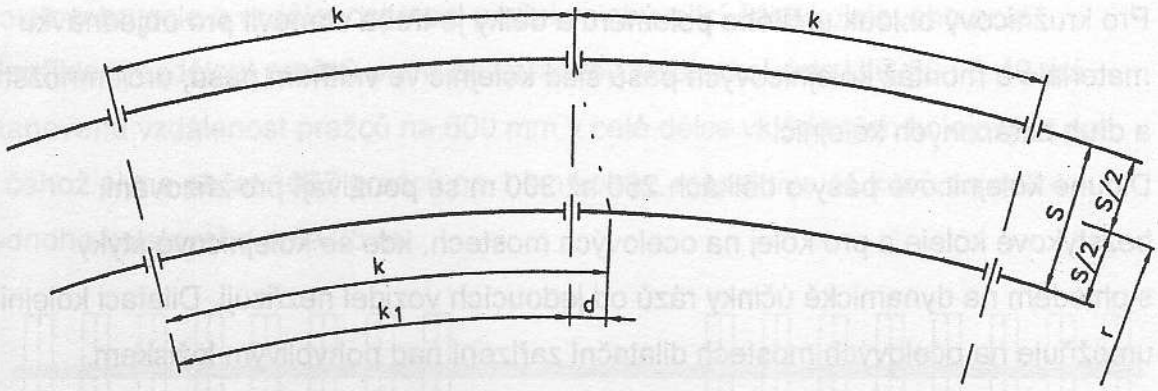
Každá kolejnice se rovněž výrobcem označuje znaky na stojině s těmito údaji: označení výrobce, poslední dvojčíslí roku výroby, tvar kolejnice, vodorovná čárka u kolejnic jakosti 110 ČSD – VkMnCr, číslo tavby, velké písmeno označující vypočtenou pevnost a velké písmeno určující pořadí kolejnice v předlitku nebo ingotu. Ve výrobním závodě se provádějí podle normy předepsané zkoušky jakosti. Kolejnice se mimo stanovení jakosti oceli zařazují do jakostních skupin (I. jakostní skupina, II. jakostní skupina) a to na základě dovolených odchylek od předepsaných rozměrů, obsahu jednotlivých prvků, geometrického tvaru, atd. Ve výrobním závodě se provádějí z každé tavby předepsané zkoušky jakosti. Přejímku kolejnic ve výrobním závodě provádí zástupce odběratele. Záruční doba kolejnic je pět let.

5.2.3 Délka kolejnic

Podle délky se kolejnice dělí na normální, zkrácené, dlouhé a abnormální. Jako normální délka kolejnice se označuje délka, která je u příslušné železniční správy používána jako základní. Tato délka kolejnice je stanovena u stykované koleje s ohledem na změny její délky vlivem teplotních změn a s ohledem na manipulaci a vlastní ukládání kolejnic do koleje. U nás je normální délka kolejnic 25 m.

U stykované koleje je nejběžnější způsob uspořádání styků v koleji vstřícný.

U vstřícného styku konce obou kolejnicových pásů v koleji leží v přímé na kolmici k ose koleje a v oblouku na normále k tečně oblouku. V kružnicovém oblouku, kde vnější kolejnicový pás je delší než vnitřní, se pro dosažení vstřícnosti styků vkládají do vnitřních kolejnicových pásů zkrácené kolejnice. Používá se zkrácených kolejnic, které jsou odstupňovány po 50 mm. Nejmenší délka zkrácené kolejnice je 24,80 m. Největší dovolená nevstřícnost ve styku je 25 mm.



Obr. 5.7 Zkrácení kolejnic ve vnitřním kolejnicovém pásu v oblouku

Podle obr. 5.7 platí:

$$k : \left(r + \frac{S}{2}\right) = k_1 : \left(r - \frac{S}{2}\right) \quad ,$$

kde k je délka vnější kolejnice v m,
k_1 je délka vnitřní kolejnice v m,
r je poloměr oblouku v m,
S je vzdálenost styčných (oběžných) kružnic v m.

Délku zkrácené kolejnice lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$k_1 = k \, . \, \frac{\left(r - \frac{S}{2}\right)}{\left(r + \frac{S}{2}\right)} [m] \quad ,$$

Předstih vnitřní kolejnice:

$$d = k - k_1 \cong \frac{k \, . \, 1{,}50}{r} [m] \quad .$$

Zkrácené kolejnice pro vnitřní kolejnicové pásy v obloucích musí být zřetelně označeny pomocí otvorů o průměru max. 15 mm, vyvrtanými v neutrální ose ve stojině kolejnice ve vzdálenosti 50 – 60 cm od konce kolejnice, a dále příslušným barevným označením na čele každé kolejnice. Zkrácení o 50 mm je vyznačeno jedním otvorem, zkrácení o 100 mm dvěma otvory, atd. Barevné označení čel kolejnic umožňuje rozlišení jednotlivých druhů zkrácených kolejnic na složišti. Podle nového způsobu značení se upouští od vrtání kruhových otvorů a zkrácené kolejnice se označují plechovými štítky. Plechové štítky mají pro uchycení otvor a upevňují se na obou koncích kolejnice drátovou spojkou z pérové oceli do spojkového otvoru vzdálenějšího od konce kolejnice. Hodnota zkrácení je na štítcích vyznačena příslušným počtem kruhových otvorů podle původního značení.

Pro kružnicový oblouk určitého poloměru a délky je třeba stanovit pro objednávku materiálu a montáž kolejnicových pásů sled kolejnic ve vnitřním pásu, určit množství a druh zkrácených kolejnic.

Dlouhé kolejnicové pásy o délkách 250 až 300 m se používají pro zřizování bezstykové koleje a pro kolej na ocelových mostech, kde se kolejnicové styky s ohledem na dynamické účinky rázů od jedoucích vozidel nezřizují. Dilataci kolejnic umožňuje na ocelových mostech dilatační zařízení nad pohyblivým ložiskem.

5.3 Kolejnicové podpory

Kolejnicovými podporami se rozumějí příčné a podélné pražce, betonové bloky, deskové pražce a betonové desky. V klasické konstrukci koleje, která je nejvíce rozšířená, tvoří kolejnicové podpory příčné pražce.

Pražce vytvářejí spolu s kolejnicovými pásy kolejový rošt, zajišťující stálost rozchodu koleje a roznášení účinků od pohybujících se vozidel z kolejnice do kolejového lože a dále do železničního spodku.

Horní plocha pražce se nazývá úložná a spodní plocha ložná. Hlavní zatížení příčného pražce představují svislé síly, při kterých se pražec deformuje. Ohybová čára zatíženého pražce odpovídá nerovnoměrnému průběhu reakce kolejového lože. Nejvyšších hodnot dosahuje v průřezech pod kolejnicemi, zatímco ve střední části pražce jsou záporné momenty.

Podle materiálu se příčné pražce dělí na:

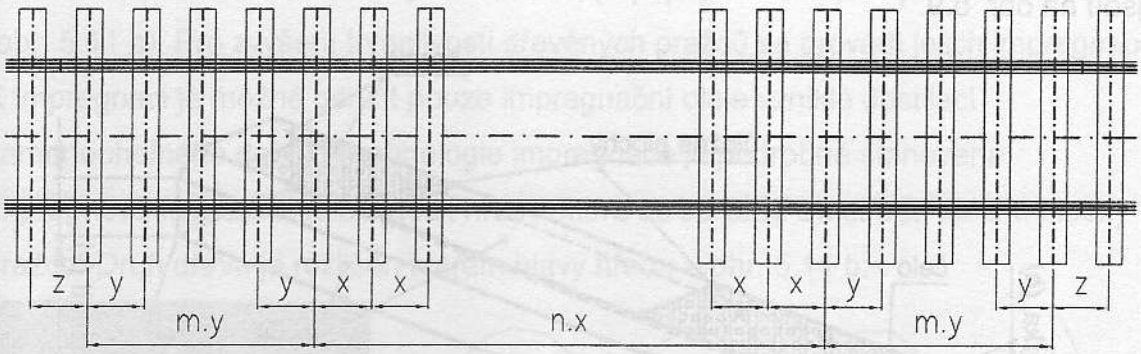
- dřevěné,
- betonové,
- ocelové,
- ostatní (plastové - ve vývoji)

U nás se v současné době používají obvykle betonové příčné pražce. V úsecích, kde jejich použití není vhodné, se použijí pražce dřevěné. U zahraničních železničních správ se na velmi zatížených tratích užívají různé konstrukce pevné jízdní dráhy.

Pražce vložené v kolejích s kolejovými obvody musí vykazovat předepsaný elektrický odpor.

Pražce se v přímé ukládají kolmo na osu koleje, ve směrových obloucích radiálně. Vzdálenost mezi podélnými osami sousedních pražců v koleji a zároveň počet pražců na 1 km koleje jsou stanoveny tzv. rozdělením pražců, které se označuje malými písmeny *b,c,d,e* a *u* (obr. 5.8, tab. 5.3). Podle rozdělení a materiálu pražců, tvaru kolejnic, délky vkládaných kolejových polí a spojování kolejnic je stanovena vzdálenost mezi pražci ve vnitřní části kolejového pole, délka obou krajních částí

kolejového pole a vzdálenost mezi pražci ve zbývající části kolejového pole. Například rozdělení pražců *u* pro bezstykovou kolej z kolejnic UIC 60 i S 49 má stanovenu vzdálenost pražců na 600 mm v celé délce vkládaných kolejových polí, z čehož plyne počet 1667 pražců na 1 km koleje, respektive 41 kusů na délku jednoho kolejového pole 25 m.



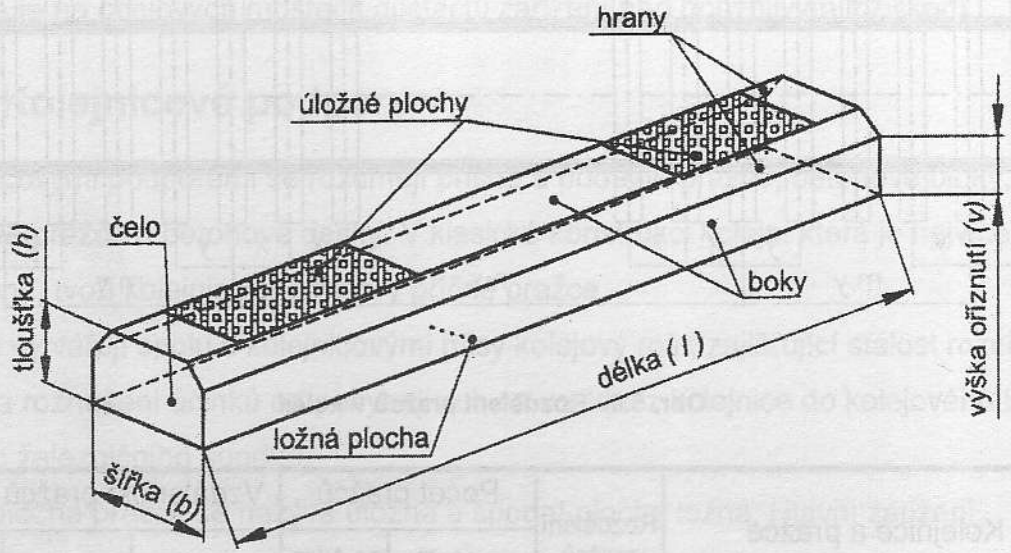
Obr. 5.8 Rozdělení pražců v koleji

Kolejnice a pražce	Rozdělení pražců	Počet pražců		Vzdálenost pražců [mm]		
		v KoP	na 1 km koleje	n . x	m . y	z
S49 – 25 m, pražce dřev., kolej stykovaná (podporovaný styk) (dvojčitý pražec je počítán jako 2 ks)	b	34	1360	31x755	1x676,5	250
	c	38	1520	35x674,5	1x575	250
	d	41	1640	32x611	4x651	250
	e	46	1840	39x544	1x591 2x590	250
S49 – 25 m pražce bet., kolej stykovaná (podporovaný styk)	b	34	1360	31 x755	1x656,5	290
	c	38	1520	35x674,5	1x555	290
	d	41	1640	32x611	4x646	290
	e	46	1840	39x544	1x583 2x584	290
S49 – 25 m, pražce dřev. i bet., kolej stykovaná se spojkami S (převislý styk)	b	34	1360	29x755	2x654,5	495
	c	38	1520	35x670	1x529	500
	d	41	1640	38x611	1x645	500
	e	46	1840	43x544	1x558	500
	u	42	1680	39x600	1x554	500
S49 – 25 m, pražce dřev. i bet., kolej bezstyková	c	38	1520	33x674,5		550
	d	41	1640	40x611	2x550	568
	e	46	1840	45x544		528
S49 – 24,60 m, bezstyková	u	41	1667	40x600		600
UIC60 – 25 m, stykovaná	u	42	1680	41 x596		572
UIC60 – 19,8 m, bezstyková	u	33	1667	32x600		600

Tab. 5.3 Rozdělení pražců pro svršek S 49 a UIC 60

5.3.1 Dřevěné pražce

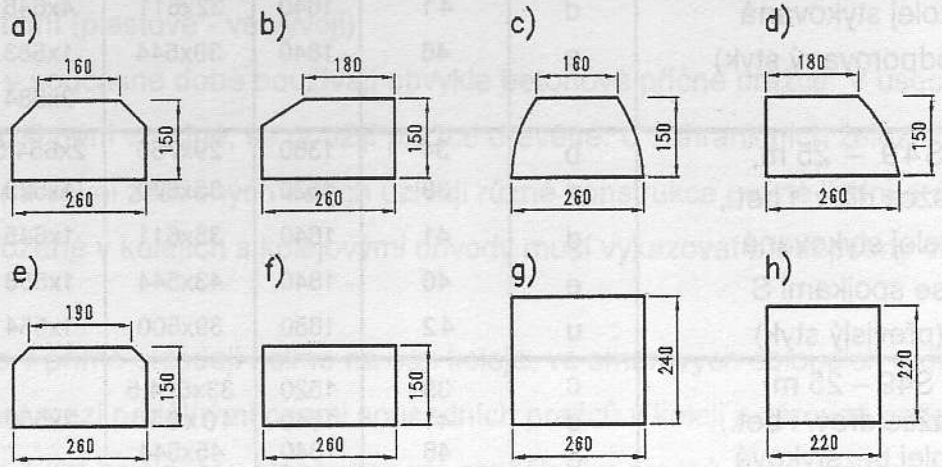
Již od samého počátku železnic se používalo dřevo na výrobu příčných pražců, protože jejich výroba je snadná, jsou dostatečně pevné a pružné při zatížení, umožňují jednoduché upevnění kolejnice, je snadná jejich regenerace a zároveň i dostatečná doba jejich životnosti. Názvy základních částí příčných dřevěných pražců jsou na obr. 5.9:



Obr. 5.9 Názvosloví dřevěných pražců

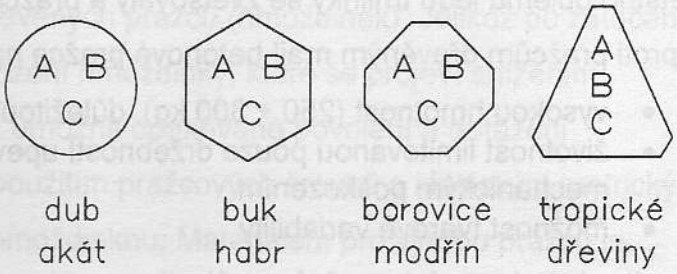
Mimo klasické pražce do koleje se vyrábějí výhybkové pražce a mostnice, které slouží pro uložení koleje na mostech bez průběžného štěrkového lože.

K výrobě pražců se používá dřeva tvrdého i měkkého. Pro SŽDC se pražce vyrábějí z dubu, buku, akátu, habru a tropických dřevin. Výhybkové pražce se dále mohou vyrábět z borovice a modřínu.



Obr. 5.10 Příklady tvarů dřevěných pražců a mostnic: a) hraněný centrický, b) hraněný excentrický, c) povalový centrický, d) povalový excentrický, e) a f) výhybkové pražce, g) a h) mostnice

Pražce jsou nejčastěji čtyřstranně tangenciálně řezané, a to ostrohranné, centrické a excentrické (obr. 5.10). Mostnice jsou čtyřstranně řezané, ostrohranné. Tvary a rozměry dřevěných pražců jsou dány předpisem. Běžné délky pražců jsou 2,5 a 2,6 m; šířka ložné plochy je 240 nebo 260 mm, výška 150 mm. Dřevěné pražce a mostnice se musí zajistit na obou čelech proti tvorbě trhlin protištěpnými destičkami, ocelovou páskou nebo dřevěným šroubem, příp. jiným vhodným způsobem (obr. 5.11 a). Pro zvýšení trvanlivosti dřevěných pražců se provádí jejich impregnace. K impregnaci je možné použít pouze impregnační oleje vzniklé destilací kamenouhelného dehtu. Technologie impregnace je podrobně stanovena. Impregnované pražce se označují hřeby, které se zarážejí do středu úložné plochy pražce. Druh dřeva je rozlišen tvarem hlavy hřebu – obr. 5.11 b:



Obr. 5.11a Protištěpná destička **Obr. 5.11b Označování impregnovaných dřevěných pražců**

Symboly na hlavách hřebů mají následující význam:

A – způsob impregnace:

- J – jednoduchý Rüping,
- D – dvojitý Rüping,
- L – modifikovaný způsob (Lawry),
- S – čtyřcyklický – do syta (Bethell).

B – Poslední dvojčíslí roku impregnace

C – Symbol impregnačního závodu (SB – Sublima Březnice, SO – Jihočeské dřevařské závody Soběslav, BU – Bučina Zvolen, BYS – Severomoravské závody Bystřice pod Hostýnem).

Životnost dřevěných pražců z měkkých dřevin je udávána cca 15 ÷ 20 let, bukových 25 ÷ 40 let a dubových 25 ÷ 60 let. Skutečná doba životnosti dřevěného pražce je závislá zejména na účinnosti impregnace, znečištění kolejového lože a stavu odvodňovacích zařízení. Dřevěný pražec používaný v kolejích a výhybkách s kolejovými obvody musí spolu s namontovaným upevněním vykazovat alespoň minimální hodnoty elektrického odporu. Dřevěné pražce se u nás již nově nevkládají ani do úzkorozchodných kolejí drah s veřejným provozem.

5.3.2 Betonové pražce

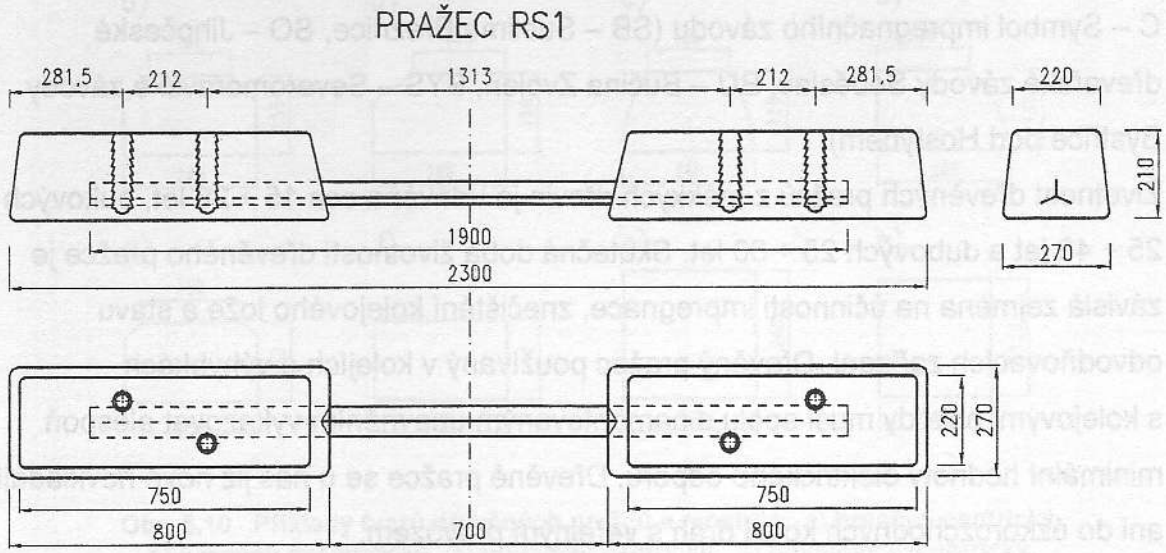
Železobetonové pražce se u bývalých ČSD začaly používat v 50. letech 20. století. Od té doby prošly mohutným vývojem, charakterizovaným řadou slepých uliček, i hromadně vyráběných typů pražců. Důvodem pro zahájení výroby pražců ze železového a později předpjatého betonu byl zejména nedostatek kvalitního dřeva, požadavek na zavádění bezstykové koleje (které nemohly lehké dřevěné pražce vyhovět z hlediska stability a dlouhodobě i držebnosti upevnění) a později i zvládnutí a rozvoj technologií předpínání betonu. Pražce železobetonové se neosvědčily. Vlivem opakovaného dynamického zatěžování vznikaly v železobetonových pražcích mikrotrhlinky, do kterých vnikala voda, která se v zimě proměnila v led a vlivem většího objemu ledu trhlinky se zvětšovaly a pražce se velmi brzy znehodnotily. Oproti pražcům dřevěným mají betonové pražce následující výhody:

- vysokou hmotnost (250 ÷ 300 kg), důležitou pro stabilitu bezstykové koleje
- životnost limitovanou pouze držebností upevňovadel a případným mechanickým poškozením
- možnost tvarové variability

Nevýhody betonových pražců spočívají v:

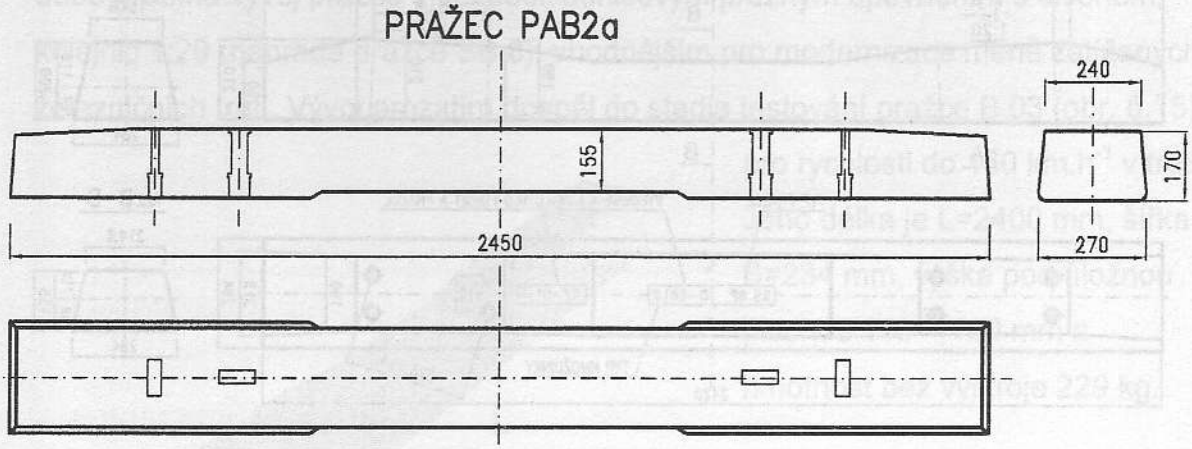
- nižší pružnosti betonu
- větší náchylnosti k mechanickému poškození
- namáhání kolejového lože větším dynamickým zatížením (cca o 25 %)

Podle tvaru lze betonové pražce rozdělit na dvě základní skupiny: pražce monoblokové z jednoho kusu betonu a pražce blokové, či dvojblokové, tvořené dvěma betonovými bloky, spojenými nejčastěji ocelovou tyčí o různém průřezu (obr. 5.12).



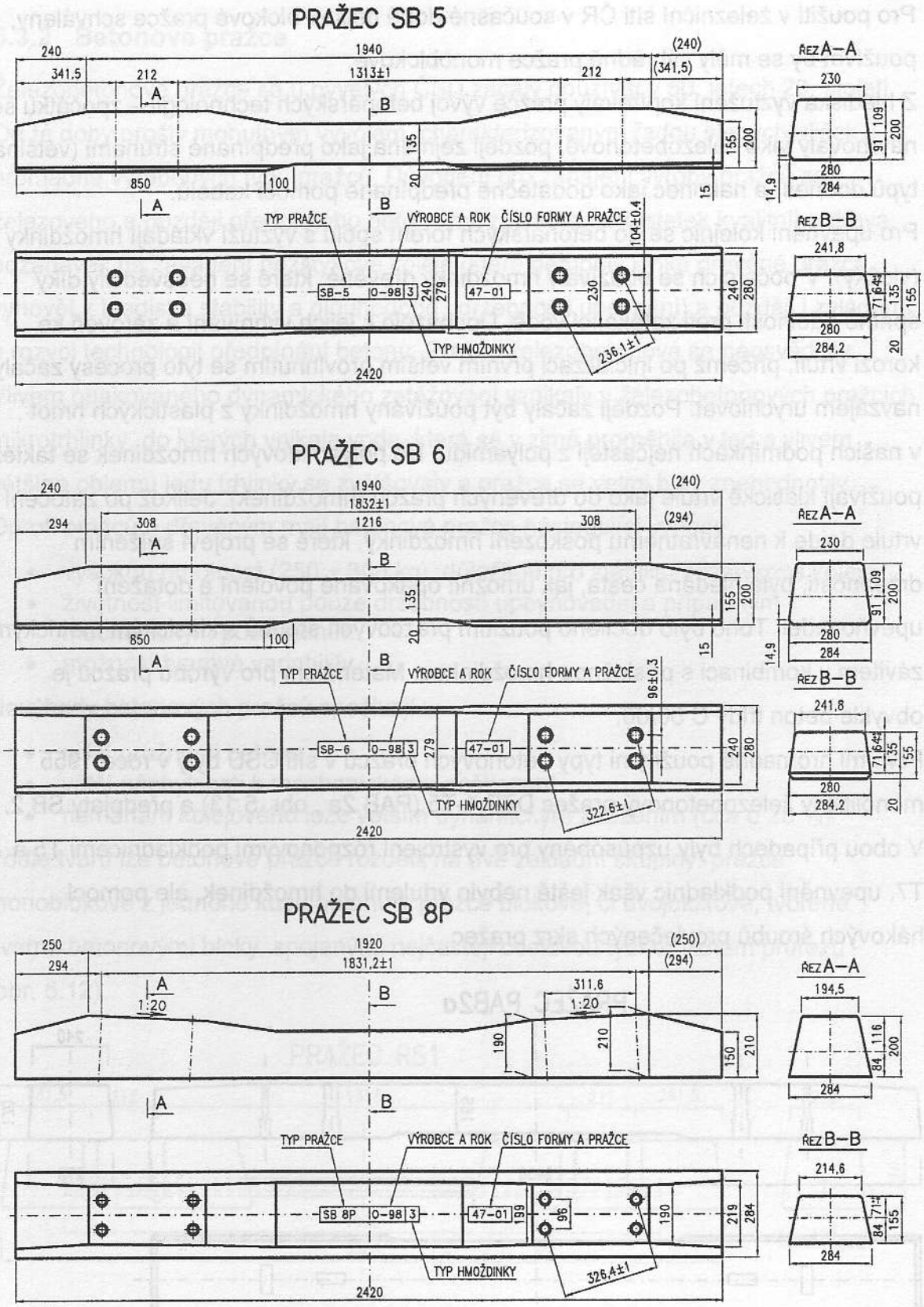
Obr. 5.12 Dvojblokový pražec typu RS 1 (bloky železobetonové, hmoždinky dřevěné)

Pro použití v železniční síti ČR v současné době nejsou blokové pražce schváleny, používat by se měly výhradně pražce monoblokové.
Z hlediska vyztužení kopírovaly pražce vývoj betonářských technologií – zpočátku se navrhovaly jako železobetonové, později zejména jako předpínané strunami (většina typů dodnes) a nakonec jako dodatečně předpínané pomocí kabelů.
Pro upevnění kolejnic se do betonářských forem spolu s výztuží vkládají hmoždinky (vložky). V počátcích se používaly hmoždinky dřevěné, které se neosvědčily díky špatné odolnosti proti zatékající vodě. Docházelo k jejich vyhnívání a zároveň ke korozi vrtulí, přičemž po inicializaci prvním větším provlhnutím se tyto procesy začaly navzájem urychlovat. Později začaly být používány hmoždinky z plastických hmot , v našich podmínkách nejčastěji z polyamidu. Do polyamidových hmoždinek se taktéž používají klasické vrtule jako do dřevěných pražců (hmoždinek). Jelikož po zatočení vrtule dojde k nenávratnému poškození hmoždinky, které se projeví snížením držebnosti, byla hledána cesta, jak umožnit opakované povolení a dotažení upevňovadel. Toho bylo docíleno použitím pražcových šroubů s klasickým metrickým závitem v kombinaci s příslušnou hmoždinkou. Materiálem pro výrobu pražců je obvykle beton třídy C 50/60.
Prvními hromadně použitými typy betonových pražců v síti ČSD byly v roce 1955 monolitický železobetonový pražec DZP 1-T5 (PAB 2a , obr. 5.13) a předpjatý SB 2. V obou případech byly uzpůsobeny pro vystrojení rozponovými podkladnicemi T5 a T7, upevnění podkladnic však ještě nebylo vrtulemi do hmoždinek, ale pomocí hákových šroubů provlečených skrz pražec.



Obr. 5.13 Monoblokový železobetonový pražec PAB 2a

Vývoj dále pokračoval experimenty s dodatečně předpínanými pražci, které se však neosvědčily. Nakonec dospěl ke třem typům předem předpínaných (StrunoBeton) pražců pro podkladnicové upevnění, které se vyrábějí dodnes (obr. 5.14).



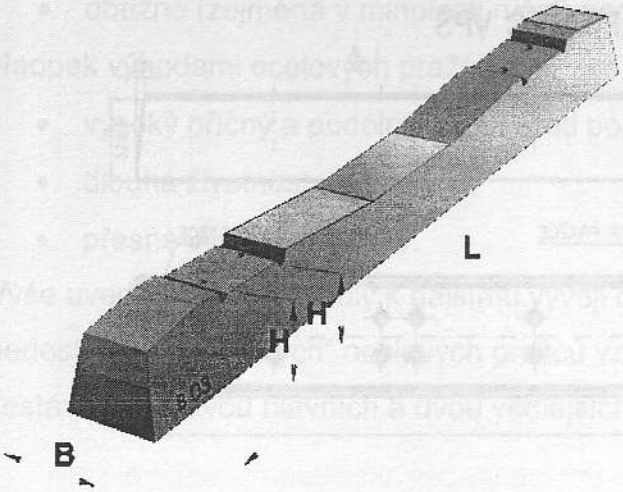
Obr. 5.14 Dodnes vyráběné strunobetonové pražce pro podkladnicové upevnění

Jsou charakteristické svojí délkou (2,42 m) a v řezu tvarem rovnoramenného lichoběžníka. Zpočátku byly vyráběny ještě s dřevěnými hmoždinkami, v současné době se vyrábí již pouze v modifikaci „P" – s polyamidovými hmoždinkami. Hmotnost

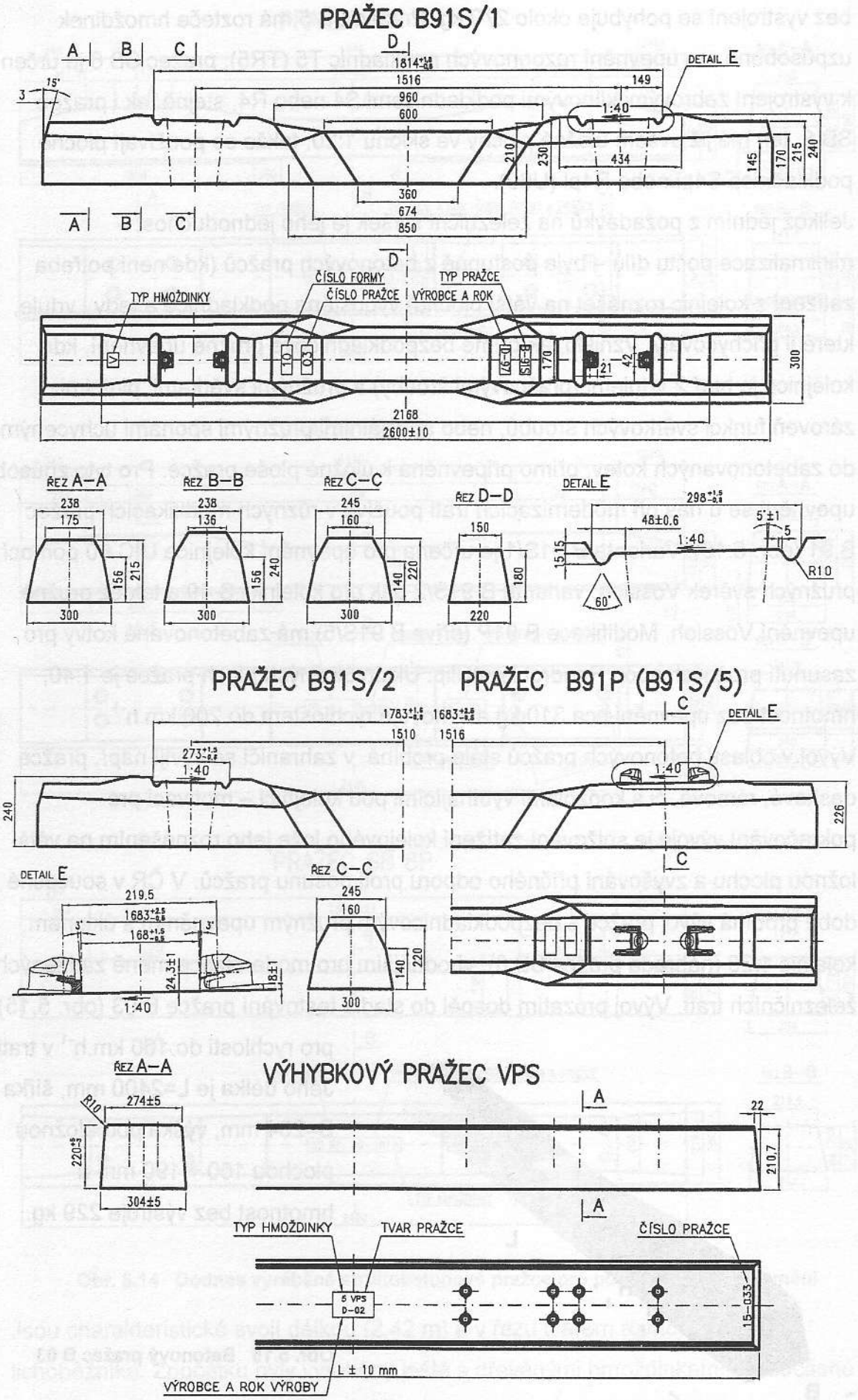
bez vystrojení se pohybuje okolo 270 kg. Pražec SB 5 má rozteče hmoždinek uzpůsobené pro upevnění rozponových podkladnic T5 (TR5), pražec SB 6 je určen k vystrojení žebrovými klínovými podkladnicemi S4 nebo R4, stejně tak i pražec SB 8, ten má již ovšem úložné plochy ve sklonu 1:20, takže se používají ploché podkladnice S4pl nebo R4pl (U60).

Jelikož jedním z požadavků na železniční svršek je jeho jednoduchost – minimalizace počtu dílů – byla postupně z betonových pražců (kde není potřeba zatížení z kolejnic roznášet na větší plochu) vypuštěna podkladnice a tedy i vrtule, které ji přichycovaly. Vzniklo tak přímé bezpodkladnicové pružné upevnění, kde kolejnice je buď 2 vrtulemi (pražcovými šrouby) a pružnými svěrkami, plnícími zároveň funkci svěrkových šroubů, nebo speciálními pružnými sponami uchycenými do zabetonovaných kotev, přímo připevněna k úložné ploše pražce. Pro tyto způsoby upevnění se u nás při modernizacích tratí používá v různých modifikacích pražec B 91 (obr. 5.16). Varianta B 91S/1 je určena pro upevnění kolejnice UIC 60 pomocí pružných svěrek Vossloh, varianta B 91S/2 pak pro kolejnici S 49 a taktéž pružné upevnění Vossloh. Modifikace B 91P (dříve B 91S/5) má zabetonované kotvy pro zasunutí pružných spon Pandrol FastClip. Úklon úložných ploch pražce je 1:40, hmotnost bez upevnění cca 310 kg a vyhovuje rychlostem do 200 km.h^{-1}.

Vývoj v oblasti betonových pražců stále probíhá, v zahraničí se vyvíjí např. pražce deskové, rámové, či s konzolami vybíhajícími pod kolejnici – motivací pro pokračování vývoje je snižování zatížení kolejového lože jeho roznášením na větší ložnou plochu a zvyšování příčného odporu proti posunu pražců. V ČR v současné době probíhá vývoj pražce s bezpodkladnicovým pružným upevněním s úklonem, kolejnic 1:20 (náhrada pražce SB 8), vhodnějším pro modernizace méně zatížených železničních tratí. Vývoj prozatím dospěl do stadia testování pražce B 03 (obr. 5.15) pro rychlosti do 160 km.h^{-1} v trati. Jeho délka je L=2400 mm, šířka B=234 mm, výška pod úložnou plochou 160 ÷ 190 mm a hmotnost bez výstroje 229 kg.



Obr. 5.15 Betonový pražec B 03



Obr. 5.16 Betonové pražce B91 pro bezpodkladnicové upevnění, výhybkový pražec VPS

5.3.3 Ocelové pražce

V minulosti (ponejvíce do 2. světové války) se v síti bývalých ČSD vyskytovaly poměrně hojně ocelové pražce průřezu obráceného korýtka. Dodnes se v širé trati dochovaly jen mimořádně, zejména tam, kde záměna za jiný typ pražců by byla obtížná (např. ozubnicové úseky tratě Tanvald – Harrachov). Ve výhybkách je možné je vidět poměrně často, zejména ve stanicích na regionálních tratích. Vyráběly se válcováním dlouhého korýtkového průřezu, ze kterého se sekaly jednotlivé pražce. Jejich konce byly následně rozlisovány a ohnuty o 90° dolů, aby byl zajištěn co nejlepší odpor proti příčnému posunu v kolejovém loži (obr. 5.17).

Obr. 5.17 Ocelový pražec T3

Podle konkrétního typu pražce byla úložná plocha upravena přímo vylisováním opěrek pro svěrky nebo byly tyto opěrky navařené. Sklon úložné plochy byl 1:20, upevnění se používalo přímé, pomocí hákových šroubů. Mezi nevýhody starých typů ocelových pražců patří:

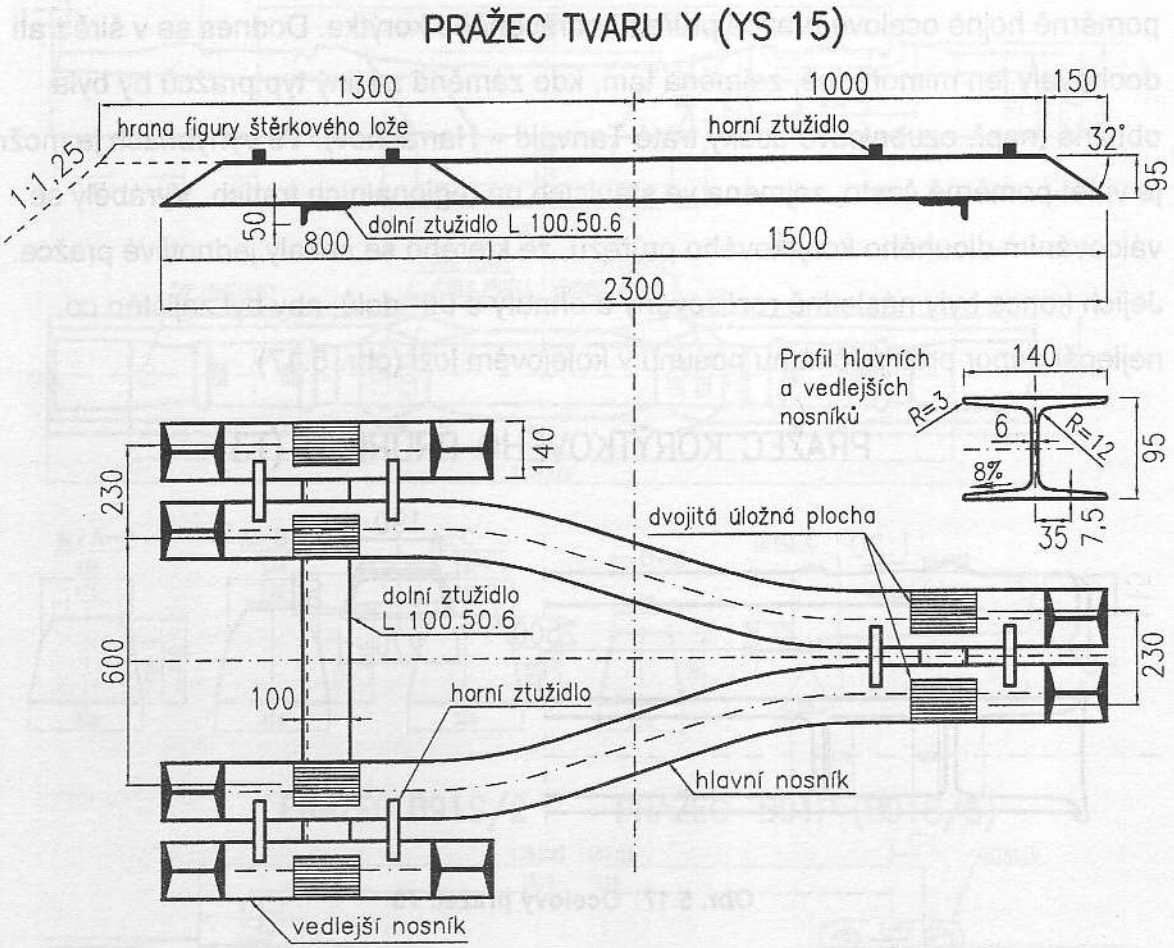
- nemožnost odizolování kolejnic od pražce a tedy nepoužitelnost v kolejových obvodech a kolejích elektrizovaných stejnosměrnou trakční soustavou,
- vysoká cena,
- obtížné (zejména v minulosti ruční) podbíjení „obráceného korýtka".

Naopak výhodami ocelových pražců jsou:

- vysoký příčný a podélný odpor proti posunu v kolejovém loži,
- dlouhá životnost,
- přesné výrobní rozměry.

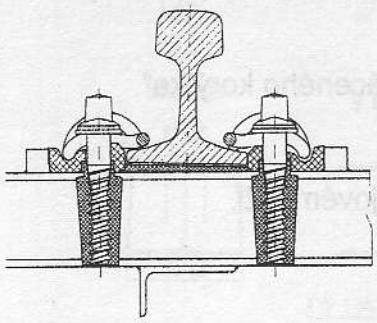
Výše uvedené výhody vedly k dalšímu vývoji ocelových pražců. Snahou odstranit nedostatky „korýtkových" ocelových pražců vznikl ocelový pražec tvaru „Y", sestávající ze dvou hlavních a dvou vedlejších nosníků z ocelových profilů

IB 100 S-1 (obr. 5.18). Tváření hlavních nosníků probíhá za studena. Navzájem jsou všechny nosníky spojeny do jednoho celku tvaru Y pomocí ztužidel.



Obr. 5.18 Ocelový pražec „Y"

Pár horních ztužidel je vždy z ocelové tyčoviny čtvercového, či obdélníkového průřezu, dolní ztužidlo je z úhelníku L100x50x6. Ztužidla jsou k hlavním nosníkům přivařena. Vždy mezi párem horních ztužidel je vytvořena dvojitá úložná plocha z plastových podložek v příslušném sklonu (1:40 nebo 1:20) s plastovými vodícími vložkami, kde je kolejnice upevněna klasickou pružnou svěrkou Vossloh Skl14 a vrtulí Ss34, zatočenou do speciální plastové hmoždinky DüS15 (obr. 5.19). „Y" pražce se do koleje vkládají v rozteči 1245 mm, jejich spotřeba je tedy, oproti klasickým pražcům při rozdělení u, menší než poloviční. Dalšími výhodami jsou díky polouzavřenému tvaru „Y" vysoké příčné i podélné odpory proti posunu ve štěrku (celkem o 12 % více, než u klasických těžkých betonových pražců), menší délka a nízká stavební výška pražce, a tedy poměrně velká úspora štěrku. Y pražce lze bez problémů adaptovat i pro



Obr. 5.19 Upevnění kolejnice na ocelový „Y" pražec

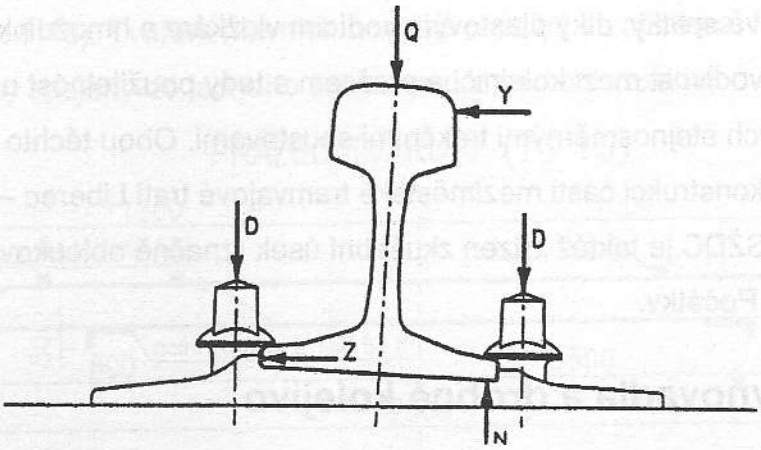
vícekolejnicové splítky, díky plastovým vodícím vložkám a hmoždinkám je zajištěna i elektrická nevodivost mezi kolejnicí a pražcem a tedy použitelnost na tratích elektrizovaných stejnosměrnými trakčními soustavami. Obou těchto výhod bylo využito při rekonstrukci části meziměstské tramvajové trati Liberec – Jablonec nad Nisou. V síti SŽDC je taktéž zřízen zkušební úsek (značně obloukovitý) mezi Popelínem a Počátky.

5.4 Upevňovadla a drobné kolejivo

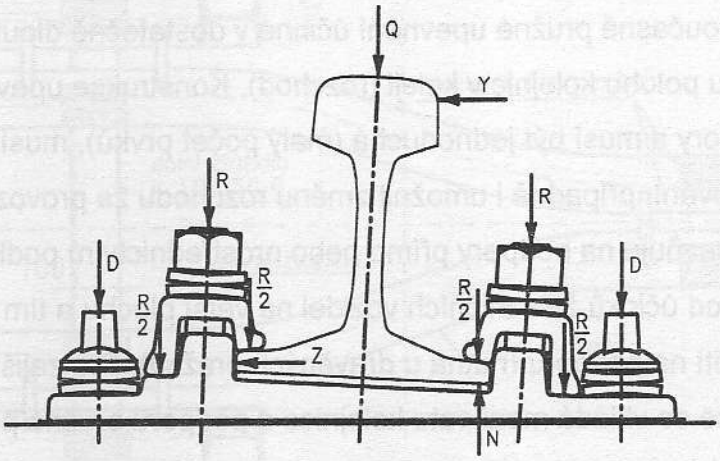
K upevnění kolejnice k pražci se používá upevňovadel (hřeby, vrtule, svěrkové šrouby) a drobné kolejivo (podkladnice, svěrky). Upevnění kolejnice k podpoře musí zajistit tuhé a současně pružné upevnění účinné v dostatečně dlouhém čase a zároveň i stálou polohu kolejnic v koleji (rozchod). Konstrukce upevnění závisí na materiálu podpory a musí být jednoduchá (malý počet prvků), musí umožnit snadnou montáž a udržování, případně i umožnit změnu rozchodu za provozu.
Kolejnice se upevňuje na podpory přímo nebo prostřednictvím podkladnice, která roznáší napětí od účinků železničních vozidel na větší plochu a tím zmenšuje specifické napětí na podporu (nutná u dřevěných pražců). Pro zajištění pružného uložení kolejnice se vkládá mezi patu kolejnice a podporu pružná podložka z pryže nebo z plastické hmoty (zejména u betonových pražců).
Postupem doby se vyvinuly 3 způsoby upevnění:

- přímé upevnění, kde kolejnice je přímo nebo s podkladnicí upevněna k podporám společnými upevňovadly,
- nepřímé upevnění, kde kolejnice je k podkladnici upevněna jedním systémem upevňovadel a podkladnice k podporám dalším systémem upevňovadel,
- smíšené upevnění, kde je použita kombinace obou předchozích způsobů.

Přímé upevnění kolejnice bez podkladnice k dřevěnému pražci se již neužívá, protože úzká pata kolejnice se zatlačuje do úložné plochy pražce. Přímého upevnění kolejnice k dřevěnému pražci s užitím podkladnice se užívá na vedlejších tratích u některých zahraničních správ. Zavedením dokonalého pružného upevnění se přímého upevnění bez podkladnice začalo užívat u betonových pražců (tzv. bezpodkladnicové upevnění).
Příklad přímého upevnění kolejnice k dřevěnému pražci je na obr. 5.20 a nepřímého upevnění kolejnice k dřevěnému pražci na obr. 5.21. V obou příkladech je znázorněno působení sil na jednotlivé části upevňovadel.



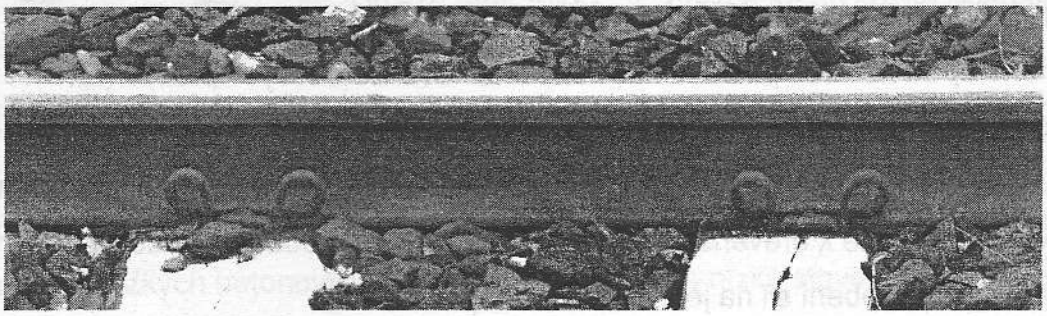
Obr. 5.20 Schéma namáhání upevňovadel při přímém upevnění klínovou podkladnicí



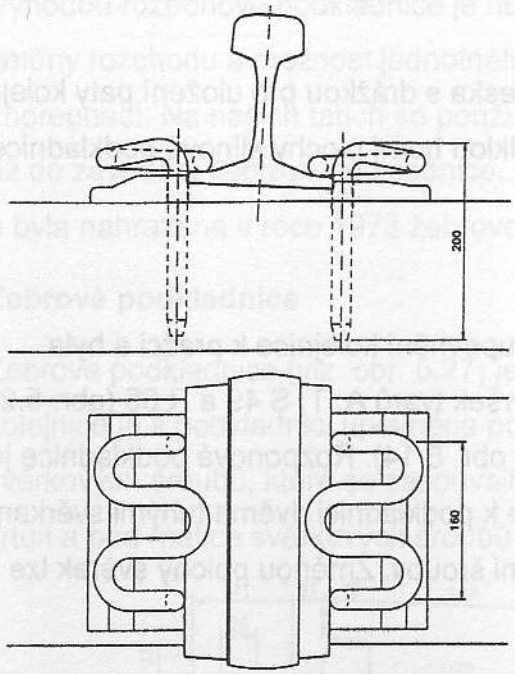
Obr. 5.21 Schéma namáhání upevňovadel při nepřímém upevnění klínovou žebrovou podkladnicí

5.4.1 Hřeby

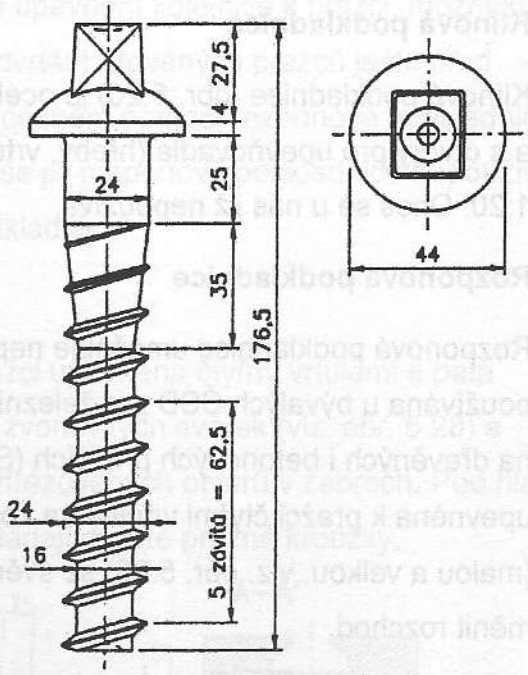
Dříve se užívaly tuhé hřeby čtyřhranné a osmihranné. U některých zahraničních správ se později začaly používat pružné hřeby z pérové oceli. Na obr. 5.22 je bezpodkladnicové upevnění kolejnice k dřevěnému pražci pomocí dvoudříkového pružného hřebu. Obr.5.23 znázorňuje upevnění kolejnice k dřevěnému pražci pomocí dvoudříkového pružného hřebu a klínové podkladnice, používané u některých evropských železničních správ na méně zatížených tratích.



Obr. 5.22 Dvojdříkové hřeby z pérové oceli (DB, stanice Furt im Wald)



Obr. 5.23 Upevnění kolejnice k dřevěnému pražci pomocí klínové podkladnice a dvoudříkového hřebu z pérové oceli



Obr. 5.24 Vrtule R1 pro upevnění žebrových podkladnic

5.4.2 Vrtule

Pro malou držebnost hřebů se začaly používat vrtule. Vrtule zajišťuje o 30 až 50% větší držebnost, než při použití hřebů. Držebnost upevňovadel v pražci je vyjádřena silou, které je zapotřebí k vytažení upevňovadla z pražce. Držebnost vrtulí u pražců z tvrdého dřeva je 45 až 60 kN.

Vrtule se skládá z dříku se závitem, z krčku a z hlavy tvaru kulové úseče, přecházející do komolého jehlanu. Vrtule se zatáčejí do předvrtaných otvorů v dřevěných pražcích nebo do polyamidových vložek v betonových pražcích pomocí motorové zatáčečky. Na obr. 5.24 je vrtule R1 pro žebrovou podkladnici.

5.4.3 Podkladnice

Podkladnice, na které je uložena pata kolejnice, roznáší zatížení přenášené z kolejnice na větší plochu, a tím zmenšuje napětí na úložné ploše pražce.

Podle konstrukčního uspořádání se podkladnice dělí do tří skupin:

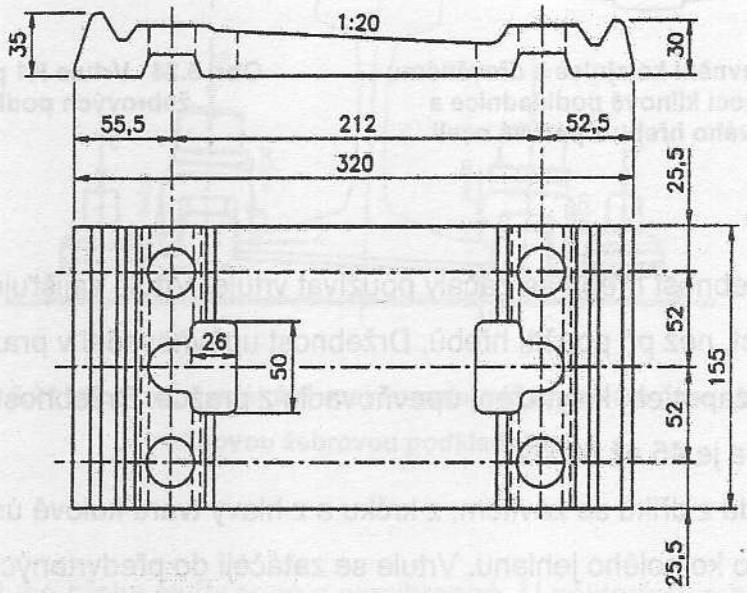
- pro přímé upevnění – klínové,
- pro nepřímé upevnění – rozponové, žebrové,
- pro smíšený způsob upevnění – hákové.

Klínová podkladnice

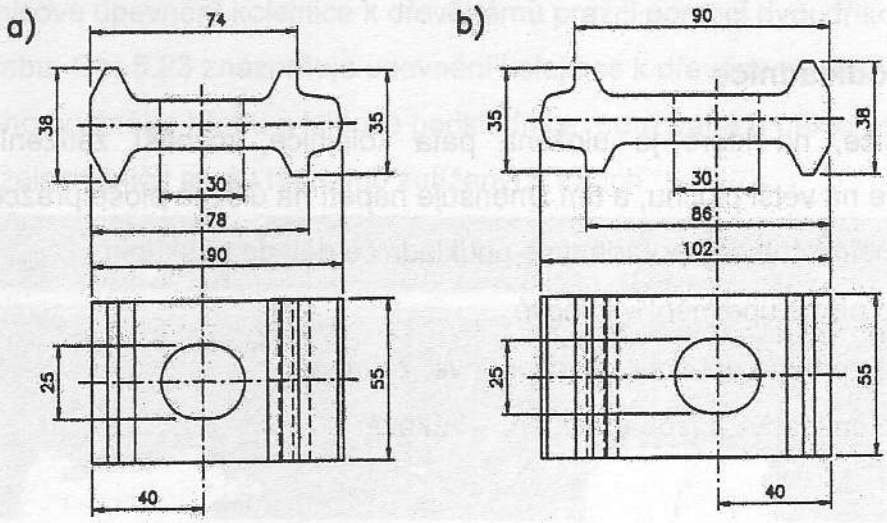
Klínová podkladnice (obr. 5.20) je ocelová deska s drážkou pro uložení paty kolejnice a s otvory pro upevňovadla (hřeby, vrtule). Úklon horní plochy klínové podkladnice je 1:20. Dnes se u nás již nepoužívá.

Rozponová podkladnice

Rozponová podkladnice umožňuje nepřímé upevnění kolejnice k pražci a byla používána u bývalých ČSD pro železniční svršek tvarů A, T, S 49 a R 65 (obr. 5.25) na dřevěných i betonových pražcích (SB 5 – obr. 5.14). Rozponová podkladnice je upevněna k pražci čtyřmi vrtulemi a kolejnice k podkladnici dvěma tuhými svěrkami (malou a velkou, viz. obr. 5.26) se svěrkovými šrouby. Změnou polohy svěrek lze měnit rozchod.



Obr. 5.25 Rozponová podkladnice T5

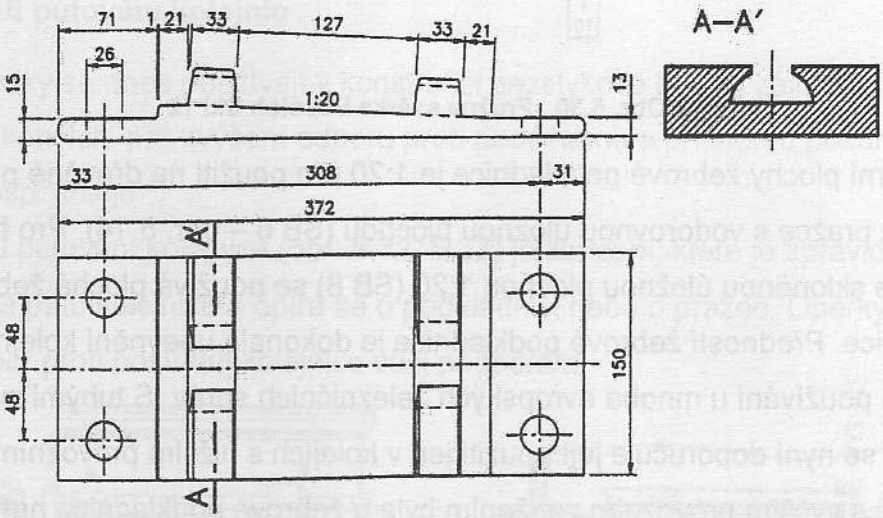


Obr. 5.26 Svěrka a) malá T5, b) velká T6

Výhodou rozponové podkladnice je nepřímé upevnění kolejnice k pražci, možnost změny rozchodu a možnost jednotného předvrtání dřevěných pražců ještě před impregnací. Na našich tatích se používalo upevnění pomocí rozponové podkladnice až do zavedení žebrové podkladnice. Dnes se již rozponová podkladnice nepoužívá a byla nahrazena v roce 1973 žebrovou podkladnicí.

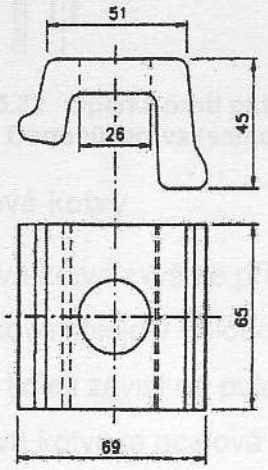
Žebrová podkladnice

Žebrová podkladnice (viz. obr. 5.27) je k pražci upevněna čtyřmi vrtulemi a pata kolejnice je k podkladnici upevněna pomocí zvonovitých svěrek (viz. obr. 5.28) a svěrkových šroubů, které se zasouvají do vyfrézovaných otvorů v žebrech. Pod hlavy vrtulí a pod matice svěrkových šroubů se vkládají dvojité pružné kroužky.

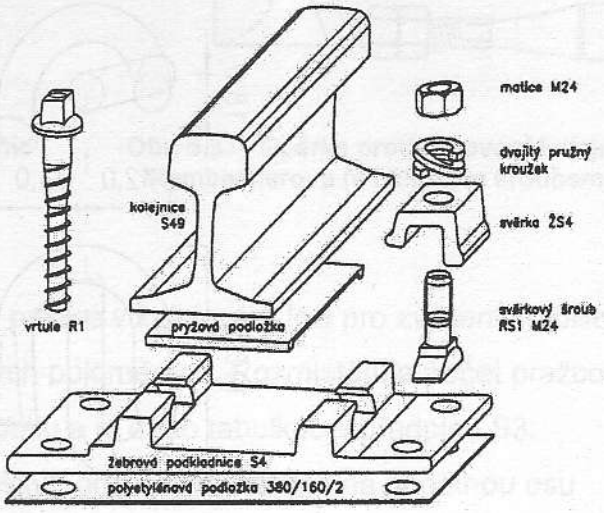


Obr. 5.27 Žebrová podkladnice S4

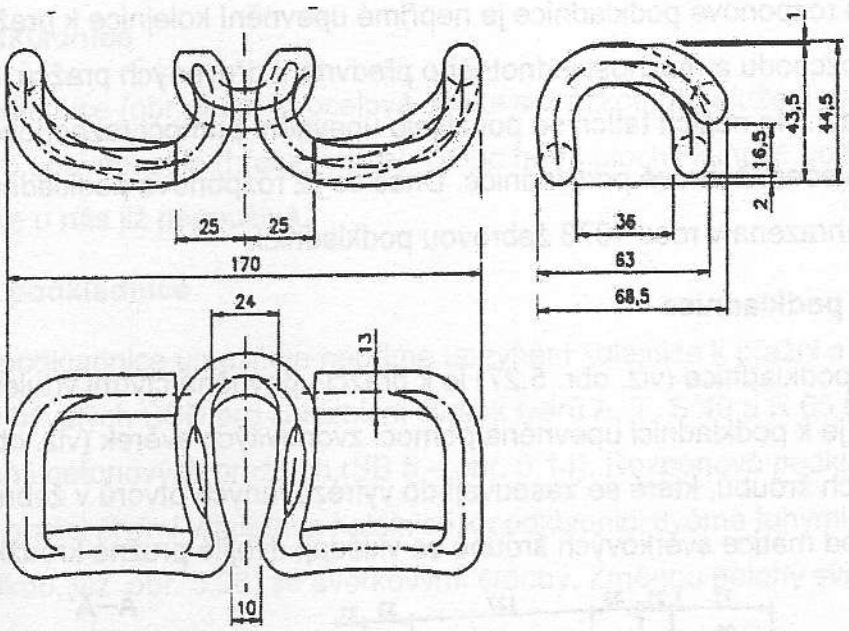
Pod patu kolejnice se vkládá pryžová podložka pro zpružnění uložení kolejnice. Pohled na rozloženou konstrukci upevnění kolejnice na žebrovou podkladnici je na obr. 5.29.



Obr. 5.28 Svěrka ŽS4

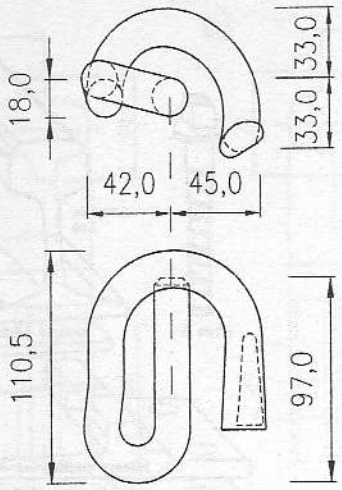


Obr. 5.29 Sestava upevnění s žebrovou podkladnicí



Obr. 5.30 Pružná svěrka Vossloh Skl 12

Úklon horní plochy žebrové podkladnice je 1:20 pro použití na dřevěné pražce a betonové pražce s vodorovnou úložnou plochou (SB 6 – obr. 5.14). Pro betonové pražce se skloněnou úložnou plochou 1:20 (SB 8) se používá plochá žebrová podkladnice. Předností žebrové podkladnice je dokonalé upevnění kolejnice, snadná montáž a používání u mnoha evropských železničních správ. S tuhými zvonovitými svěrkami se nyní doporučuje její použití jen v kolejích s nižším provozním zatížením. V kolejích s vyšším provozním zatížením byla u žebrové podkladnice nahrazena tuhá zvonovitá svěrka pružnou svěrkou firmy Vossloh Skl 12 (obr. 5.30) a v současné době nově svěrkou Skl 24. Alternativně lze tuhé upevnění na žebrových podkladnicích „zpružnit" sponou Pandrol e 1881 (obr. 5.31), která se zasouvá do speciálního adaptéru, uchyceného do žebra namísto svěrkového šroubu.



Obr. 5.31 Pružná spona Pandrol e 1881

Háková podkladnice

Pro smíšený způsob upevnění se používá háková podkladnice. Hák podkladnice drží jednu stranu paty kolejnice, druhá strana paty je upevněna hřebem, vrtulí nebo svěrkou. Toto upevnění se u nás nepoužívá.

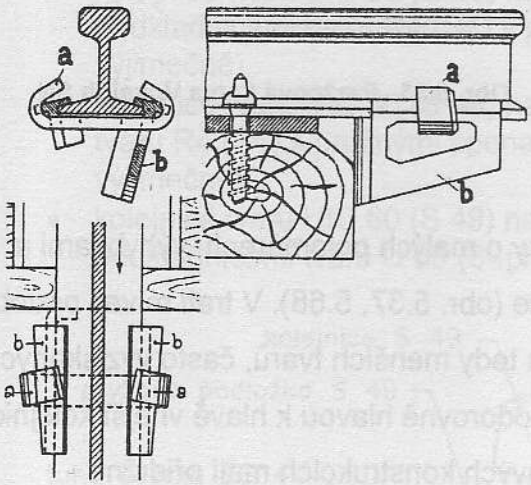
5.4.4 Další drobné kolejivo

Do drobného kolejiva také patří pružné (zajišťovací) kroužky pod vrtule a svěrkové šrouby, pružné podložky pod patu kolejnice a pod podkladnici (pryžové, penefolové a polyethylenové), můstkové desky, spojky, spojkové šrouby, a další. Tvary a rozměry běžných typů drobného kolejiva jsou uvedeny v předpisu S3.

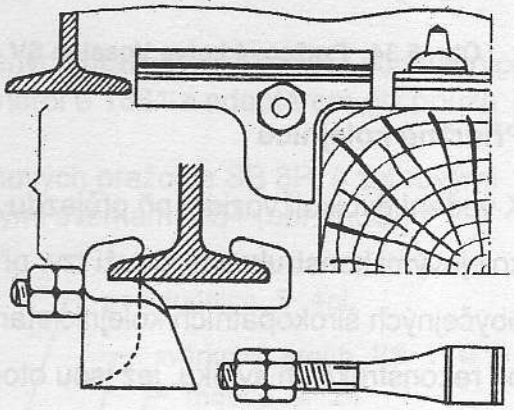
Opěrky proti putování kolejnic

Tyto prostředky se dnes používají v konstrukci bezstykové koleje, zejména v tzv. dýchajících koncích, pro zvýšení odporu proti podélnému a příčnému posunu kolejnice, resp. koleje.

Opěrka proti putování kolejnice (obr. 5.32, 5.33) je zařízení, které je zpravidla upevněno na patu kolejnice a opírá se o podkladnici nebo o pražec. Opěrky zvyšují podélný odpor proti posunutí kolejnice vůči podporám.



Obr. 5.32 Opěrka proti putování kolejnic Dorpmüllerova (samosvorná)



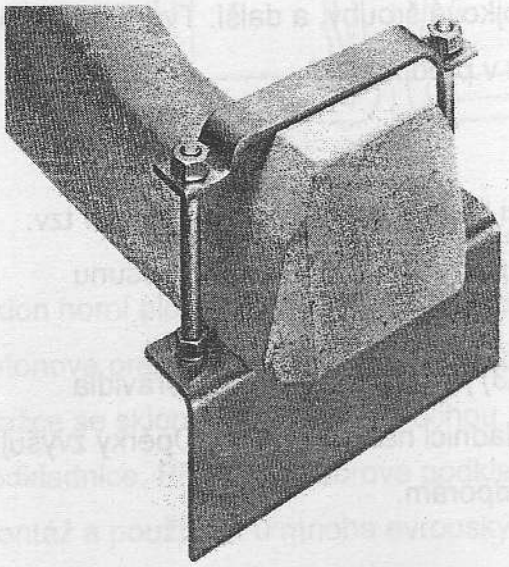
Obr. 5.33 Opěrka proti putování kolejnic Rambacherova (s hákovým šroubem)

Pražcové kotvy

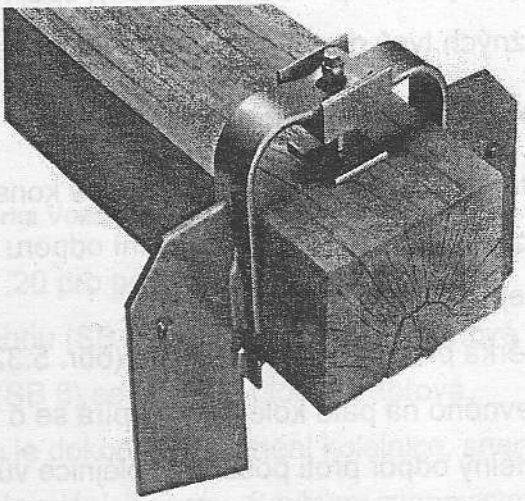
Pražcová kotva zvyšuje příčný odpor pražce v kolejovém loži pro zvýšení stability bezstykové koleje v obloucích o malých poloměrech. Rozmístění a počet pražcových kotev v koleji závisí na poloměru oblouku a je dáno tabulkou v předpisu S3.

Pražcová kotva je ocelová deska (desky), orientovaná kolmo na podélnou osu pražce. Montuje se buď pod ložnou plochu pražce (obr. 5.34), do jeho střední části,

nebo do prostoru hlavy. Jelikož pražcové kotvy se montují na pražce nejčastěji dodatečně, a montáž pod ložnou plochu je náročná na ruční výkopové práce, byl vyvinut typ s deskami bočními (obr. 5.35), který lze namontovat bez vybírání štěrku pod pražcem, tedy i podstatně rychleji. V podmínkách ČR jsou nejrozšířenější pražcové kotvy typu TD (dříve traťová distance) Havlíčkův Brod, kde se začalo s jejich vývojem vzhledem k velké obloukovitosti velmi zatíženého přilehlého traťového úseku Golčův Jeníkov – Havlíčkův Brod. Kotvy TD Havlíčkův Brod jsou konstrukčně velmi podobné kotvám Vossloh SV. (obr. 5.34)



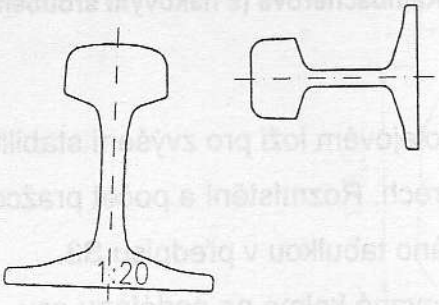
Obr. 5.34 Pražcová kotva Vossloh SV



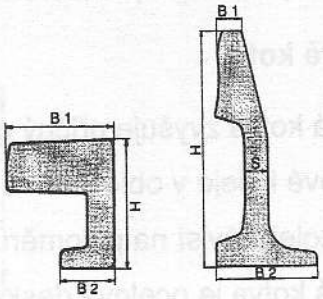
Obr. 5.35 Pražcová kotva Vossloh SN

Přídržné kolejnice

K vedení dvojkolí vozidel při průjezdu oblouky o malých poloměrech, výhybkami a kolejovými konstrukcemi slouží tzv. přídržnice (obr. 5.37, 5.68). V trati mívají podobu obyčejných širokopatních kolejnic starších, a tedy menších tvarů, často vyzískaných při rekonstrukcích svršku, jež jsou otočeny vodorovně hlavou k hlavě vnější kolejnice v oblouku (obr. 5.36). Ve výhybkách a kolejových konstrukcích mají přídržné kolejnice speciální tvar a nazývají se přídržnice (obr. 5.37).



Obr. 5.36 Přídržná kolejnice



Obr. 5.37 Tvary přídržnic

5.4.5 Sestavy železničního svršku

Schválené sestavy železničního svršku spolu s rozpisem svrškového materiálu jsou uvedeny v předpise SŽDC S 3.

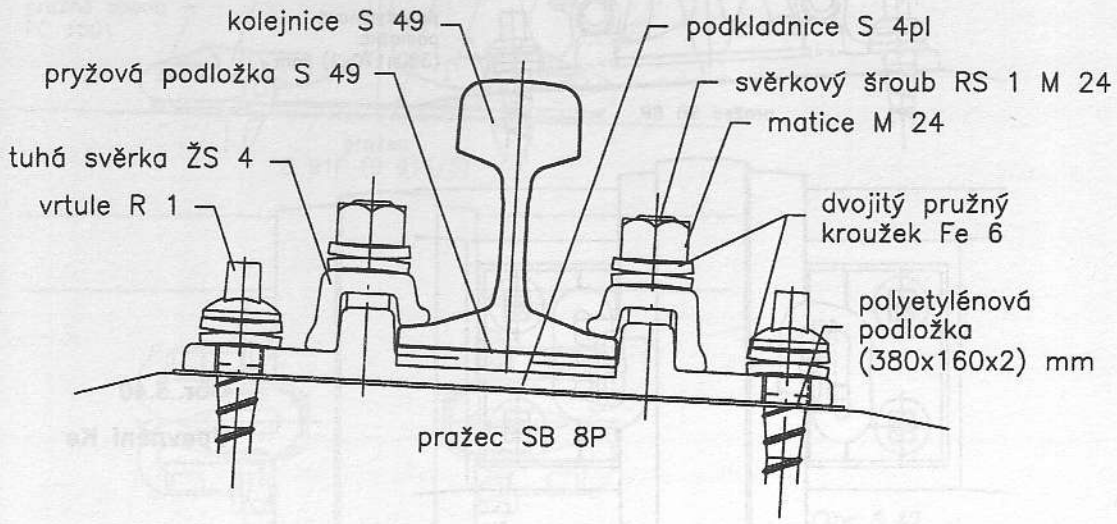
Stávající sestavy železničního svršku, které se již nepoužívají a které je dovoleno ponechat v koleji do vyčerpání jejich životnosti, jsou:

- kolejnice tvaru S 49 (R 65) na betonových pražcích tvaru SB 6 nebo na dřevěných pražcích s žebrovými podkladnicemi tvaru S4 (R4)
- kolejnice tvaru S 49 (R 65) na betonových pražcích tvarů PB 2, PB 3, SB 8, SB 8P, U 94/5 s žebrovými podkladnicemi tvaru S4pl (R4pl),
- kolejnice tvaru S 49, T, (R 65) na betonových pražcích tvaru SB 5 nebo na dřevěných pražcích s rozponovými podkladnicemi tvaru T5 nebo TR5,
- kolejnice tvaru S 49 (T) na betonových pražcích tvarů SB 3, SB 4, VÚS 62, Dosta-T8 s rozponovými podkladnicemi T8,
- kolejnice tvaru S 49 (T) na betonových pražcích tvarů SB 3, SB 4, VÚS 62, Dosta-T8 s žebrovými podkladnicemi ŽT,

U sestav svršku s distančními kroužky bylo zjištěno povolování vrtulí a proto se již nově nepoužívají.

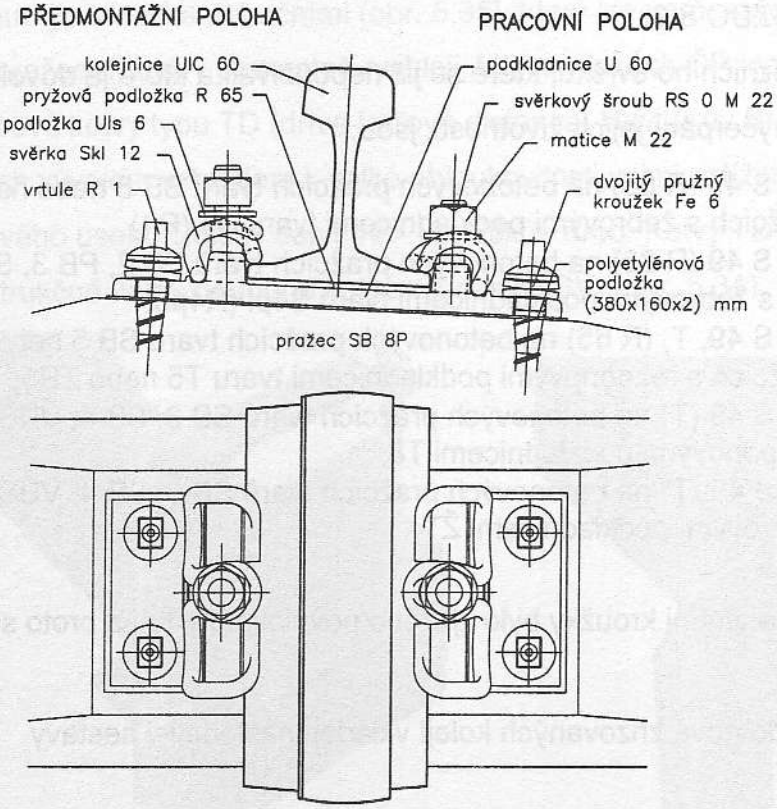
V současné době se do nově zřizovaných kolejí vkládají následující sestavy železničního svršku:

- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na dřevěných pražcích s žebrovými podkladnicemi tvaru R4 (S4) s pružnými svěrkami Vossloh Skl 12 (již pouze výjimečně),
- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na dřevěných pražcích žebrovými podkladnicemi tvaru R4 (S4) s pružnými sponami Pandrol e 1881 s adaptérem (již pouze výjimečně),
- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na betonových pražcích SB 8P, s žebrovými podkladnicemi tvaru U 60 (S4pl) s tuhými svěrkami ŽS4 (obr. 5.38),



Obr. 5.38 Upevnění K

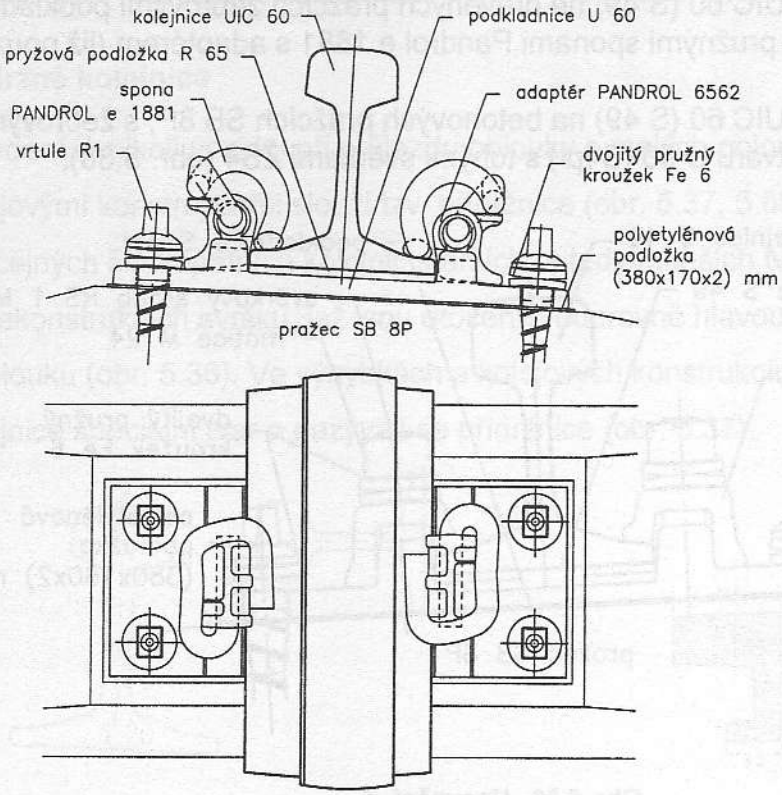
- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na betonových pražcích tvarů SB 8P, s žebrovými podkladnicemi tvaru U60 (S4pl) s pružnými svěrkami Vossloh Skl 12 (obr. 5.39),



Obr. 5.39

Upevnění KS

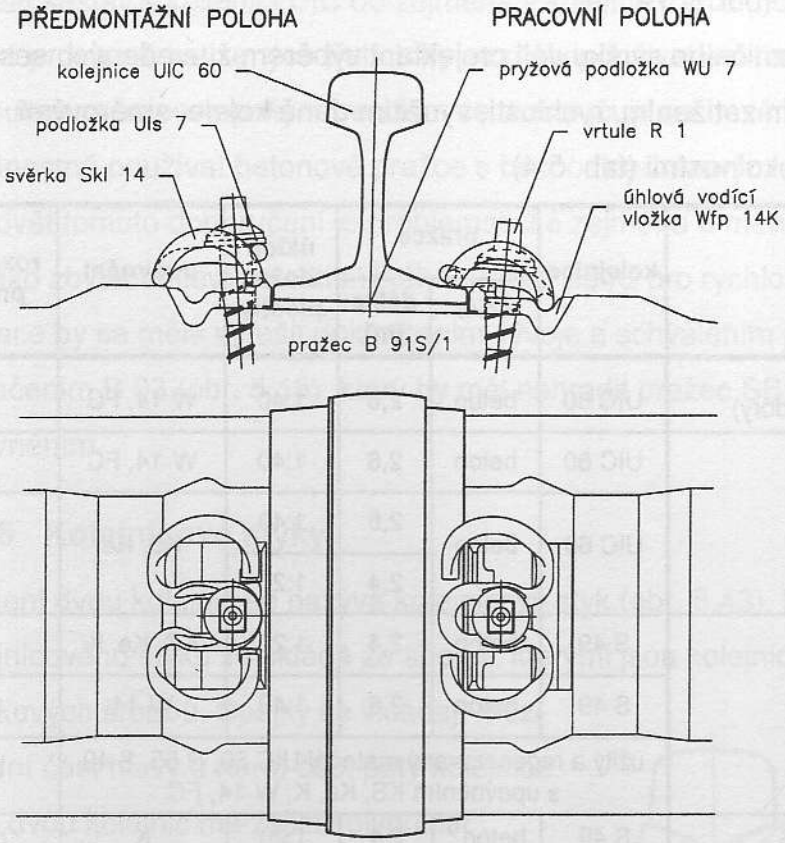
- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na betonových pražcích tvarů SB 8P, U 94/5 s žebrovými podkladnicemi tvaru U60 (S4pl) s pružnými sponami Pandrol s adaptérem (obr. 5.40).



Obr. 5.40

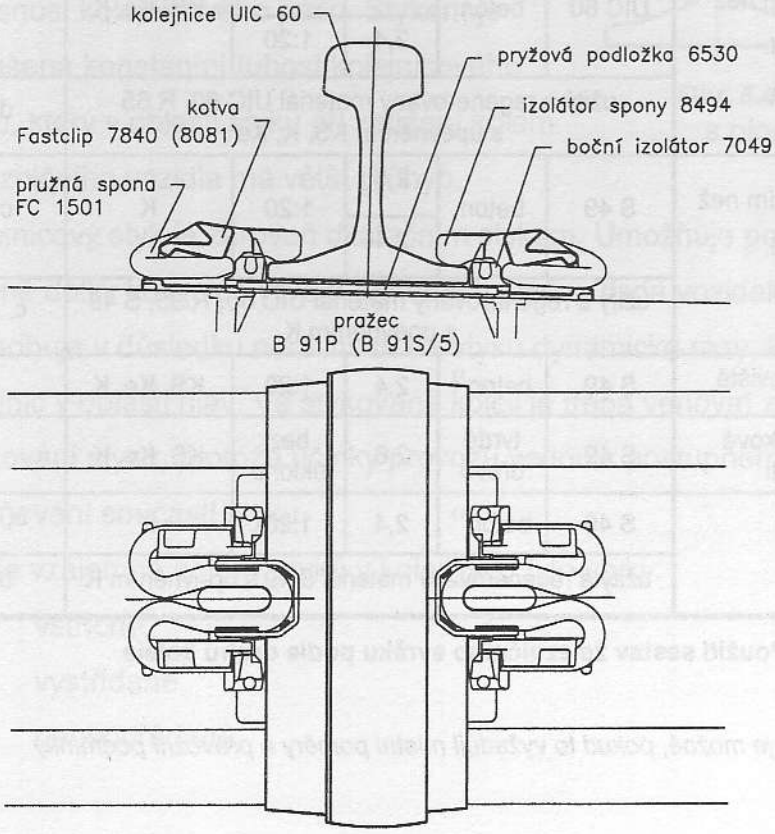
Upevnění Ke

- kolejnice tvaru UIC 60 (S 49) na betonových pražcích tvarů B 91S/1 (B 91S/2), s bezpodkladnicovým upevněním pomocí pružných svěrek Vossloh Skl 14 (obr. 5.41),



Obr. 5.41
Upevnění W 14

- kolejnice tvaru UIC 60 na betonových pražcích tvarů B91 P (dříve B91 S/5), s bezpodkladnicovým upevněním pomocí pružných spon Fastclip firmy Pandrol (obr. 5.42).



Obr. 5.42
Upevnění FC I

U sestav kde je používána pružná svěrka Vossloh Skl 12 bude nově použita svěrka Skl 24. Pro nově zaváděné ocelové pražce „Y" jsou sestavy upevnění doplněny o sestavu pro pražce „Y" (obr. 5.19).

Vhodnou sestavu železničního svršku volí projektant výběrem z uvedených sestav. Výběr se řídí provozním zatížením, rychlostí, využitím dané koleje, směrovými poměry, příp. dalšími okolnostmi (tab. 5.4).

druh koleje		kolejnice	pražce		úklon úložné plochy	upevnění	rozdělení pražců
			druh	délka [m]			
hlavní koleje na vybraných tratích (modernizované koridory)		UIC 60	beton	2,6	1:40	W 14, FC	u
hlavní koleje na určených tratích (mimo vybrané)		UIC 60	beton	2,6	1:40	W 14, FC	u
		UIC 60	beton	2,6	1:40	KS, Ke	u
				2,4	1:20		
hlavní koleje na ostatních celostátních dráhách (mimo vybrané a určené tratě)		S 49	beton	2,4	1:20	KS, Ke, K	u
		S 49	beton	2,6	1:40	W 14	u
		užitý a regenerovaný materiál UIC 60, R 65, S 49 s upevněním KS, Ke, K, W 14, FC					c, u
hlavní koleje na regionálních dráhách		S 49	beton[1)]	2,4	1:20	K	c, u
		užitý a regenerovaný materiál S 49 s upevněním K					c, u
předjízdné koleje na vybraných tratích a na určených celostátních dráhách s provozním zatížením v hlavních kolejích	větším než 29 mil. hrt/rok	UIC 60	beton	2,6	1:40	KS, Ke, K	u
				2,4	1:20		
		užitý a regenerovaný materiál UIC 60, R 65 s upevněním KS, K, Ke					d, u
	menším než 29 mil. hrt/rok	S 49	beton	2,6	1:20	K	c, u
				2,4			
		užitý a regenerovaný materiál UIC 60, R 65, S 49 s upevněním K					c, d, u
rozpouštěcí koleje	spádoviště	S 49	beton[1)]	2,4	1:20	KS, Ke, K	u
	zarážkové oblasti	S 49	tvrdé dřevo	2,6	bez úklonu	KS, Ke, K	u
ostatní staniční koleje		S 49	beton[1)]	2,4	1:20	K	b, c, d
		užitý a regenerovaný materiál S 49 s upevněním K					b, c

Tab. 5.4 Použití sestav železničního svršku podle druhu koleje

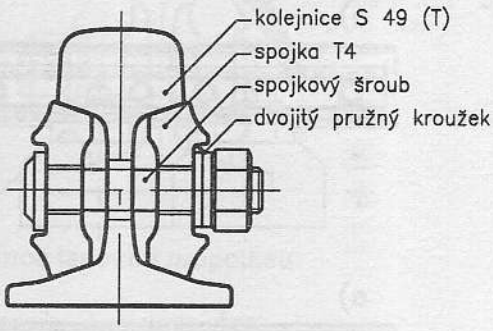
Vysvětlivky k tab. 5.4:

1) použití dřevěných pražců je možné, pokud to vyžadují místní poměry a provozní podmínky

Pro volbu sestavy železničního svršku (kolejnice) je Správou železniční dopravní cesty zpracována též přehledná mapa ČR včetně detailů průtahů uzly. Vyplývá z ní použití sestav s kolejnicí UIC 60 zejména v kolejích tranzitních koridorů, na ostatních, méně provozně zatížených tratích by se měly používat sestavy s kolejnicí S 49. V souladu s celoevropským trendem se doporučuje na nově kladených kolejích přednostně používat betonové pražce s bezpodkladnicovým pružným upevněním. Vyhovět tomuto doporučení je problematické zejména u méně zatížených tratí, kde se jako zbytečné jeví použití těžkého pražce B91S pro rychlosti až do 200 km.h^{-1}. Situace by se měla vyřešit dokončením vývoje a schválením pražce s prozatímním označením B 03 (obr. 5.15), který by měl nahradit pražec SB 8P s podkladnicovým upevněním.

5.4.6 Kolejnicové styky

Spojení dvou kolejnic se nazývá kolejnicový styk (obr. 5.43). Konstrukce kolejnicového styku se skládá ze spojek, kterými jsou kolejnice spojeny pomocí spojkových šroubů. Spojky se vkládají mezi spodní část hlavy a horní část paty kolejnice. Styk dvou kolejnic má zajistit plynulost pojížděné hrany obou kolejnic, trvale syté spojení kolejnic a spojek a dostatečnou únosnost kolejnicového pásu. Stykem je narušena konstantní tuhost kolejnicového pásu, který v oblasti styku při zatížení kolem železničního vozidla má větší průhyb.



Obr. 5.43 kolejnicový styk s plochými spojkami

Kolejnicový styk je zároveň dilatačním stykem. Umožňuje posun konců kolejnic při změně délky kolejnice vlivem teplotních změn. Jízda vozidel přes stykovou spáru způsobuje v důsledku nerovností na styku dynamické rázy, které deformují konce kolejnic v oblasti hlav. Ve stykované koleji je třeba věnovat zvýšenou pozornost udržování styků, protože účinky provozu vedou k postupnému opotřebení a uvolňování součástí styku.

Podle vzájemné polohy styků v koleji jsou tyto styky:

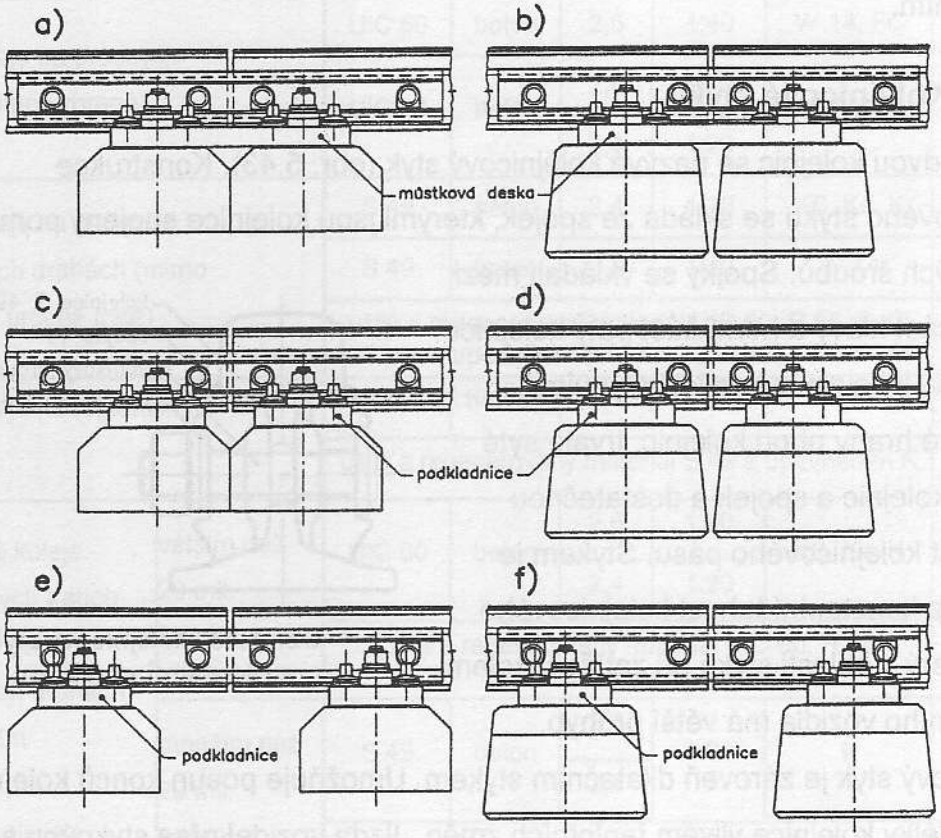
- vstřícné,
- vystřídané,
- neuspořádané.

Běžně se používá vstřícných styků, které soustřeďují rázy do jednoho místa a usnadňují strojní kladení kolejových polí. U nevstřícných nebo neuspořádaných styků se nemusí užívat zkrácených kolejnic v obloucích. Nevstřícné styky se používají zejména v USA.

Podle polohy pražců na styku se styky rozdělují na:

- podporované,
- převislé.

Každý kolejnicový styk umožňuje dilataci kolejnic. Na obr. 5.44 jsou různá konstrukční uspořádání dilatačních kolejnicových styků na dřevěných a betonových pražcích. Všechna tato konstrukční uspořádání se u nás používala.



Obr. 5.44 Konstrukce kolejnicových styků:

a) podporovaný styk na dřevěných pražcích s můstkovou deskou

b) podporovaný styk na betonových pražcích s můstkovou deskou

c) podporovaný styk na dřevěných pražcích s podkladnicemi

d) podporovaný styk na betonových pražcích s podkladnicemi

e) převislý styk na dřevěných pražcích s podkladnicemi

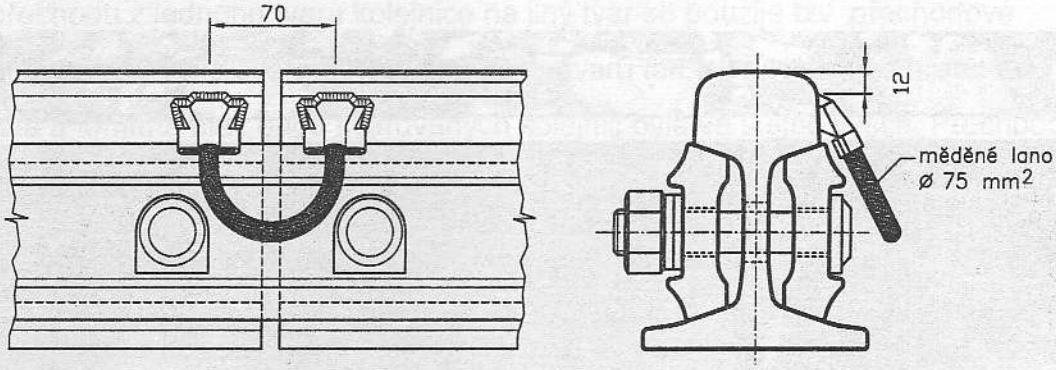
f) převislý styk na betonových pražcích s podkladnicemi

Dnes se zřizují dilatační kolejnicové styky pouze převislé. Šířka dilatační spáry se řídí délkou kolejnice a teplotou kolejnic při montáži. V přímé i oblouku jsou kolejnicové styky zřizovány vstřícně s dovolenou odchylkou ± 10 mm při novostavbě a ± 25 mm

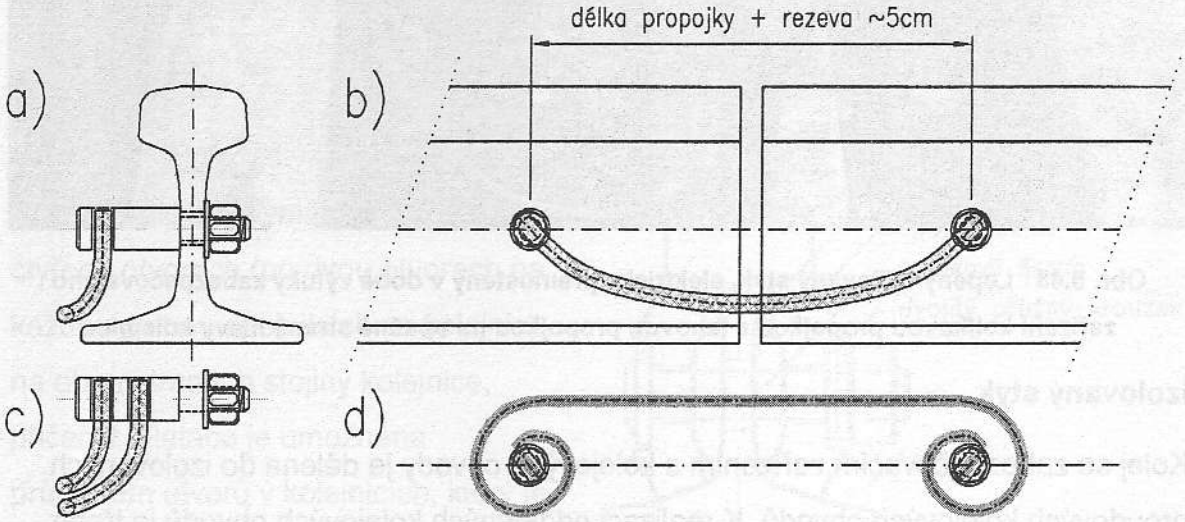
za provozu. V oblouku pak musí být styky zřízeny radiálně s dovolenou odchylkou ± 28 mm při novostavbě a rekonstrukci ± 35 mm za provozu.

Elektrovodný styk

Na elektrizovaných tratích, na tratích vybavených zabezpečovacím zařízením s kolejovými obvody a na neelektrizovaných tratích s provozem souprav s elektrickým vytápěním vozů je třeba, aby kolejnicový dilatační styk byl elektrovodný. Proto je třeba, aby kolejnicové pásy měly v celé délce co nejmenší elektrický odpor. Pro zvýšení vodivosti kolejnicových styků se používají lanové měděné propojky (obr. 5.45) a nově již pouze kolíkové propojky (obr. 5.46, 5.48). Kolíkové propojky se šroubují do otvorů ve stojině kolejnice, podle účelu mohou být lanové, kabelové, případně s drátem. Pokud je potřeba, aby propojkou mohl protékat větší proud (např. trakční), propojky se zdvojují a volí se provedení se dvěma lany.

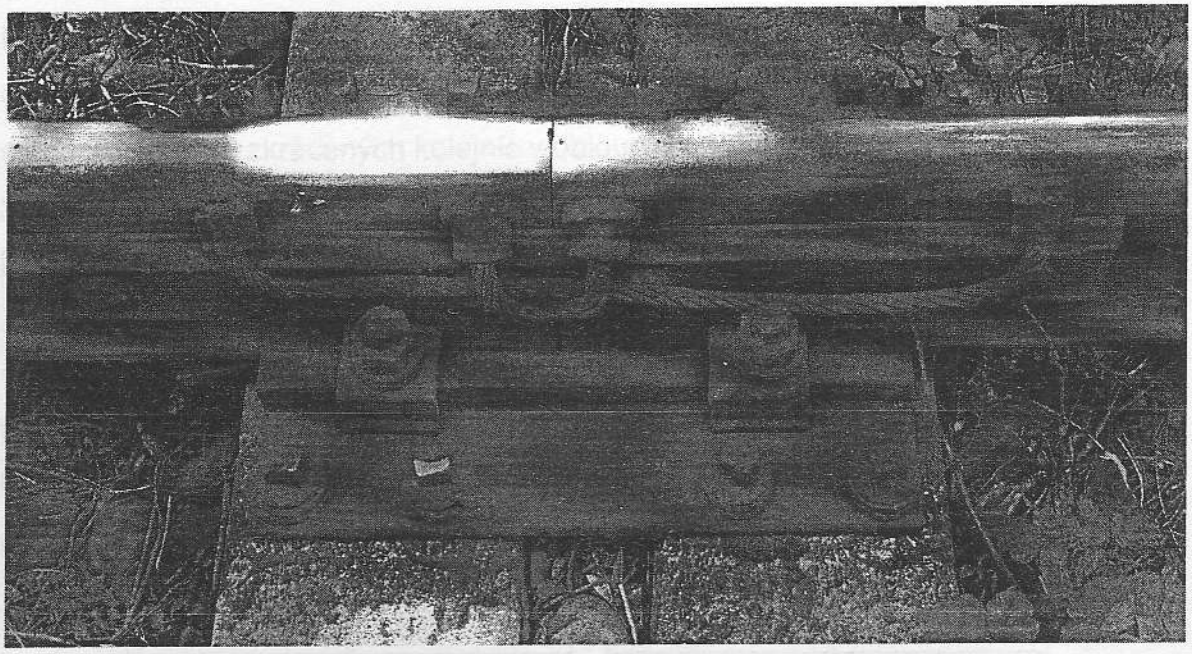


Obr. 5.45 Kolejnicový styk s měděnou lanovou propojkou



Obr. 5.46 Kolíková propojka

a) schématický řez kolejnicí s lanovou (kabelovou) propojkou
b) schématický boční pohled
c) varianta se dvěma lany (kabely)
d) varianta s drátem



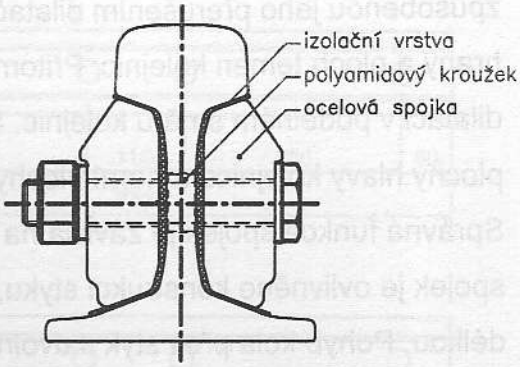
Obr. 5.47 Kolejnicový elektrovodný styk s můstkovou deskou

Obr. 5.48 Lepený izolovaný styk, elektricky přemostěný v době výluky zabezpečovacího zařízení kolíkovou propojkou a lanovou propojkou na opačné straně hlavy kolejnice

Izolovaný styk

Kolej se zabezpečovacím zařízením s kolejovými obvody je dělena do izolovaných proudových kolejových obvodů. K realizaci oddělených kolejových obvodů je třeba izolovaných kolejnicových styků. Dříve se používalo různých konstrukcí izolovaného kolejnicového styku (např. se spojkami z lisovaného vrstveného dřeva nebo s polyamidovými spojkami). Dnes se zřizují lepené izolované styky (LIS). Lepený izolovaný styk (obr. 5.48, 5.49) se vyrábí na stabilní základně jako prefabrikát v délce

3,5 až 4,5 m. V místě izolovaného styku se vyřízne potřebná délka kolejnice a vevaří se prefabrikovaný lepený izolovaný styk. Lepený izolovaný styk se skládá ze dvou krátkých kolejnic spojených ocelovými plochými spojkami, které jsou vlepeny spolu s izolační vrstvou ze sklotextilní tkaniny, prosycené epoxidovou pryskyřicí, do spojkových komor. Spojky jsou v LISu vzájemně spojeny spojkovými šrouby (6 ks), na které jsou navlečeny izolační polyamidové kroužkové vložky.



Obr. 5.49 Lepený izolovaný styk (LIS)

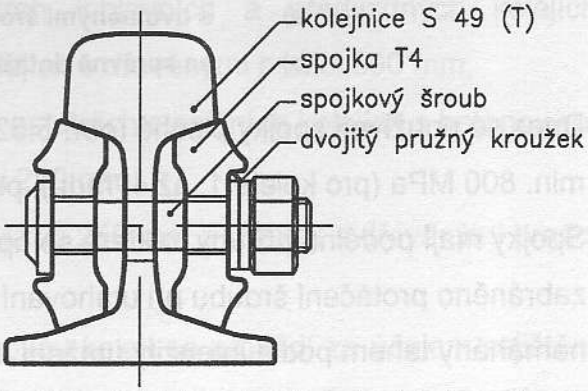
Přechodový styk

Při přechodu z jednoho tvaru kolejnice na jiný tvar se použije tzv. přechodové kolejnice, zhotovené svařením kolejnic obou tvarů tak, aby pojížděná hrana byla plynulá a temena hlav obou svařovaných kolejnic byla ve stejné výšce. Přechodové kolejnice, vkládané do hlavních kolejí, mají být nejméně 15 m dlouhé, v ostatních kolejích 10 m, v kolejových rozvětveních alespoň 4 m.

Pro dočasné spojení dvou různých tvarů kolejnic je možné použít přechodový styk s plochými přechodovými spojkami, které jsou upraveny tak, aby zajišťovaly plynulou pojížděnou hranu a stejnou výšku temen hlav obou kolejnic. Při použití tohoto přechodového styku je omezena rychlost.

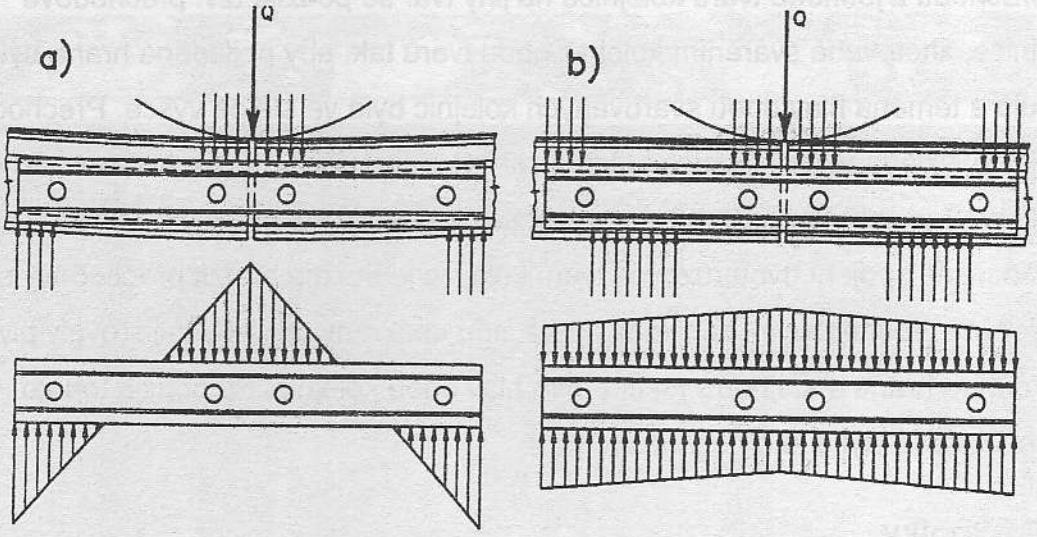
5.4.7 Spojky

Spojení kolejnic – stykování – se provádí kolejnicovými spojkami o čtyřech otvorech (po dvou otvorech na každou z obou spojujících se kolejnic) na obou stranách stojiny kolejnice, přičemž dilatace je umožněna průměrem otvorů v kolejnicích, který je větší než průměr otvorů spojkových šroubů. Největší šířka dilatační spáry je 20 mm; správná šířka dilatační spáry v konkrétním případě zřizování stykované koleje se určí podle momentální teploty kolejnice a její délky.



Obr. 5.50 Kolejnicový styk s plochými spojkami

Spojky jsou nosníky, které mají nahradit ztrátu tuhosti kolejnicového pásu, způsobenou jeho přerušením dilatační spárou ve styku. Zajišťují plynulost pojížděné hrany a ploch temen kolejnic. Přitom nesmí zabraňovat posunu konců kolejnic při dilataci v podélném směru kolejnic. Spojky se opírají dosedacími plochami do spodní plochy hlavy kolejnice a horní plochy paty kolejnice tvořící klín (obr. 5.50). Správná funkce spojek je závislá na intenzitě sevření spojkových šroubů. Namáhání spojek je ovlivněno konstrukcí styku, zejména vzdáleností stykových pražců a jejich délkou. Pohyb kola přes styk s uvolněnými spojkovými šrouby vyvolává nesprávné namáhání spojky, které se soustřeďuje do středu a na oba konce spojky (obr. 5.51a). Naopak při pohybu kola přes styk se správně utaženými spojkovými šrouby je namáhání spojky rozloženo po celé délce spojky (obr. 5.51b). Při neudržovaných stycích, kde jsou spojkové šrouby uvolněné, dochází k lomům spojek v místech extrémního namáhání, zejména v oblasti otvorů pro spojkové šrouby.

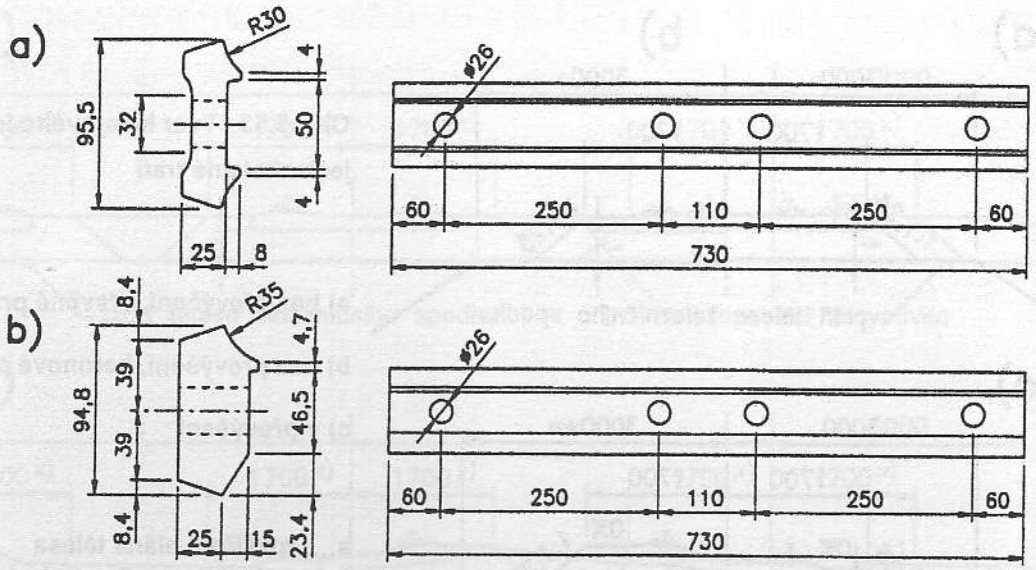


Obr. 5.51 Pohyb kola přes kolejnicový styk a namáhání spojky

a) s uvolněnými šrouby

b) se správně dotaženými spojkovými šrouby

Dnes se používají spojky ploché (obr. 5.52). Spojky jsou z oceli o pevnosti v tahu min. 800 MPa (pro koleje 1. až 4. řádu), příp. 500 MPa (pro koleje nižších řádů). Spojky mají podélné příruby, o které se opírá hlava spojkového šroubu. Tím je zabráněno protáčení šroubu při utahování nebo uvolňování. Spojkové šrouby jsou namáhány tahem podle intenzity utažení. Při vyčerpání dilatační spáry posunem konců kolejnic jsou také namáhány smykem. Matice spojkových šroubů jsou proti uvolnění zajištěny dvojitými pružnými kroužky. Spojkové šrouby jsou orientovány v koleji tak, že matice jsou otočeny do osy koleje, aby byla možná snadná kontrola utažení.



Obr. 5.52 Ploché kolejnicové spojky – a) spojka T4, b) spojka S

5.5 Kolejové lože

Kolejové lože, tvořící základ konstrukce koleje, přenáší zatížení z kolejového roštu na těleso železničního spodku, zajišťuje odpor koleje proti příčnému a podélnému posunu, zabezpečuje pružné uložení kolejového roštu, zajišťuje odvedení srážkové vody z koleje, chrání zemní pláň před promrzáním a umožňuje směrovou a výškovou úpravu polohy koleje.

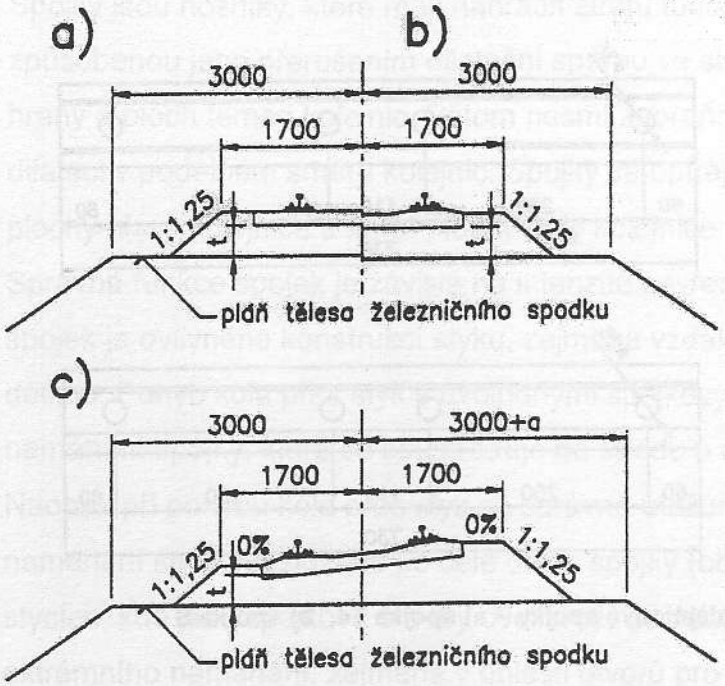
5.5.1 Tvar kolejového lože

Tvary (profily) kolejového lože jsou stanoveny v předpisu S 3. Tvary kolejového lože na jednokolejné trati jsou uvedeny na obr. 5.53. Nejmenší tloušťka kolejového lože **t** pod ložnou plochou pražce činí:

- u celostátních a regionálních drah v hlavních a předjízdných kolejích s betonovými pražci 350 mm a v kolejích s dřevěnými pražci 300 mm,
- u celostátních a regionálních drah v ostatních staničních kolejích s betonovými pražci 300 mm a s dřevěnými pražci 250 mm,
- na vlečkách v koleji s betonovými pražci 250 mm a v koleji s dřevěnými pražci 200 mm .

V kolejích v převýšení v úsecích s bezstykovou kolejí se provádí za účelem zajištění zvětšení příčného odporu koleje úprava štěrkového lože na vnější straně oblouku v závislosti na poloměru oblouku.

Na obr. 5.54 je znázorněn tvar kolejového lože na dvoukolejné trati a na obr. 5.55 tvar kolejového lože ve staničních kolejích.



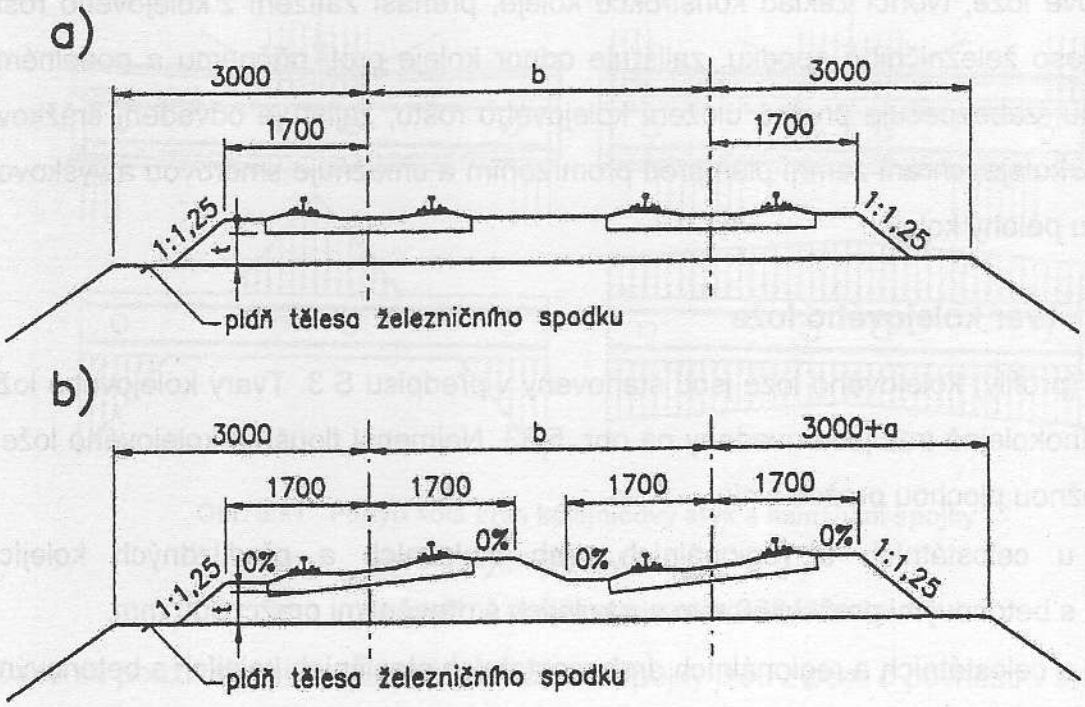
Obr. 5.53 Tvar kolejového lože na jednokolejné trati

a) bez převýšení, dřevěné pražce,

b) bez převýšení, betonové pražce

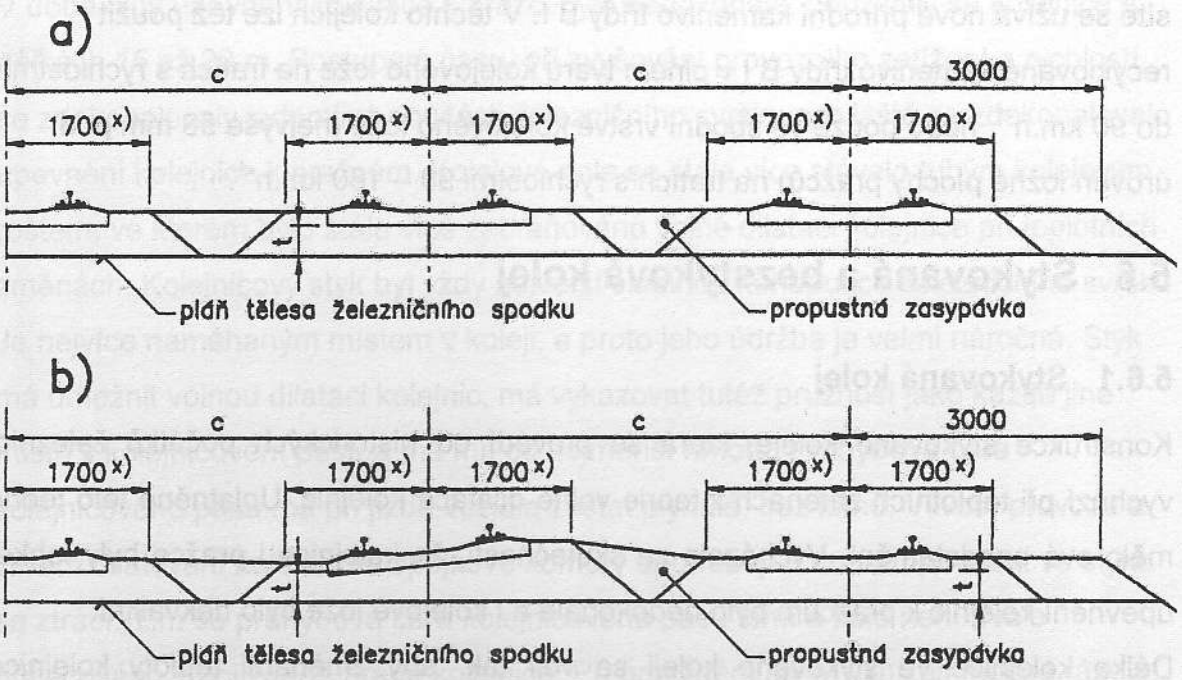
c) v převýšení

a.....rozšíření pláně tělesa železničního spodku (tab. 4.1)



Obr. 5.54 Tvar kolejového lože na dvoukolejné trati (a - rozšíření pláně tělesa železničního spodku, b - osová vzdálenost kolejí)

a) bez převýšení, b) v převýšení



Obr. 5.55 Tvar zapuštěného kolejového lože ve staničních kolejích

x) – platí při obnově a novostavbách, u stávajících kolejí se dovoluje hodnota min. 1600 mm, c – vzdálenost os kolejí (nejčastěji 5 m)

a) bez převýšení

b) v převýšení

5.5.2 Materiál kolejového lože

Kolejové lože se zřizuje z přírodního drceného hrubého hutného kameniva, případně z recyklovaného kameniva nebo umělého kameniva (strusky) frakce 32-63. Přírodní kamenivo pro kolejové lože musí být vyráběno z hornin nezasažených zvětrávacím procesem, nenamrzavých a odolných proti povětrnostním vlivům.

Dále musí být přírodní kamenivo odolné proti působení dynamických účinků od železničního provozu a proti účinkům udržovacích stavebních strojů (musí být dostatečně houževnaté, zrna musí mít ostré hrany - musí vyhovovat požadavkům na otlukovost). Nejlepší štěrk je čedičový, znělcový, dioritový, diabasový, porfyrový a žulový. Nevhodné jsou vápence a dolomity.

Recyklované kamenivo je kamenivo vytěžené z kolejového lože a vhodně upravené v recyklačním zařízení. Za recyklaci se nepovažuje čištění kolejového lože strojními čističkami v koleji.

Umělé kamenivo pro kolejové lože se vyrábí drcením a tříděním volně vychlazené vysokopecní strusky. Dříve bylo možné též použití škváry.

Kamenivo pro kolejové lože se podle vlastností a jakosti rozděluje do tříd B I, B II a C. V hlavních a předjízdných kolejích na vybraných tratích modernizované železniční

sítě se užívá nové přírodní kamenivo třídy B I. V těchto kolejích lze též použít recyklované kamenivo třídy B I v plném tvaru kolejového lože na tratích s rychlostmi do 90 km.h^{-1}, nebo pouze ve spodní vrstvě kolejového lože (nejvýše 50 mm pod úroveň ložné plochy pražců) na tratích s rychlostmi 90 – 160 km.h^{-1}.

5.6 Stykovaná a bezstyková kolej

5.6.1 Stykovaná kolej

Konstrukce stykované koleje, která se provádí od historických počátků železnic, vychází při teplotních změnách z teorie volné dilatace kolejnic. Uplatněné této teorie mělo své opodstatnění. Vycházela ze skutečnosti, že kolejnice i pražce byly lehké, upevnění kolejnic k pražcům bylo nedokonalé a i kolejové lože bylo nekvalitní.

Délka kolejnice ve stykované koleji se volí tak, aby změnami teploty kolejnice nevznikala napětí od teplotních účinků a byla umožněna úplná dilatace kolejnic.

U stykované koleje se předpokládá, že délka kolejnice se při volné dilataci mění úměrně se změnou její teploty vlivem klimatických podmínek:

$$\pm \Delta l = \alpha \,.\, l \,.\, (t - t_0)\,, \qquad [5.1]$$

kde Δl je prodloužení (zkrácení) délky kolejnice změnou její teploty,
α je součinitel teplotní roztažnosti oceli [α = 11,8.10^{-6}],
l je délka kolejnice před teplotní změnou v m.
t je teplota kolejnice po oteplení (ochlazení) [°C]
t_0 je teplota kolejnice počáteční [°C].

V našich klimatických podmínkách se uvažují teplotní změny kolejnicové oceli v rozsahu od t_{min} = -30°C do t_{max} = +60°C. Teplotní rozdíl 90°C byl stanoven na základě dlouholetých zkušeností.

Největší šířka dilatační spáry je s ohledem na optimální přejezd kola přes dilatační kolejnicový styk stanovena na d_{max} = 20 mm. Z teplotního rozdílu a šířky spáry za předpokladu volné dilatace je možné stanovit největší délku kolejnice l_{max} dosazením do rovnice:

$$l_{max} = \frac{d_{max}}{\alpha . \Delta t} = 18{,}832 \text{ m}\,, \qquad [5.2]$$

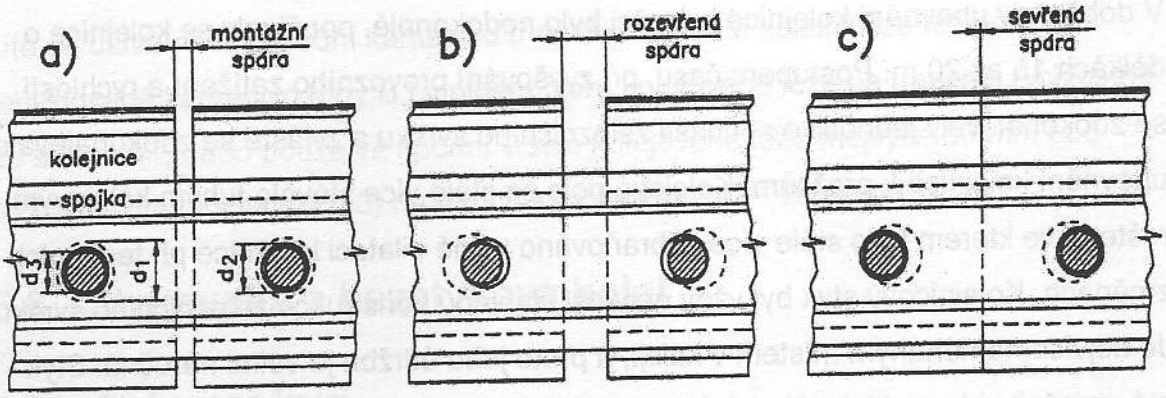
kde l_{max} je největší délka kolejnice v m,
d_{max} je největší šířka dilatační spáry v m,
α je součinitel teplotní roztažnosti oceli [α = 11,8.10^{-6}],
Δt je maximální teplotní rozdíl [°C]

V době, kdy upevnění kolejnice k pražci bylo nedokonalé, používaly se kolejnice o délkách 15 až 20 m. Postupem času, při zvyšování provozního zatížení a rychlostí, se zdokonalovaly jednotlivé součásti železničního svršku a zvláště se zdokonalovalo upevnění kolejnice k pražcům. Kolejové pole se stále více stávalo tuhým kolejovým roštem, ve kterém bylo stále více zabraňováno volné dilataci kolejnice při teplotních změnách. Kolejnicový styk byl vždy největší slabinou konstrukce železničního svršku. Je nejvíce namáhaným místem v koleji, a proto jeho údržba je velmi náročná. Styk má umožnit volnou dilataci kolejnic, má vykazovat tutéž pružnost jako každé jiné místo v kolejnicovém pásu a má mít co nejmenší hmotu. Průhybová čára kolejnicového pásu má při jízdě vozidla zůstat plynulá, bez lomů. Vlivem provozu a vlivem dilatování kolejnic se spojkové komory opotřebují a dobré upevnění ve styku se ztrácí. Tím se průhybová čára kolejnicového pásu lomí a kolo není trvale přitlačováno k pojížděné hraně kolejnice. Při projíždění styku vznikají mocné rázy a pražce poklesávají. Tímto poklesem se ještě zvětšuje intenzita rázů a vznikají trvalé deformace železničního svršku i spodku. Vzrůstá tím hlučnost jízdy a zvětšuje se opotřebení vozidel.

Zdokonalováním konstrukce koleje se stále více zmenšovala hodnota dilatace kolejnic. Celkové odpory zmenšují volnou dilataci až o 50%. Proto z původních krátkých kolejnic se postupně přešlo na kolejnice o délkách 25, 30 až 60 m.

U nás se běžně používají kolejnice o délce 25 m. Šířka dilatační spáry se při vkládání kolejnic do koleje volí podle skutečné momentální teploty kolejnice. Kolejnice se vkládají do koleje bez napětí. Teplota kolejnice se měří na místě kladení speciálním teploměrem. Šířka dilatační spáry podle momentální teploty kolejnice se zajistí dilatační vložkou z ocelového plechu (sada úhelníků různé tloušťky). Velikosti dilatační spáry v závislosti na teplotě kolejnice jsou uvedeny v předpisu S 3.

Dilatace kolejnic je ve styku umožněna vhodným uspořádáním velikostí otvorů pro spojkové šrouby. Ve stojině kolejnice je otvor největší (d_1), ve spojce menší (d_2) a velkost profilu dříku spojkového šroubu (d_3) je nejmenší. Vzájemná poloha obou otvorů a dříku při montážní teplotě, při sevřené spáře a při jejím úplném otevření je na obr. 5.56:



Obr. 5.56 Dilatační styk kolejnic

a) spára při montáži

b) rozevřená spára při nejnižší teplotě kolejnic

c) sevřená spára při nejvyšší teplotě kolejnic

5.6.2 Bezstyková kolej

Snaha o vyloučení kolejnicových styků vedla k myšlence zavést bezstykovou kolej s průběžně svařenými kolejnicovými pásy. Již ve třicátých letech 20. století se začala propracovávat teorie bezstykové koleje. U nás se touto teorií zabýval a později ji propracoval ve svých vědeckých pracích prof. Ing. Dr. Josef Vaverka, DrSc.

Pro realizaci bezstykové koleje byly rozhodující nejen teoretické základy, ale také další dva nutné předpoklady. Prvním předpokladem byla dokonalá konstrukce koleje, která je schopna přenášet napětí od teplotních změn, a druhým předpokladem byla existence technologie svařování, při které vzniknou dokonalé svary kolejnic.

Zřízením bezstykové koleje se podstatně zvyšuje bezpečnost a kvalita jízdy vlaků, protože odpadají rázy kol v oblasti styků. U zabezpečovacího zařízení se zmenšuje počet provozních závad, způsobených prasklými kolejnicovými propojkami, prodlužuje se životnost koleje a obručí kol a zmenšují se náklady na udržování koleje. První úsek bezstykové koleje byl u nás zřízen v roce 1954. Protože konstrukce bezstykové koleje se plně osvědčila, počet traťových úseků s bezstykovou kolejí se rychle zvětšoval a v současné době se konstrukce bezstykové koleje uplatňuje na všech tratích, jejichž součásti svršku umožňují její zřízení (viz následující text).

5.6.3 Teoretické základy bezstykové koleje

Bezstyková kolej je kolej bez dilatačních spár. Jednotlivé kolejnice jsou svařeny do dlouhých kolejnicových pásů. Odstraněním spár a pevným upnutím kolejnice k pražcům se zabrání změnám délky kolejnic při změně teploty. Znemožněním změny délky kolejnice při oteplení nebo ochlazení vzniká v kolejnici napětí v tlaku nebo tahu:

$$\sigma = \frac{F}{O}, \qquad [5.3]$$

kde σ je napětí [MPa],
F je osová síla v kolejnici, vzniklá vlivem změny teploty [N],
O je plocha průřezu kolejnice [mm^2].

Z Hookova zákona vyplývá:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}, \qquad [5.4]$$

kde Δl je prodloužení (zkrácení) délky kolejnice při volné dilataci v m,
l je délka kolejnice před teplotní změnou v m,
σ je napětí [MPa],
E je modul pružnosti oceli ($E = 2{,}1 \,.\, 10^5$ MPa).

Potom je:

$$\Delta l = \frac{\sigma . l}{E}, \qquad [5.5]$$

Dosazením Δl z rovnice [5.5] do základní rovnice [5.1] pro změnu délky dostaneme:

$$\sigma = \alpha \,.\, E \,.\, (t - t_u), \qquad [5.6]$$

kde t je momentální teplota (oteplení, ochlazení oproti t_u) [°C],
t_u je teplota kolejnice, při níž byla kolejnice upnuta k pražcům [°C].

Napětí, vyvolané změnou teploty o 1 °C, je vyjádřeno vztahem:

$$\sigma_{1°C} = 11{,}8 \,.\, 10^{-6}\, 2{,}1 \,.10^5 \,.\, 1 \cong 2{,}5 \text{ MPa}, \qquad [5.7]$$

Osová síla, která způsobuje napětí v kolejnici, je vyjádřena vztahem:

$$F = \sigma \,.\, O = \alpha \,.\, E \,.\, O \,.\, (t - t_u). \qquad [5.8]$$

Při změně teploty o 1 °C se změní osová síla v kolejnici tvaru S 49 o 15,2 kN.

Dilatující konec bezstykové koleje se může posunout, až když změna teploty vyvolá sílu, která překoná tření mezi spojkami a kolejnicí ve styku.

Pro velikost změny teploty platí vztah:

$$\Delta t = t_s - t_u = \frac{F_s}{E.O}, \qquad [5.9]$$

kde F_s je síla potřebná k překonání tření mezi spojkami a kolejnicí [N],
t_s je teplota, při níž došlo k překonání odporu ve styku [°C],
t_u je teplota kolejnice, při níž byla kolejnice upnuta k pražcům [°C].

Napětí v bezstykové koleji dosáhne v okamžiku překonání odporu ve styku hodnoty:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{O}, \qquad [5.10]$$

Dalším růstem teploty může kolejnice dilatovat avšak jen tehdy, bude-li překonán odpor proti posunutí mezi kolejnicí a upevňovadly. Kolejnice na koncích bezstykové koleje může dilatovat. Dilatace je znemožněna od místa, kde hodnota podélného

odporu proti dilataci dosáhne hodnoty největší síly F_{max}, vyvolané v koleji teplotními změnami. Z toho vyplývá, že bezstyková kolej má dva dilatující dýchající konce o délce l_d a střední nedilatující část o délce l_n, která pod plným napětím (obr. 5.57). Dýchající konec se uvažuje v délce cca 75 m a tudíž nejmenší délka bezstykové koleje je alespoň 150 m (2x75 m).

Napětí ve střední části je dáno vztahem:

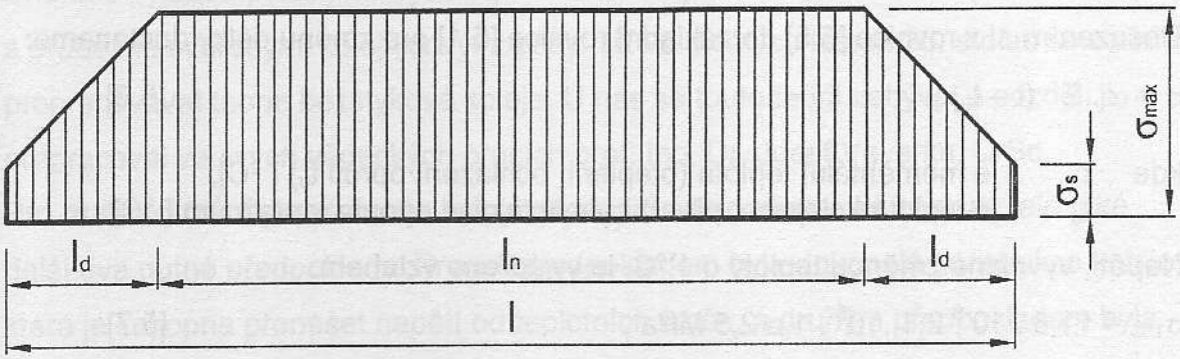
$$\sigma_{max} = 2{,}5.\ (t_{max} - t_u)\ , \qquad [5.11]$$

kde t_{max} je nejvyšší denní kladná nebo záporná teplota kolejnice [°C].

Délka dilatujícího konce se vypočítá ze vzorce:

$$l_d = \frac{F_{max}}{O_p} = \frac{\sigma.O}{O_p} = \frac{\alpha.E.O.(t_{max} - t_s)}{O_p}\ , \qquad [5.12]$$

kde Op je odpor proti podélnému posunutí kolejnice [$N.m^{-1}$]



Obr. 5.57 Průběh napětí v kolejnicovém pásu bezstykové koleje vlivem změny teploty

5.6.4 Odpory proti podélnému posunu

V koleji vznikají podélné odpory:

- odpor proti posunutí pražců v kolejovém loži,
- odpor proti posunutí kolejnice v upevnění,
- odpor vzniklý třením ve spojkách.

Třením pražců o štěrk a hmotností štěrku mezi pražci vzniká odpor proti podélnému posunu kolejového roštu. Velikost tohoto odporu závisí na kvalitě kolejového lože, typu pražců a povětrnostních vlivech, kdy v zimním období je jeho hodnota vyšší než v letním.

Odpor proti posunutí kolejnice v upevnění vzniká třením mezi patou kolejnice a plochou podpory, na kterou je kolejnice uchycena, a třením mezi vlastním upevňovadlem a patou kolejnice. Jeho hodnota závisí především na typu upevnění kolejnice a případně na dotažení upevňovadel. Při dobrém stavu upevnění kolejnic k pražcům je odpor v upevnění větší než odpor pražců v kolejovém loži.

V oblasti styku působí odpor způsobený třením kolejnic a spojek a závisí na materiálu a tvaru spojek, počtu a dotažení spojkových šroubů. Hodnota odporu ve spojkách je udávána podélnou silou 50 až 200 kN.

5.6.5 Příčný odpor v koleji

Při velkých teplotních rozdílech vzrůstají ve střední části bezstykové koleje podélné osové síly v kolejnicových pásech. Tyto síly při spolupůsobení zejména provozních vlivů mohou způsobit směrovou deformaci koleje. Například v bezstykové koelji s kolejnicemi tvaru S 49 při teplotním rozdílu 50 °C působí celková osová síla $1{,}638.10^6$ N.

Směrové deformaci brání pevné upnutí kolejnice k pražcům a příčný odpor proti posunu koleje.

Kolejový rošt uložený v kolejovém loži vyvolává na pražcích odpory, působící proti směru možného vybočení. Tyto odpory lze rozdělit na tření ložné plochy pražců o štěrk, tření bočních ploch pražců o štěrk a odpor štěrku za hlavami pražců. Velikost odporu ovlivňuje hmotnost kolejového roštu, koeficient tření pražců o štěrk, hmotnost a koeficient vnitřního tření štěrku za hlavami pražců. Koeficient vnitřního tření štěrku je velmi závislý na jeho znečištění – tedy na kvalitě údržby.

5.6.6 Stabilita bezstykové koleje

Důležitým ukazatelem bezpečnosti provozu na bezstykové koleji je její stabilita. Ta se posuzuje především na vzpěrný účinek vodorovných podélných sil, které vznikají v koleji zabráněním dilatace kolejnicových pásů při zvyšování teploty nad upínací teplotu.

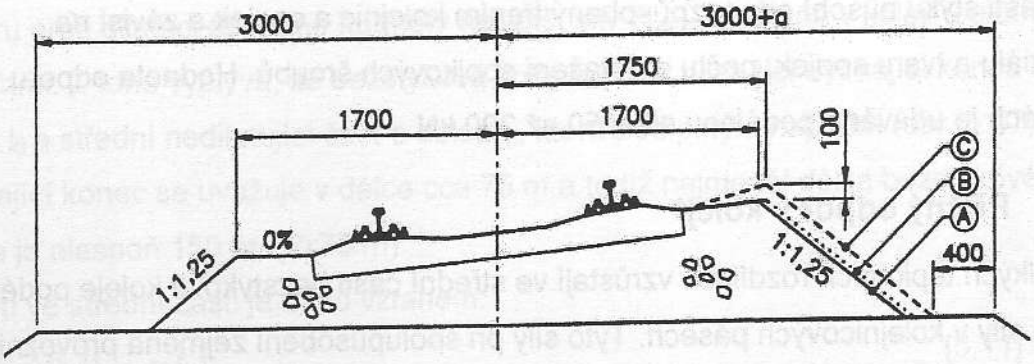
Vlastní stabilita kolejového roštu je kromě tvaru kolejnice a typu pražců ovlivněna odporem kolejového lože proti příčnému posunutí pražce a tuhostí upevnění, tzn. odporem proti pootočení kolejnice a odporem proti posunutí kolejnice v upevnění.

Ve směrových obloucích vzniká u bezstykové koleje spojitá příčná (radiální) síla v důsledku působení podélné osové síly podle vztahu:

$$f_r = \frac{F}{r}, \qquad [5.13]$$

kde f_r je spojitá radiální síla [$N.m^{-1}$],
r je poloměr směrového oblouku [m],

Aby byla zachována směrová poloha koleje, musí klást kolejové lože ve směrovém oblouku odpor radiální síle alespoň v její velikosti, a proto se speciálně tvarově upravuje (obr. 5.58).



Obr. 5.58 Úprava kolejového lože v bezstykové koleji

Odpor kolejového lože se přibližně pohybuje v rozmezí (5 ÷ 7) kN.m^{-1}. Pokud není radiální odpor kolejového lože dostatečný (oblouky o malých poloměrech), osazují se na pražce, excentricky, směrem k vnitřnímu kolejnicovému pásu, pražcové kotvy, které zvýší příčný odpor pražce nejméně o 10 kN.

Z hlediska bezpečnosti provozu po bezstykové koleji je důležitá její stabilita, která se posuzuje především podle vzpěrného účinku vodorovných podélných sil, které vznikají v důsledku bránění dilataci při změně teploty kolejnice vůči teplotě upínací. Vybočení koleje vzpěrnými silami se předpokládá ve vertikální nebo horizontální rovině. Ve skutečnosti je však nejpravděpodobnější vybočení prostorové, tedy současné vybočení ve vertikální i v horizontální rovině. V první fázi probíhá nadzvednutí koleje, při kterém se sníží příčné odpory, což umožní snazší horizontální vybočení koleje při druhé fázi. K destabilitě přispívají účinky provozu, kdy především dynamické vlivy mohou při labilním stavu koleje působit nepříznivě na její rovnováhu. Vybočení koleje může nastat v přímých úsecích koleje, ale zejména v obloucích o malých poloměrech. Proces vybočení trvá přibližně 0,2 s.

5.6.7 Podmínky pro zřizování bezstykové koleje

Bezstyková kolej se smí zřizovat z nových i užitých kolejnic tvarů T, S 49, R 65, UIC 60, se stávajícími i nově zavedenými typy upevnění na dřevěných i betonových pražcích. Kolejnice R 65 však nesmí být na rozponových podkladnicích, u upevnění s žebrovými podkladnicemi nesmí být užito svěrek ŽS 3. Užité kolejnice musí být defektoskopicky zkontrolovány.

Pro zvýšení odporu proti prokluzu kolejnic se používají opěrky proti putování kolejnic (obr. 5.32, 5.33). Pražcové kotvy se používají pro zvýšení příčného odporu pražců v obloucích o menších poloměrech (obr. 5.34, 5.35). Bezstyková kolej se smí zřizovat v hlavních kolejích a v kolejích s otevřeným kolejovým ložem s dřevěnými pražci o rozdělení nejméně **d** (610 mm), s betonovými pražci o rozdělení nejméně

c (675 mm) a v ostatních staničních kolejích se zapuštěným kolejovým ložem s dřevěnými a betonovými pražci o rozdělení nejméně **c**. Při poloměru oblouku menším než 600 m je nutné dodržet podmínky uvedené v tab. 5.5.

Upínací teplota je teplota kolejnic při upnutí kolejnicových pásů nebo teplota odpovídající umělé změně délky kolejnicových pásů napínáním nebo ohřevem.

Dovolená upínací teplota je teplota kolejnic nebo teplota odpovídající umělé změně délky kolejnicových pásů, při níž smějí být svařené kolejnicové pásy upnuty bez dodatečných úprav napětí.

Dovolená upínací teplota je:

- v hlavních kolejích a v kolejích s otevřeným kolejovým ložem od +17 °C do +23 °C,
- v ostatních staničních kolejích se zapuštěným kolejovým ložem od +10 °C do +28 °C.

Montážními svary se svařují kolejnice do dlouhých kolejnicových pásů maximální délky 450 m, které se následně svařují závěrnými svary za upínací teploty.

Další podmínky pro zřizování bezstykové koleje jsou uvedeny v předpisech S 3 a S 3/2.

materiál pražců	tvar kolejnice	poloměr oblouku [m] pro kolej s tvarem kolejového lože					
		podle obr. 5.58, tvar kolejového lože **A**	podle obr. 5.58, tvar kolejového lože **B**	podle obr. 5.58, tvar kolejového lože **C**			
				bez pražcových kotev	s pražcovými kotvami na každém		
					3. pražci	2. pražci	pražci
dřevo	T, S 49	≥ 600	≥ 550	≥ 400	≥ 350	≥ 330	≥ 250
			< 600	< 550	< 400	< 350	< 300
	R 65, UIC 60			≥ 470	≥ 400	≥ 360	≥ 300
				< 600	< 470	< 400	< 360
beton	všechny		≥ 550[1)]	≥ 330[1)]	≥ 270[1)]	≥ 230[1)]	≥ 200[1)]
			< 600	< 500	< 330	< 270	< 230
			≥ 550[2)]	≥ 400[2)]	≥ 330[2)]	≥ 280[2)]	≥ 250[2)]
			< 600	< 550	< 400	< 330	< 280

Tab. 5.5 Směrové poměry při zřizování bezstykové koleje

5.6.8 Svařování kolejnic

U ČSD se nejprve užívalo svařování elektrickým obloukem, později se přešlo na svařování termitem a svařování stykové s odtavením.

V současné době se kolejnice svařují následujícími způsoby:

- odtavovacím stykovým svařováním
  - stabilními svařovacími stroji,
  - pojízdnými svařovacími stroji na kolejových i silničních podvozcích,
- aluminotermickým svařováním

Kolejnice se svařují v koleji, na svařovacích roštech nebo ve stabilních svařovnách.

5.6.9 Udržování bezstykové koleje

Specifické podmínky bezstykové koleje vyžadují údržbu, která se v mnohém liší od údržby stykované koleje.

Náročnost podmínek pro udržování bezstykové koleje vyplývá z poměrně velikého maximálního teplotního rozdílu u nás (+60°C až -30°C), z čehož vyplývá, že při ideálním předpokladu zřízení bezstykové koleje za teploty +17°C od 23°C působí při větší teplotě +60°C v jednom kolejnicovém pásu tvaru UIC 60 síla až 900 kN.

Pro provádění jakýchkoli udržovacích prací v bezstykové koleji je nejvhodnější období, ve kterém se teplota kolejnice pohybuje blízko upínací teploty (do 10°C nad upínací teplotu). Protože při provádění udržovacích prací se dočasně snižují příčné i podélné odpory koleje, což snižuje její stabilitu, jsou pro provádění udržovacích prací stanovena organizačně technologická opatření, za nichž se mohou hlavní práce provádět.

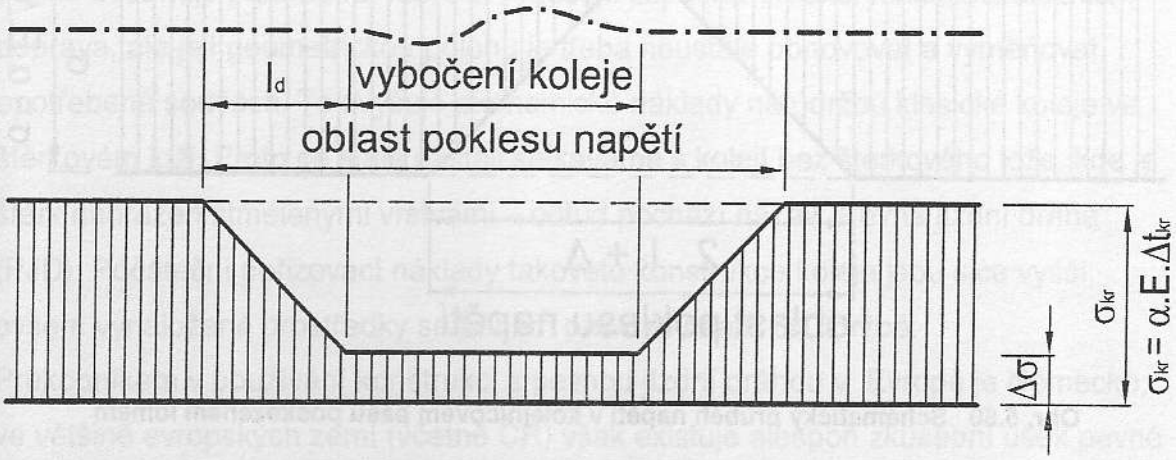
Protože prováděním opravných prací v bezstykové koleji dochází ke snížení její stability zmenšením podélného i příčného odporu, čímž vzniká možnost vybočení koleje, je v závislosti na provozním zatížení trati a zhutnění kolejového lože stanovena doba konsolidace, po níž kolej opět dosáhne potřebnou stabilitu.

Před zahájením udržovacích prací se musí vedoucí prací přesvědčit, jaká je upínací teplota úseku, v němž se bude pracovat. Po skončení prací se musí kolejové lože vždy doplnit a upravit do správného tvaru.

5.6.10 Poruchy bezstykové koleje

Poruchy ve směru, výšce a plynulosti nivelety bezstykové koleje nastávají zejména při extrémních změnách teplot, tj. při prudkých poklesech teplot a zejména při vysokých teplotách při současném oslabení odporů v koleji.

Při vysokých teplotách se zvýší tlaková napětí v bezstykové koleji a může dojít k vybočení, a to zvláště vlivem dynamických účinků jedoucího vozidla. Při vybočení koleje je nutné provést opravu bezstykové koleje. Při vybočení koleje dochází k lokálnímu snížení napětí v kolejnicovém pásu (obr. 5.59), čímž se vytvoří nový rovnovážný stav v koleji.

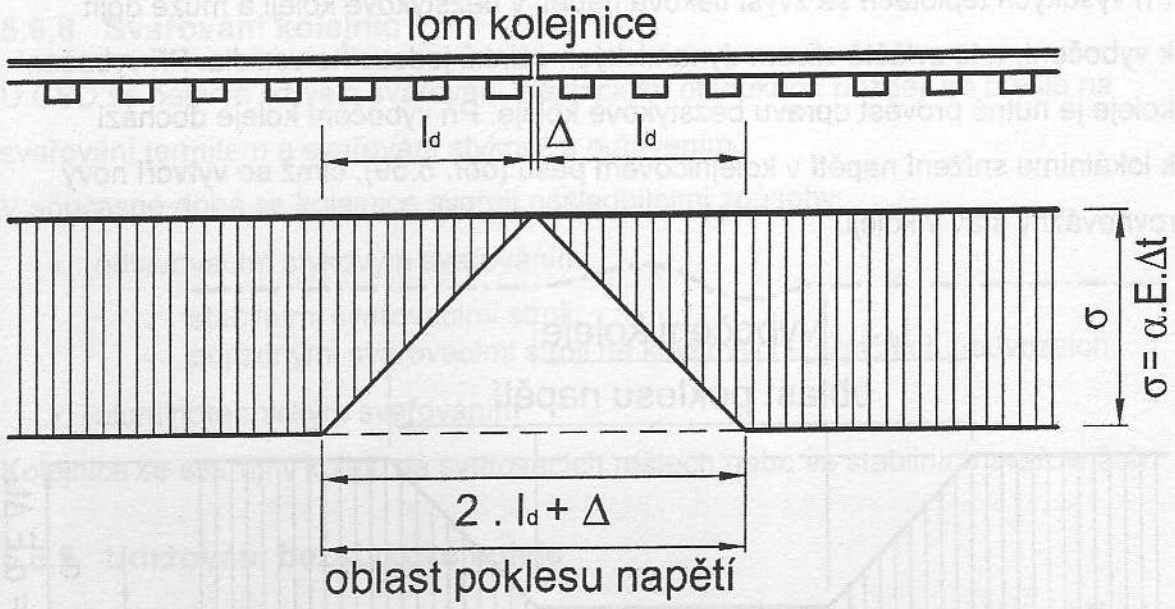


Obr. 5.59 Schéma průběhu napětí v deformovaném kolejnicovém pásu bezstykové koleje

Vybočení koleje lze odstranit:

- bez narušení celistvosti kolejnicových pásů,
- s narušením celistvosti kolejnicových pásů.

V prvém případě se může kolej vrátit do původní polohy, jestliže dojde ke snížení teploty. Kolej však zůstává i po navrácení do původního stavu v labilním stavu, protože vychýlením došlo ke zmenšení příčných a podélných odporů. Proto je nutné tyto odpory zvýšit zhutněním štěrku mezi a za hlavami pražců a provést vyrovnání napětí uvolněním a opětným dotažením upevňovadel (pokud to dovolí teplota).
Ve druhém případě musí být deformované kolejnicové pásy v místě deformace vyříznuty a uvolněna upevňovadla v přilehlých úsecích v délce nejméně 50 m na obě strany. Deformovaná část se nahradí kolejnicemi příslušného tvaru a délky. Spojení s okolními kolejnicovými pásy se provede provizorně spojkami. Po utažení upevňovadel a směrové úpravě se zhutní a tvarově upraví štěrkové lože. Kolejnicové pásy spolu s vloženými kolejnicemi mohou být svařeny až při vhodné teplotě (upínací).
Při prudkých a výrazných poklesech teplot vznikají značné tahové síly, které ve slabých místech bezstykové koleje zaviněné vadami materiálu, nekvalitními svary, špatnou údržbou, apod. vedou k lomům kolejnic a ke vzniku nebezpečných havarijních spar. K lomům kolejnic dochází také při působení provozních účinků, např. při jízdě vozidel s plochými koly. Při lomu kolejnicového pásu vzniká okamžitá změna silových poměrů v koleji (obr. 5.60).



Obr. 5.60 Schématický průběh napětí v kolejnicovém pásu poškozeném lomem

Odstraňování lomů kolejnic je obtížnější než u koleje stykované, protože je třeba přihlédnout k teplotě kolejnic a k celkovému stavu bezstykové koleje.

Lomy u bezstykové koleje se opravují:

- nouzovou opravou,
- předběžnou opravou,
- definitivní opravou.

Nouzová oprava umožní co nejrychleji obnovit provoz. Při lomové spáře menší než 30 mm se lom zajistí dvěma kolejnicovými spojkami sevřenými dvěma třmeny. V nejbližší pracovní směně se musí provést předběžná oprava lomu. Předběžná oprava se provádí při lomové spáře větší než 30 mm okamžitě a u spar do 30 mm v nejbližší pracovní směně. Poškozené místo se vyřízne a nahradí krátkou kolejnicí s vyvrtanými otvory pro spojkové šrouby. Vložená krátká kolejnice se připojí spojkami a spojkovými šrouby s kolejnicovými pásy. Řezy kolejnice musí být nejméně 1 m od lomu.

Definitivní oprava se provede svařením při dovolené upínací teplotě v rozmezí ±5 °C od původní upínací teploty celého úseku bezstykové koleje. Před svařováním se přilehlé kolejnicové pásy uvolní na délku 30 m na každou stranu. Nejmenší délka vevařované kolejnice je 2 m.

5.7 Pevná jízdní dráha

Společně s požadavkem na zvyšování rychlosti železniční dopravy je zároveň kladen stále větší důraz na co nejdokonalejší geometrické parametry koleje, resp. jejich trvalé zajištění. Kolej ve štěrkovém loži sice při zpracování moderními technologiemi běžně dosahuje parametrů, které si vynucuje zejména vysokorychlostní železniční doprava, ale její geometrickou polohu je třeba neustále obnovovat a vyměňovat opotřebené součásti. To zvyšuje ekonomické náklady na údržbu klasické koleje ve štěrkovém loži. Proto se stále častěji setkáváme s kolejí bez štěrkového lože, kde je štěrk nahrazen stmelenými vrstvami – odtud pochází název „Pevná jízdní dráha" (PJD). Počáteční pořizovací náklady takovéto konstrukce koleje jsou sice vyšší, ovšem vynaložené prostředky se během provozu ušetří na údržbě.
Průkopníkem v používání konstrukcí s pevnou jízdní dráhou v Evropě je Německo, ve většině evropských zemí (včetně ČR) však existuje alespoň zkušební úsek pevné jízdní dráhy. Mimo Evropu je pevná jízdní dráha rozšířena zejména v Japonsku na tratích systému „Shinkansen".
Hlavní výhody kolejí s pevnou jízdní dráhou jsou:

- Nevyžaduje klasickou údržbu – podbíjení, čištění, doplňování štěrku, s čímž odpadá i související mechanické poškození pražců,
- Nehrozí vybočení bezstykové koleje, jako u běžné konstrukce se štěrkovým ložem,
- Geometrické poloha koleje zůstává zachována po celou dobu životnosti konstrukce,
- Dlouhá životnost konstrukce, limitovaná pravděpodobně životností kotvení upevnění,
- Nižší konstrukční výška koleje (výhoda hlavně v tunelech a na mostech),
- I při vysokých rychlostech lze zajistit bezprašný provoz,
- Některé typy konstrukcí lze pojíždět i nekolejovou dopravou.

Nevýhodou jsou:

- Vysoké pořizovací náklady,
- Složitá konstrukce přechodu z klasické do pevné jízdní dráhy,
- Pouze omezená možnost úpravy rozchodu (i ostatních GPK),
- Vyšší hlučnost oproti štěrkovému loži,
- Oprava násilného poškození např. po vykolejení se v podstatě rovná novostavbě,
- Vysoké nároky na kvalitu a přesnost stavebních prací.

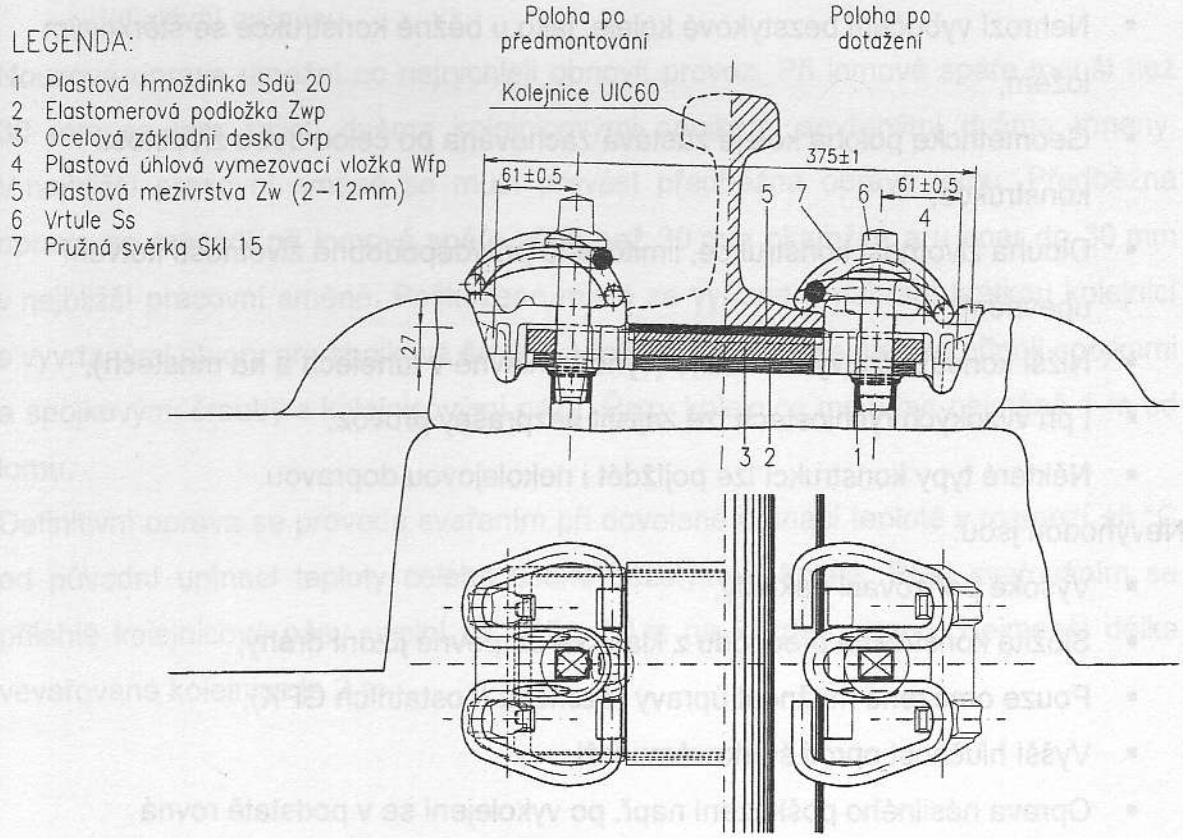
Stejně jako u koleje se štěrkovým ložem se předpokládá, že moduly přetvárnosti jednotlivých konstrukčních vrstev směrem od zemní pláně ke kolejnici postupně rostou. Stmelená plošná konstrukce vyžaduje nejlépe dokonale homogenní podklad, aby nedocházelo např. k praskání desek konstrukce PJD.

5.7.1 Upevnění kolejnic v kolejích s PJD

Tratě s pevnou jízdní dráhou lze rozdělit na tři základní typy:

1) Se zabetonovanými pražci (bloky)
2) Bez pražců – na desce
3) S kontinuálně uloženou kolejnicí

Pro upevnění kolejnic na zabetonované pražce se od roku 1987 téměř výhradně používá systém Vossloh 300 (obr. 5.61) nebo jeho modifikace. Jedná se o systém velmi podobný systému W 14 pro konvenční tratě. Rozchod lze měnit pomocí úhlových vymezovacích vložek, svěrkami lze vystrojit pražec již ve výrobním závodě – umožňují předmontážní polohu. Pro zvýšení pružnosti se navíc mezi ocelovou roznášecí desku pod patou kolejnice a úložnou plochu pražce vkládá elastomerová podložka.

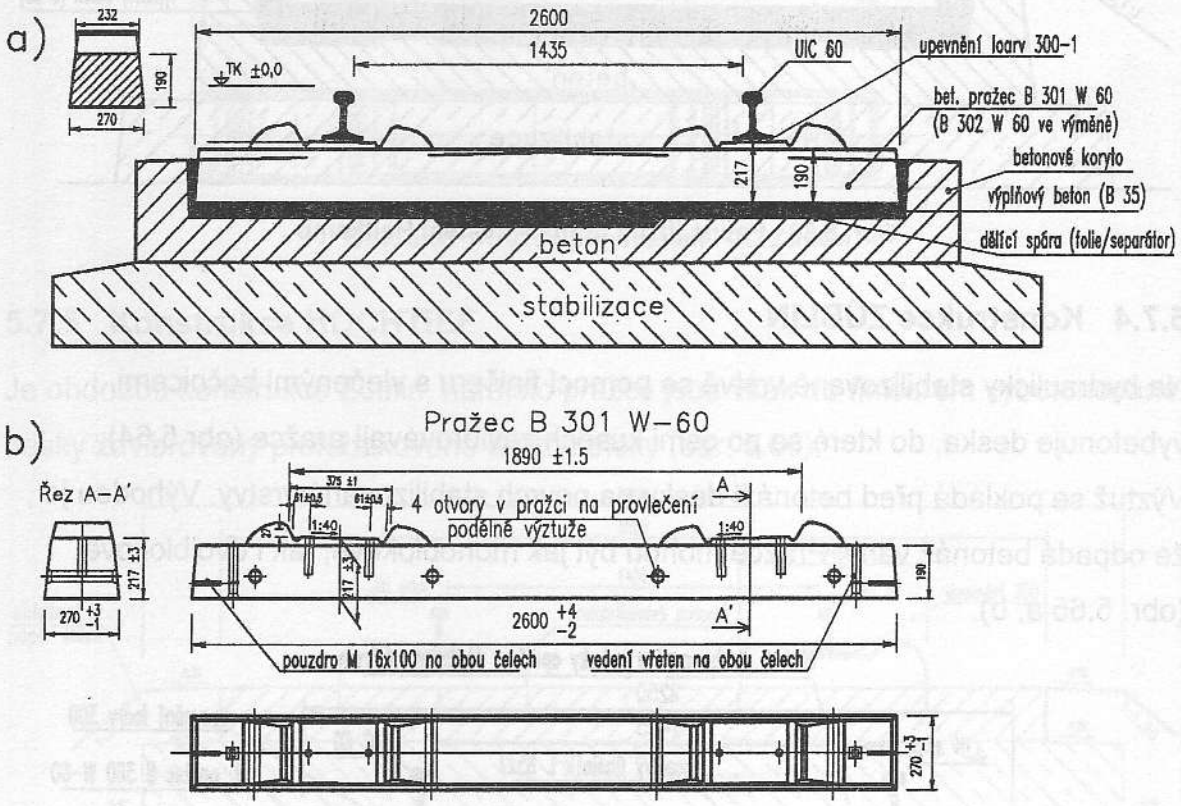


Obr. 5.61 Upevnění kolejnice Vossloh 300

Kromě systému Vossloh 300 lze použít pružné upevnění Nabla (systém Sonneville, použit v Eurotunelu). Upevnění kolejnic na monolitickou betonovou desku se provádí pomocí kotevního systému Hilti 336. Konstrukce PJD Sato FFYS využívá ocelové pražce tvaru „Y", které se ukotvují do živičné podkladní vrstvy. Upevnění kolejnic k ocelovému pražci je zde pomocí systému A7 (spec. vrtule + plast hmoždinka).

5.7.2 Konstrukce RHEDA

Jedná se o vůbec nejstarší konstrukci pevné jízdní dráhy, používanou do dnešních dnů. Poprvé byl zkušební úsek položen v roce 1972 ve stanici DB Rheda a je dodnes v provozu (obr. 5.62). Konstrukce vznikla na Vysoké škole technické v Mnichově. Princip spočívá v původně celých pražcích, zabetonovaných do betonové vany, pospojovaných pruty betonářské výztuže. Postupem času se od celých monoblokových pražců upustilo ve prospěch pražců dvojblokových, spojených tenkou betonářskou výztuží (modifikace Rheda 2000 a Rheda 2002). Jako jedna z mála konstrukcí pevné jízdní dráhy umožňuje Rheda i uložení výhybek.



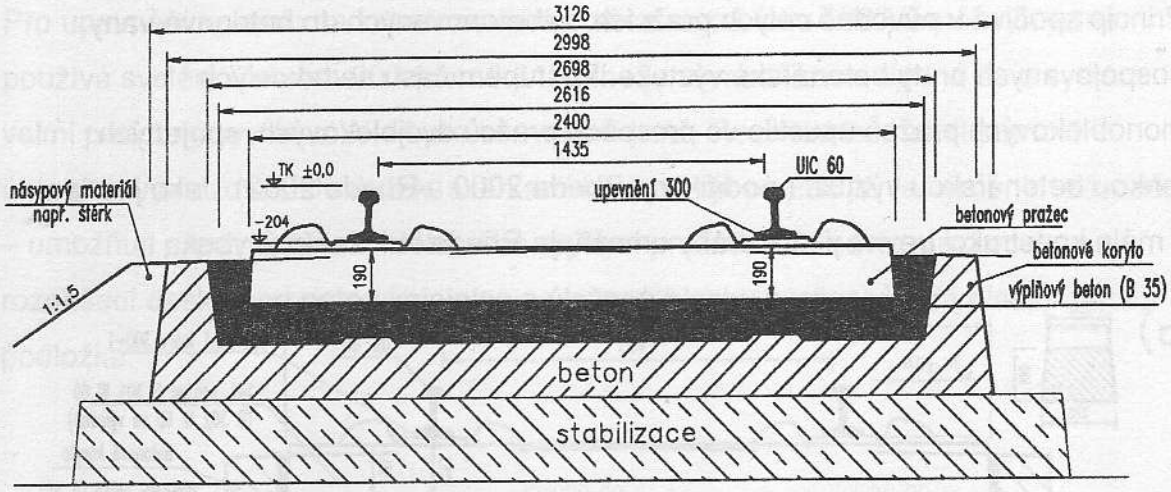
Obr. 5.62 Pevná jízdní dráha – systém Rheda, a) příčný řez, b) pražec

Přechod mezi PJD a klasickou kolejí se štěrkovým ložem se řeší speciální úpravou pražců s párem 21 m dlouhých pomocných kolejnic. 15,6 m od začátku nosné desky PJD se štěrkové lože prolévá speciální pryskyřičnou hmotou, čímž dojde k jeho

téměř dokonalému stmelení. Nosná deska PJD je zakončena masivním železobetonovým příčníkem zabetonovaným 1,2 m hluboko do země.

5.7.3 Konstrukce HEITKAMP

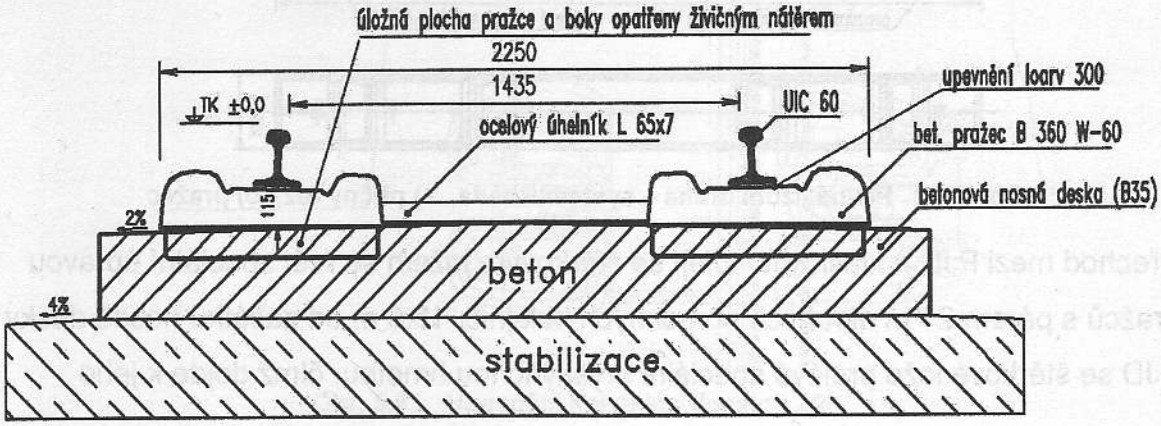
Vychází z konstrukce Rheda – tj. kolejový rošt leží v betonovém korytě (obr. 5.63). Rozdíl je v jeho uložení ve štěrkovém loži, takže geometrická poloha koleje se upravuje pomocí podbíječky, oproti rektifikačním vřetenům u systému Rheda. Po definitivní směrové a výškové úpravě koleje se štěrkové lože prolije cementovou maltou a štěrkové lože se tak změní v betonovou vrstvu. Výhodou oproti konstrukci Rheda je vyšší stupeň mechanizace prací



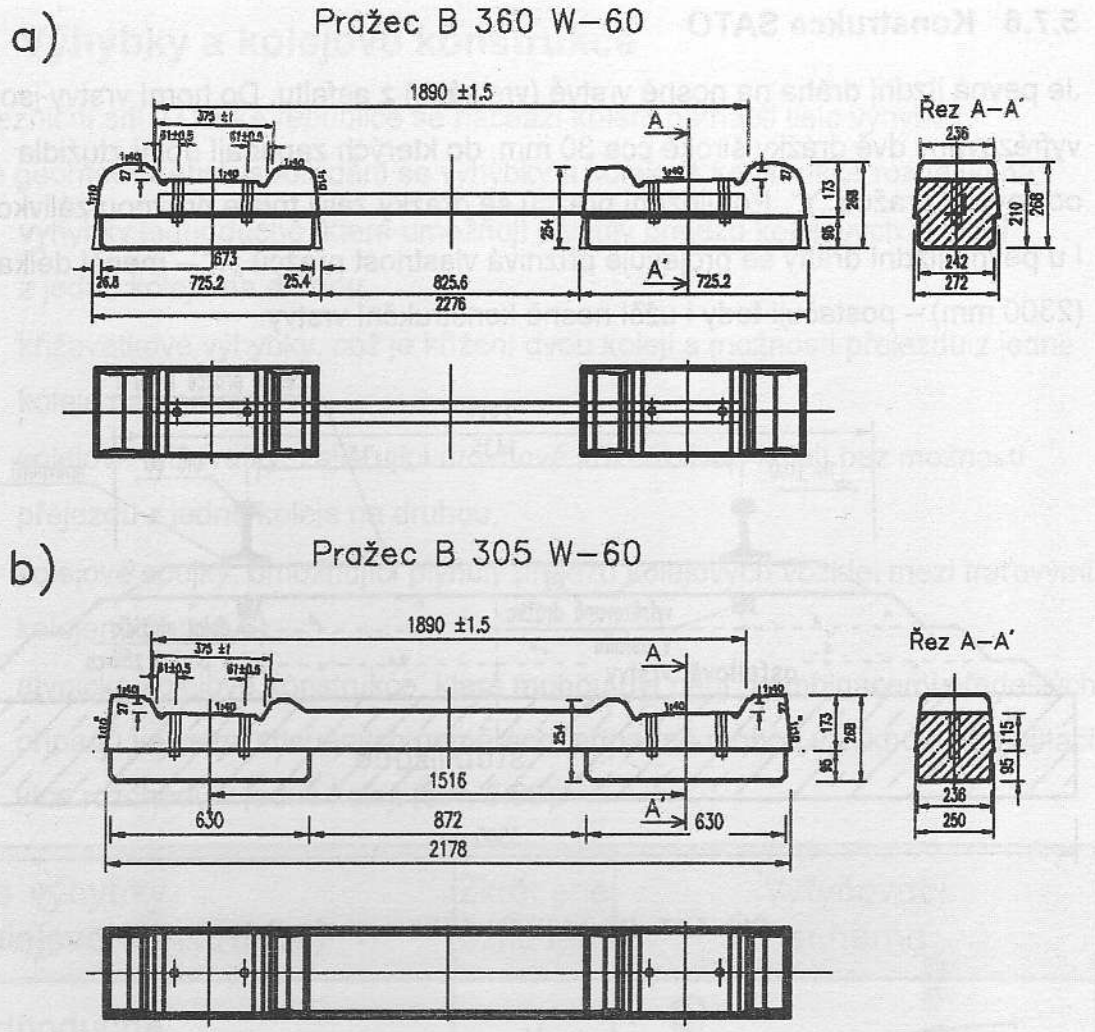
Obr. 5.63 Pevná jízdní dráha – systém Heitkamp

5.7.4 Konstrukce ZÜBLIN

Na hydraulicky stabilizované vrstvě se pomocí finišeru s vlečenými bočnicemi vybetonuje deska, do které se po osmi kusech zavibrovávají pražce (obr 5.64). Výztuž se pokládá před betonáží desky na povrch stabilizované vrstvy. Výhodou je , že odpadá betonáž vany. Pražce mohou být jak monoblokové, tak i dvojblokové (obr. 5.65 a, b).



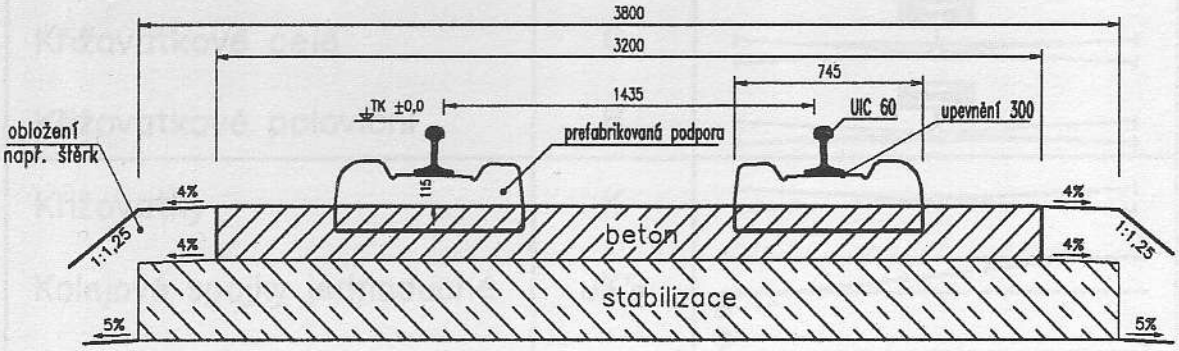
Obr. 5.64 Pevná jízdní dráha – systém Züblin



Obr. 5.65 Pražce pro systém PJD Züblin

5.7.5 Konstrukce HOCHTIEF

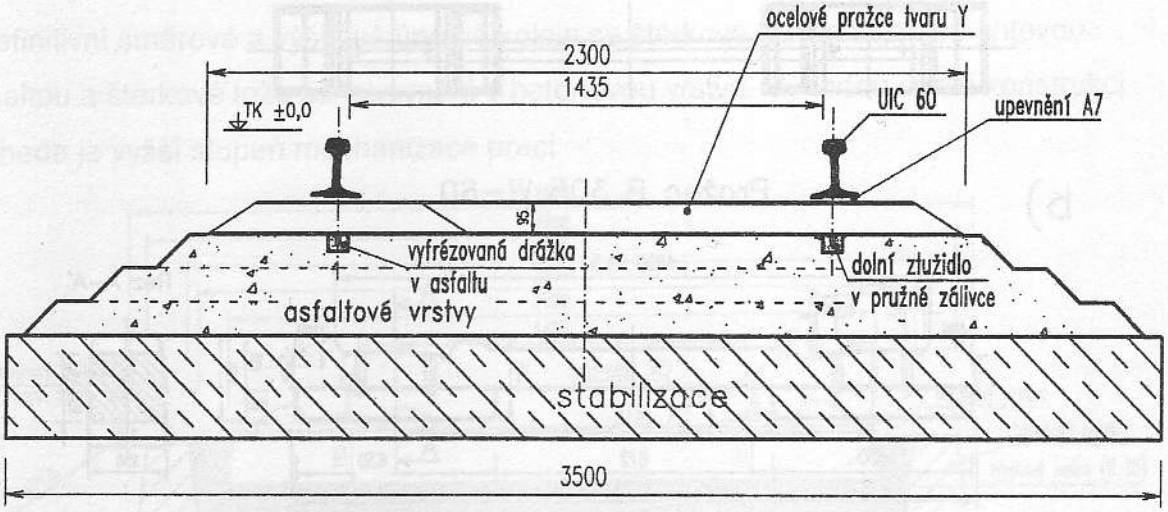
Je obdobou konstrukce Züblin, namísto pražců jsou však do finišerem vybetonované desky zavibrovány prefabrikované úložné bloky (obr. 5.66).



Obr. 5.66 Pevná jízdní dráha – systém Hochtief

5.7.6 Konstrukce SATO

Je pevná jízdní dráha na nosné vrstvě (vrstvách) z asfaltu. Do horní vrstvy jsou vyfrézovány dvě drážky široké cca 30 mm, do kterých zapadají dolní ztužidla ocelových pražců „Y". Po uložení pražců se drážky zalijí trvale pružnou zálivkou. I u pevné jízdní dráhy se projevuje příznivá vlastnost pražců „Y" – menší délka (2300 mm) – postačují tedy i užší nosné konstrukční vrstvy.



Obr. 5.67 Pevná jízdní dráha – systém Sato

5.8 Výhybky a kolejové konstrukce

V železniční síti v České republice se nachází kolem patnácti tisíc výhybek.

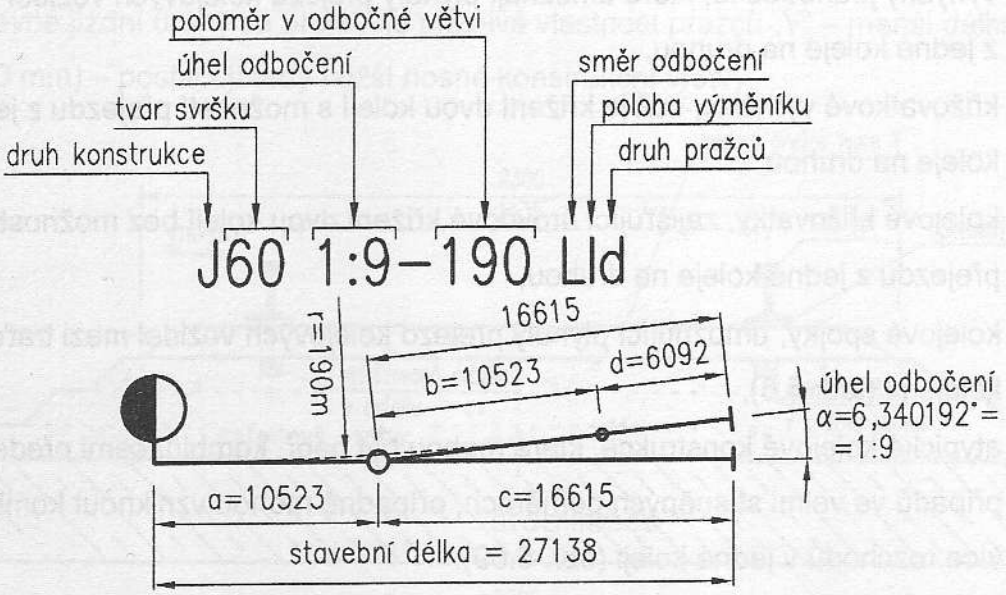
Podle geometrického uspořádání se výhybky a kolejové konstrukce rozdělují na:

- výhybky jednoduché, které umožňují plynulý přejezd kolejových vozidel z jedné koleje na druhou,
- křižovatkové výhybky, což je křížení dvou kolejí s možností přejezdu z jedné koleje na druhou,
- kolejové křižovatky, zajišťující úrovňové křížení dvou kolejí bez možnosti přejezdu z jedné koleje na druhou,
- kolejové spojky, umožňující plynulý přejezd kolejových vozidel mezi traťovými kolejemi (tab. 5.6),
- atypické kolejové konstrukce, které mohou být např. kombinacemi předešlých případů ve velmi stísněných poměrech, případně mohou vzniknout kombinací více rozchodů v jedné koleji (obr. 5.69).

Typ výhybky (kolejové konstrukce)	Zkrácené označení	Vytyčovací schéma
Jednoduché	J	
Obloukové jednostranné	Obl–j	
Obloukové oboustranné	Obl–o	
Symetrické	S	
Křižovatkové celé	C	
Křižovatkové poloviční	B	
Křižovatky	K	
Kolejové spojky jednoduché	JKS	
Kolejové spojky dvojité	DKS	
Atypické kolejové konstrukce		

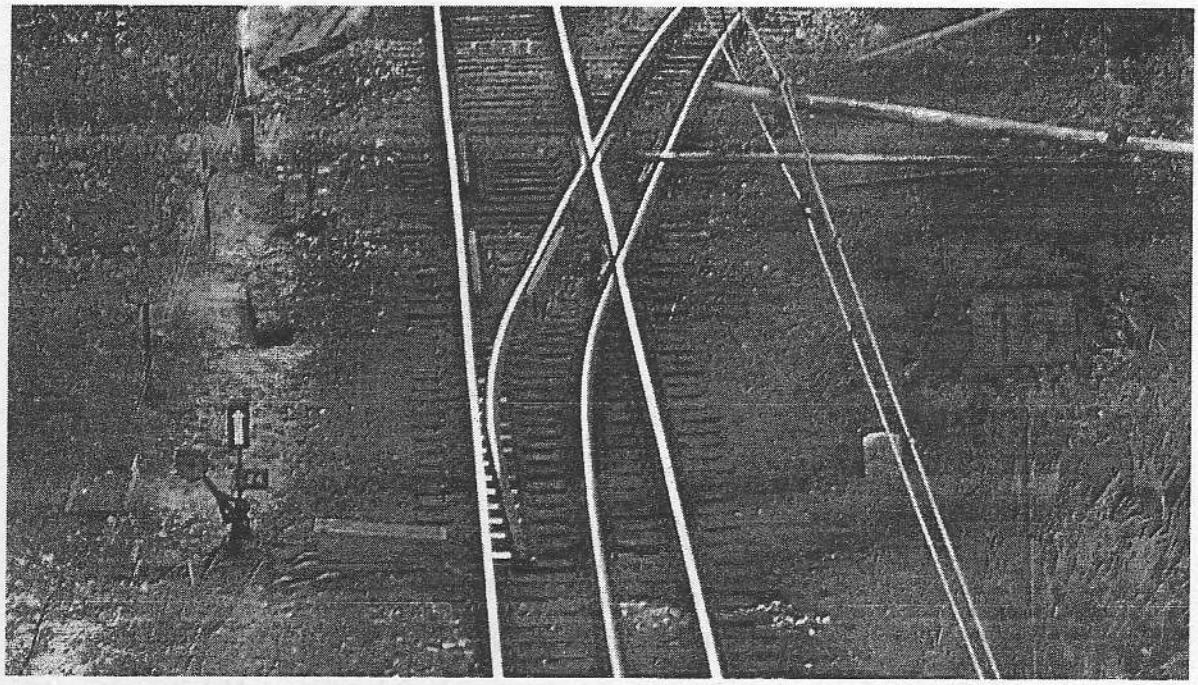
Tab. 5.6 Typy a označení výhybek a kolejových konstrukcí

Výhybkovými konstrukcemi řazenými k sobě vznikají výhybková spojení a rozvětvení – zhlaví. Každá výhybková konstrukce se označuje symboly, které postupně popisují vlastnosti konstrukce. Vytyčovací schéma normálněrozchodné výhybky s typickým označením je na obr. 5.68:



Obr. 5.68 Vytyčovací schéma jednoduché výhybky

Podle směru, kterým se odchyluje odbočná větev výhybky od hlavního přímého směru, díváme-li se od začátku výhybky k jejímu konci (tj. od hrotu jazyka k srdcovce), rozeznáváme výhybku buď pravou, nebo levou. Směr odbočení výhybky je v plánech (obr. 5.69) vyznačen vyplněním poloviny terčíku, který symbolizuje polohu stavěcího zařízení. Úhel odbočení nebo křížení se v označení konstrukce vyjadřuje tangentou úhlu – poměrem *1:n*, dále může v označení figurovat typ výhybky (římská číslice), existence žlabového pražce (zkratka zl), druh upevnění a typ srdcovky (pohyblivý hrot srdcovky – PHS), u kolejových spojek vzdálenost os kolejí a u úzko-, či širokorozchodných výhybek ještě navíc písmeno V (750 mm), U (760 mm), M (1000 mm), resp. R (1520 mm) před celým označením konstrukce. Upevnění kolejnic ve výhybkových konstrukcích se zpravidla používá nepřímé podkladnicové tuhé i pružné. Pražce se dnes používají převážně betonové s vějířovitým (radiálním) uspořádáním, použitelným pro každý tvar výhybky pro její pravou levou variantu. Vzhledem k nutné variabilitě umístění upevnění však nemívají sofistikované tvary, jako běžné betonové pražce, ale mívají tvar trámce lichoběžníkového průřezu se zaoblenými hranami (obr. 5.16). Přehled jednoduchých výhybek soustavy svršku tvaru UIC 60 a S 49 (1. i 2. generace) je uveden v tab. 5.7, křižovatkové výhybky a křižovatky jsou v tab. 5.9.



Obr. 5.69 Příklad atypické kolejové konstrukce – odbočení koleje 760 mm z tříkolejnicové splítky pomocí jednojazykové výměny (Odb. Kanclov, trať Jihlava – Veselí nad Lužnicí)

5.8.1 Jednoduchá výhybka

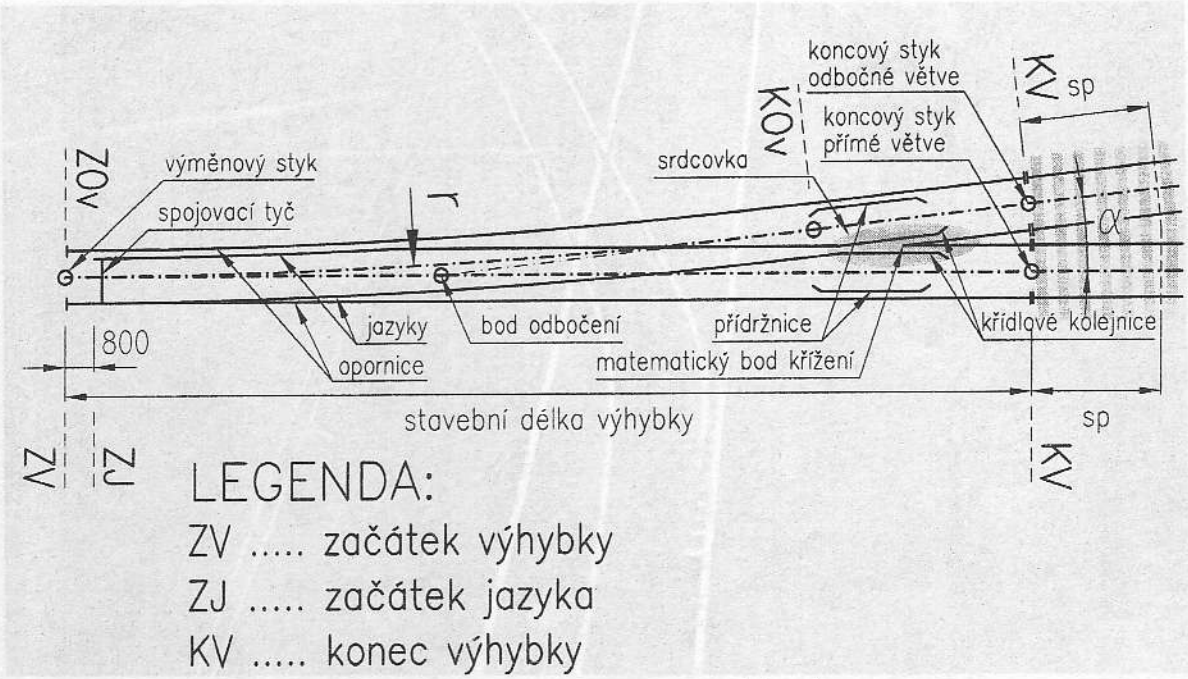
Jednoduchá výhybka umožňuje odbočení z přímé koleje (přímá větev výhybky) do druhé koleje (odbočná větev výhybky) směrovým obloukem. V ČR se zatím používá výhradně kružnicový oblouk. Pro vysoké rychlosti v odbočných větvích výhybek kolejových spojek na VRT se obvykle navrhuje složený oblouk z kružnicových a klotoidických částí tak, že v inflexním bodě na sebe navazujících protisměrných výhybek je vždy křivost nulová (je vyloučena mezipřímá). Veškeré výhybky a kolejové konstrukce se přednostně vkládají do koleje bez převýšení.

Pro potřeby projektování kolejových konstrukcí se používají vytyčovací schémata výhybek a křižovatek (obr. 5.68, tab. 5.7, 5.8, 5.9). Pro jednotlivé typy výhybek jsou dále zpracovány montážní a dispoziční plány, důležité pro výrobu a následnou montáž výhybky. Kolejový plán s pojmenováním jednotlivých součástí výhybky je na obr. 5.70

Geometrické uspořádání výhybek

Geometrické uspořádání výhybek je základem její konstrukce a je dáno:

- úhlem odbočení,
- poloměrem oblouku v odbočné větvi výhybky,
- geometrickým uspořádáním jazyků,
- rozšířením rozchodu koleje v oblouku (obloucích) výhybky,
- stavební délkou výhybky: od výměnového po koncový styk v přímém směru.



Obr. 5.70 Kolejový plán jednoduché výhybky

Výhybkovým obloukem bez převýšení lze projíždět rychlostí nejvýše:

$$V = 2{,}91 \cdot \sqrt{r} \ [km.h^{-1}],$$

Výhybkovým obloukem s převýšením lze projíždět rychlostí nejvýše:

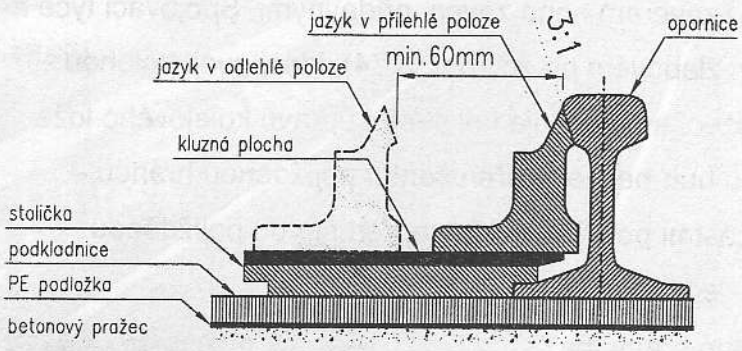
$$V = \sqrt{\frac{r.(p + l)}{11{,}8}} \ [km.h^{-1}],$$

kde V je traťová rychlost v $km.h^{-1}$,
r je poloměr oblouku v m,
p je převýšení koleje v oblouku v mm,
l je dovolený nedostatek převýšení v mm.

Konstrukční uspořádání výhybek

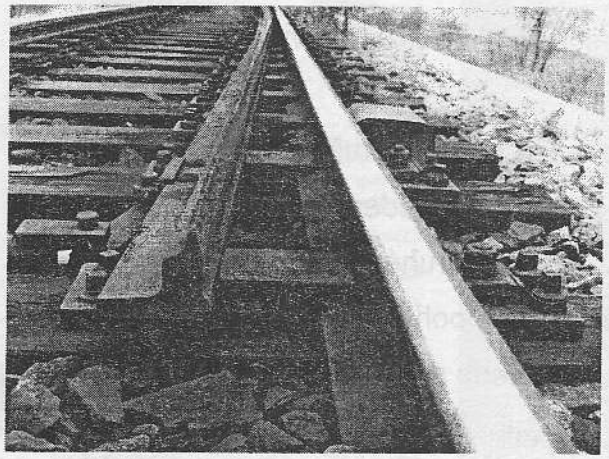
Výhybka se skládá ze tří základních částí:

- výměna: rozvětvuje se zde jedna kolej na dvě (hlavní pohyblivá část výhybky),
- srdcovka: vnější kolejnicový pás odbočné koleje protíná vnitřní kolejnicový pás přímé větve,
- výhybkové koleje: leží mezi výměnou a srdcovkou.



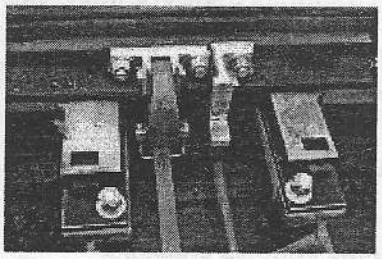
Obr. 5.71 Hrot jazyka, opornice a kluzná stolička

Pojížděnou část výměny tvoří opornice a jazyky. K přímé opornici přiléhá ohnutý jazyk a naopak. Opornice se vyrábějí z širokopatních kolejnic obroušením pojížděné hrany hlavy kolejnice v tzv. přírazné délce tak, aby k ní přesně doléhal jazyk (obr. 5.71). Jazyky se pak vytvářejí z jazykového profilu většinou zvonovitého tvaru o menší výšce než opornice jako tečné s přímkovým zakončením pojížděné hrany na hrotu jazyků a jsou tvořeny buď svařenou jazykovou a širokopatní kolejnicí, nebo pouze kolejnicí jazykovou. V bodě svého teoretického otáčení (kořen jazyka) je v současnosti u železničních výhybek jazyk přilisován na běžnou kolejnici v tzv. pérovém uchycení. Ve své pohyblivé části jsou jazyky uloženy na kluzných stoličkách (obr. 5.71, 5.72). U výhybek moderní konstrukce se snižuje přestavný odpor montáží válečkových stoliček, které při přestavování jazyk přizvednou a přesunou po válečcích. Aby nedocházelo k tzv. putování jazyka, tedy posunu hrotu jazyka vůči opornici v podélném směru, používají se zádržné opěrky, které se montují v kořenové části výměny mezi jazyk a opornici nebo patu jazyka. Jazyky výhybek se konstruují jako tečné s přímkovým zakončením pojížděné hrany na hrotu jazyka.



Obr. 5.72 Pohled na hrot jazyka

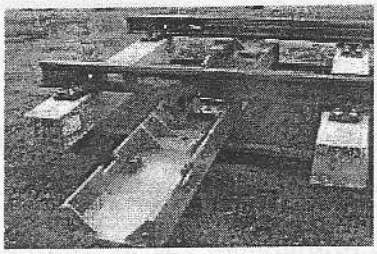
Přestavování a silové zajištění jazyků je zabezpečeno vnějšími závěry se spojovací tyčí jazyků a stavěcím zařízením (přestavník, výměník). Výměnový závěr je zařízení, které zajišťuje dokonalé přitlačení jazyků k opornicím a správné vzdálení jazyka od opornice. Závěr může být rybinový, hákový a nejnověji čelisťový. Všechny nově vyráběné výhybky soustav UIC 60 a S 49 druhé generace jsou zásadně vybavovány čelisťovými závěry. Čelisťový závěr (obr. 5.73) je tvořen dvojicí závěrových háků, jazykových stěžejek, svěracích čelistí a závorovací tyčí. Hlavní závěr, montovaný na



Obr. 5.73 Čelisťový závěr

hroty jazyků, může být doplněn i závěrem nebo závěry přídavnými. Spojovací tyče a závěry mohou být uloženy v tzv. žlabovém pražci (obr. 5.74), který svojí polohou nahrazuje běžný výhybkový pražec, a umožňuje tak strojní úpravu kolejového lože (podbití). Srdcovky výhybek jsou buď pevné (s přerušenou pojížděnou hranou – obr. 5.75, 5.76, 5.78), nebo s částmi pohyblivými (s nepřerušenou pojížděnou hranou – obr. 5.77). Z hlediska geometrie se dělí dle:

- úhlu, který svírají pojížděné hrany, na:
  - jednoduché: ostrý úhel,
  - dvojité: tupý úhel;
- konce oblouku v odbočné větvi na:
  - přímé: před hrotem srdcovky,
  - obloukové: za srdcovkou.

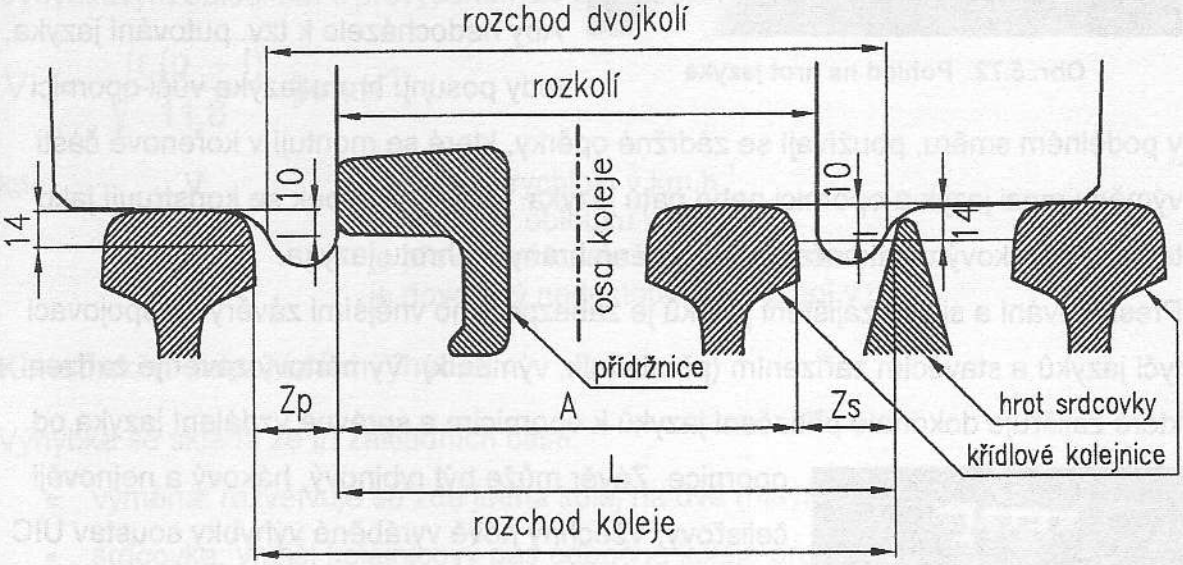


Obr. 5.74 Žlabový pražec

Podle konstrukčního uspořádání se srdcovky dělí:

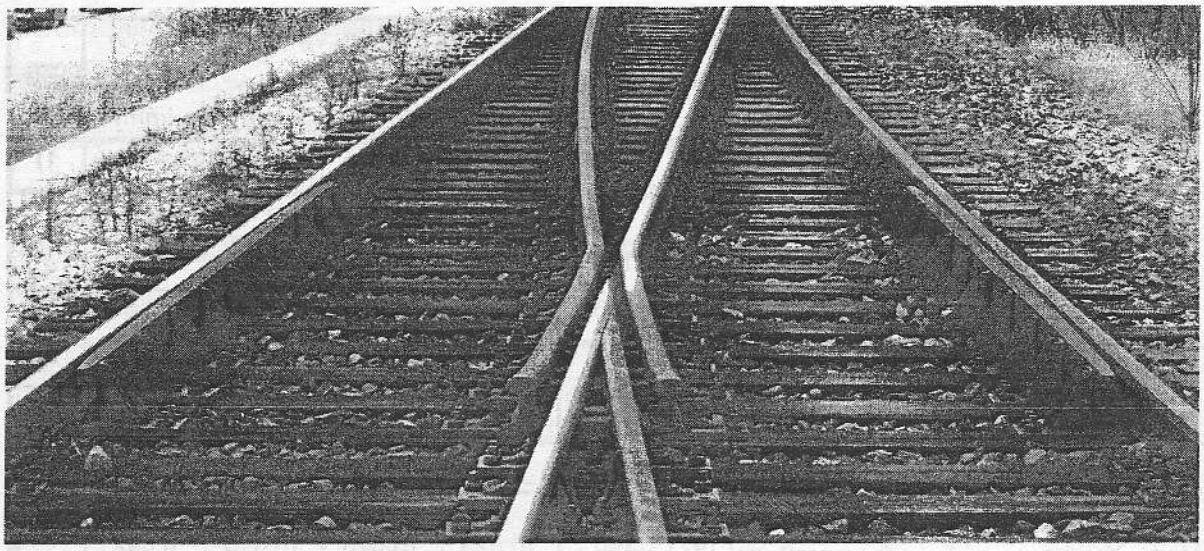
- s částmi z odlévané oceli (např. s vysokým obsahem manganu)
- svařované
- montované (z širokopatních nebo speciálních srdcovkových kolejnic) – mají omezenou možnost použití.

Při přejezdu kola po pevné srdcovce je v určité délce přerušena pojížděná hrana a kolo není vedeno. Proto musí být druhé kolo dvojkolí vedeno z obou stran, k čemuž slouží přídržnice, která je umístěna proti srdcovce v druhém protilehlém kolejnicovém pásu (obr. 5.75). Přídržnice zajišťuje bezpečný pohyb dvojkolí vozidla v oblasti srdcovky. Horní hrana přídržnice je výše než temeno pojížděné kolejnice.

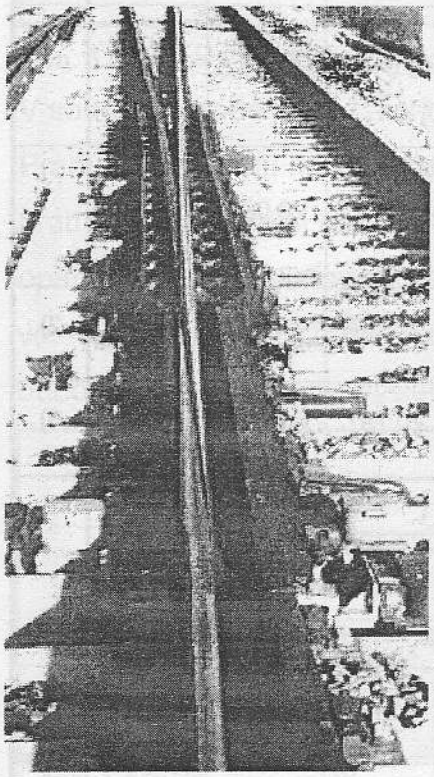


Obr. 5.75 Průjezd železničního dvojkolí pevnou srdcovkou

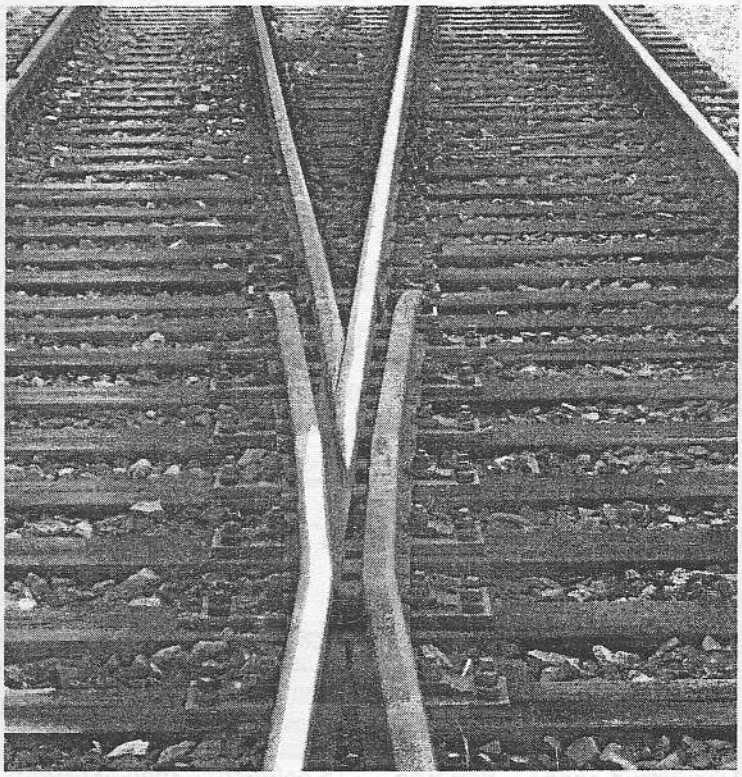
Zp žlábek mezi opornicí a přídržnicí
Zs žlábek v srdcovce
A vzdálenost vedoucí hrany přídržnice od vedoucí hrany křídlové kolejnice
L vzdálenost vedoucí hrany přídržnice od pojížděné hrany klínu srdcovky



Obr. 5.76 Srdcovková část výhybky s přídržnicemi (pohled po hrotu)



Obr. 5.77 Srdcovka s pohyblivým hrotem (pohled proti hrotu)



Obr. 5.78 Srdcovka s pevným hrotem (pohled proti hrotu)

Z důvodu usnadnění zimní údržby se do nejexponovanějších výhybek vkládá speciální zařízení sloužící k ohřevu kluzných stoliček, opornic a případně pohyblivých hrotů srdcovek. Elektrický ohřev výhybek se provádí umístěním odporových topných tyčí na vnitřní stranu paty opornice u kluzných stoliček a pod závěry výhybek, příp. na dno žlabového pražce. Plynový ohřev výhybek se konstrukčně řeší umístěním topných tyčí spalujících zemní plyn nebo propan z vnější strany hlavy opornice s infrazářiči. Dále je možno do výměnové části namontovat zařízení pro profukování výhybek stlačeným vzduchem.

tvar výhybky	max. rychlost v odbočné větvi [km.h^{-1}]	úhel odbočení [°]	poloměr odbočné větve [m]	základní rozměry výhybky (obr. 5.59)				pozn.
				a [mm]	*b* [mm]	*c* [mm]	*d* [mm]	
SS49-1:5,7-230	40	9,950 627	230	9992,5	9992,5	9992,5	-	1)
JS49-1:6-150	30	9,462 322	150	12 414,5	12 414,5	12 414,5	-	
JS49-1:7,5-150	30	7,594 643	150	9 956	9 956	12 944	2 988	
JS49-1:6,6-190	40	8,615 648	190	14 312	14 312	14 312	-	
JS49-1:7,5-190	40	7,594 643	190	12 611	12 611	12 611	-	2)
J49-1:7,5-190-I J60-1:7,5-190-I					12 611	16 009	3 398	3)
JS49-1:9-190 J49-1:9-190 J60-1:9-190	40	6,340 192	190	10 523	10 523	16 615	6 092	
JS49-1:9-300 J49-1:9-300 J60-1:9-300	50	6,340 192	300	16 615,5	16 615,5	16 615,5	-	
JS49-1:11-300 J49-1:11-300 J60-1:11-300	50	5,194 429	300	13 608,5	13 608,5	20 000	6 391,5	
JS49-1:12-500 J60-1:12-500	60	4,763 642	500	20797	20797	20797	-	2)
J49-1:12-500-I J60-1:12-500-I				20 797	20 797	21 997	1 200	3)
JS49-1:14-760 J49-1:14-760 J60-1:14-760	80	4,085 617	760	27 108	27 108	27 108	-	
J60-1:14-760-I	80	3,839 117	760	25 471,5	25 471,5	28 744,5	3 271	4)
JS49-1:18,5-1200 J60-1:18,5-1200	100	3,094 058	1200	32 409	32 409	32 409	-	2)
J49-1:18,5-1200-I J60-1:18,5-1200-I				32 409	32 409	33 609	1 200	3)
J49-1:18,5-1200-II J60-1:18,5-1200-II	100	3,057 564	1200	32 026	32 026	33 992	1 966	3), 4)
J49-1:18,5-1200-III J60-1:18,5-1200-III	100	3,151 333	1200	33 009	33 009	33 009	-	3)
J60-1:26,5-2500	130	2,161 079	2500	47 153	47 153	47 153	-	

Tab. 5.7 Základní parametry jednoduchých výhybek tvaru UIC 60 a S 49 používané v ČR

Vysvětlivky k tab. 5.7:

1) používá se do zhlaví spádovišť

2) koncový styk nelze svařit

3) možnost svaření koncového styku

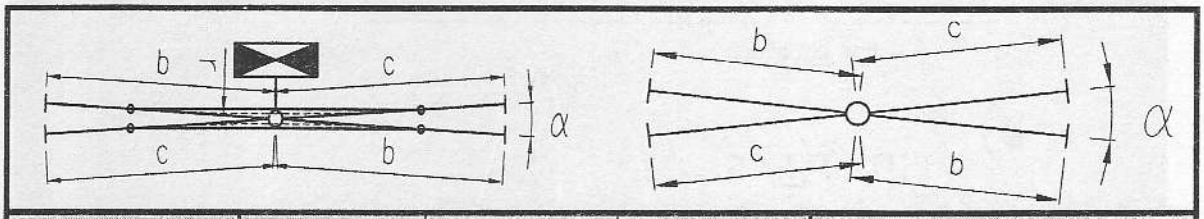
4) použití do JKS s osovou vzdáleností 4,75 m

Kromě výhybek uvedených v tab. 5.7 jsou DT výhybkárnou a mostárnou a.s. Prostějov v úrovni studie zpracovány i další štíhlé výhybky (tab. 5.8) pro perspektivní využití na vysokorychlostních tratích. Od rychlosti 140 km.h^{-1} v odbočné větvi se používá namísto kružnicového oblouku klotoidní průběh odbočné větve, kdy bod s nulovou křivostí klotoidy je v koncovém styku výhybky a v začátku jazyka je přesně definovaný poloměr. Rychlost v přímých větvích má být do 300 km.h^{-1}.

tvar výhybky	max. rychlost v odbočné větvi [km.h^{-1}]	úhel odbočení [°]	poloměr odbočné větve [m]	stavební délka [m]
1:21,5-1600	110	2,6630	1600	74,338
1:22,0-1800	120	2,6025	1800	81,776
*)	140	1,8977	4500/2800/∞	120,959 *)
*)	160	1,5931	6000/4000/∞	142,800 *)

Tab. 5.8 Štíhlé výhybky pro vysokorychlostní tratě, **) – bude upřesněno podle nových norem EU*

V současné době je na I. koridoru v žst. Poříčany na kolínském zhlaví ve směru do Prahy v rozvětvení hlavní koleje položena výhybka J60-1:26,5-2500-zl-b-PHS (č. 3) a probíhá její zkušební provoz. Stavební délka výhybky je 94,306 m, výměnová část je opatřena čtyřmi čelisťovými závěry a srdcovková část dvěma. Prozatím je odbočná větev pravidelně pojížděna rychlostí 120 a přímá 160 km.h^{-1}. Zásady pro kol. spojky budou upřesněny podle výsledného znění nových souvisejících evropských norem.



Označení konstrukce	max. rychlost v odbočné větvi [km.h^{-1}]	úhel křížení [°]	poloměr odbočné větve [m]	rozměry konstrukce	
				b b [mm]	c c [mm]
CS49 -1:7,5-150	30	7,594 643	150	12 944	12 944
C(B)49 -1:9-190 C(B)S49 -1:9-190	40	6,340 192	190	16 615	16 615
C(B)60 -1:11-300 C(B)49 -1:11-300 C(B)S49 -1:11-300	50	5,194 429	300	20 000	20 000
KS49 -1:4,5		12,528 808		8 967,5	8 967,5
KS49 -1:5,5		10,304 846		11 028	11 028
KS49 -1:7,5		7,594 643		12 944	12 944
KS49 -1:9		6,340 192		16 615	16 615
KS49 -1:11		5,194 429		20 000	20 000

Tab. 5.9 Základní parametry křižovatkových výhybek a křižovatek tvaru UIC 60 a S 49 používaných v ČR

5.8.2 Transformace výhybek

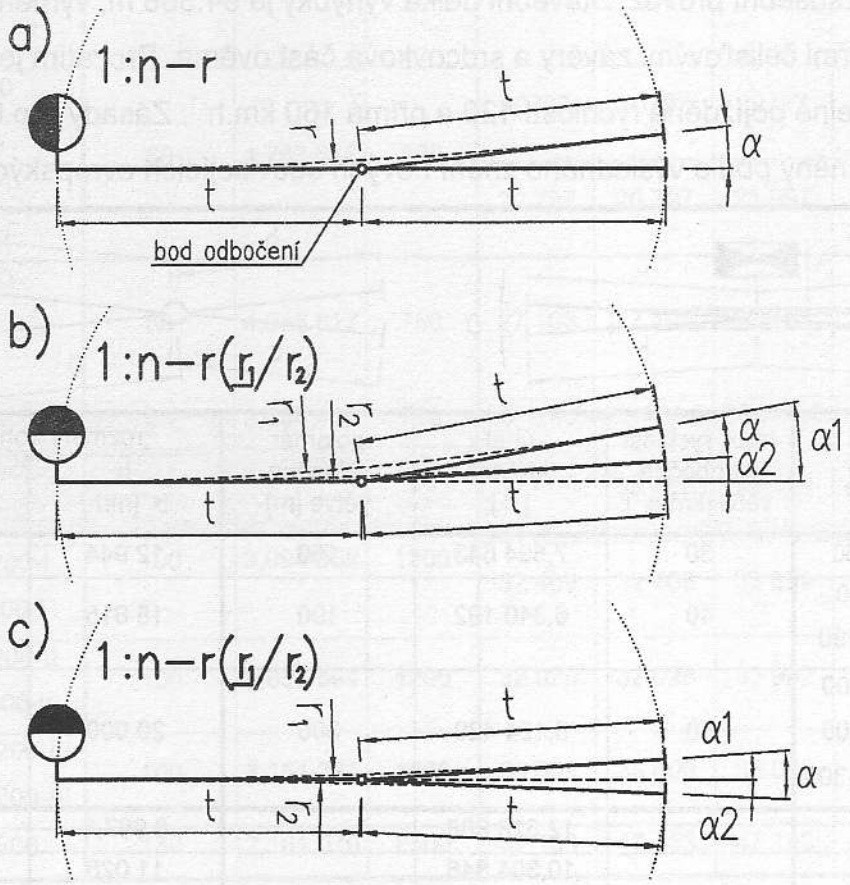
Obloukové výhybky vznikají z jednoduchých výhybek s tečným uspořádáním jazyků jejich tzv. transformací. Geometrický tvar obloukové výhybky se vytváří ohnutím těch částí jednoduché výhybky, které jsou ohraničeny kružnicí o poloměru t se středem v bodě odbočení podle obr. 5.79. Výsledkem je, že obě větve výhybky jsou zakřiveny do tvaru kružnicových oblouků a úhel odbočení α původní jednoduché výhybky zůstává zachován jako úhel tečen v koncových bodech oblouků transformované výhybky (obr. 5.79). Geometrické parametry transformované výhybky se vypočítají z následujících základních vztahů, vyplývajících z obr. 5.79:

$t = r \cdot tg \frac{\alpha}{2} [m]$ vztah pro tečnu prostého kružnicového oblouku,

$\alpha_2 = \alpha_1 - \alpha [\circ]$ platí pro obr. 5.79 b) – výhybku jednostrannou, nebo

$\alpha_2 = \alpha - \alpha_1 [\circ]$ platí pro obr. 5.79 c) – výhybku oboustrannou.

Podmínkou je zachování délky tečny t původního oblouku v jednoduché výhybce a velikosti původního úhlu odbočení α (obr. 5.79 a).



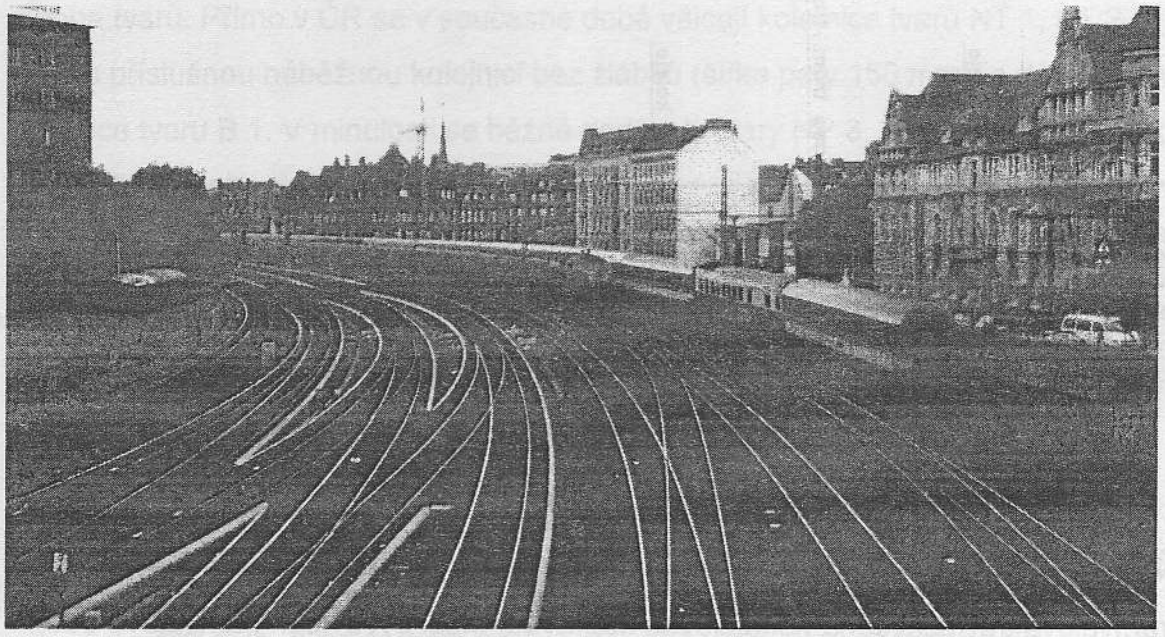
Obr. 5.79 Transformace výhybek:

a) původní jednoduchá výhybka

b) oblouková výhybka jednostranná

c) oblouková výhybka oboustranná

Vstupním údajem pro transformaci je buďto potřebný poloměr r_1 nebo úhel α_1. Jednostranné obloukové výhybky by se měly používat pouze do obloukových jednoduchých kolejových spojek, případně je lze použít do obloukových zhlaví (obr. 5.80) .Jestliže v oboustranné obloukové výhybce platí, že $\alpha_1 = \alpha_2$, pak se jedná o výhybku symetrickou (S). U výhybek s přímou srdcovkou (např. 1:9-190) zůstává i po transformaci část výhybky za koncem oblouku vždy přímá. U výhybek s prodlouženými větvemi za srdcovkou (část KO_V – KV) z důvodu možnosti svaření koncových styků (např. 1:12-500-l) by tyto úseky měly zůstat přímé, ale v případě potřeby je možné je také upravit do libovolného oblouku. Poloměr tohoto oblouku bývá shodný s poloměrem výhybkového oblouku nebo s poloměrem oblouku bezprostředně navazujícím na výhybku. Křižovatkové výhybky celé i poloviční, ani kolejové křižovatky se netransformují.



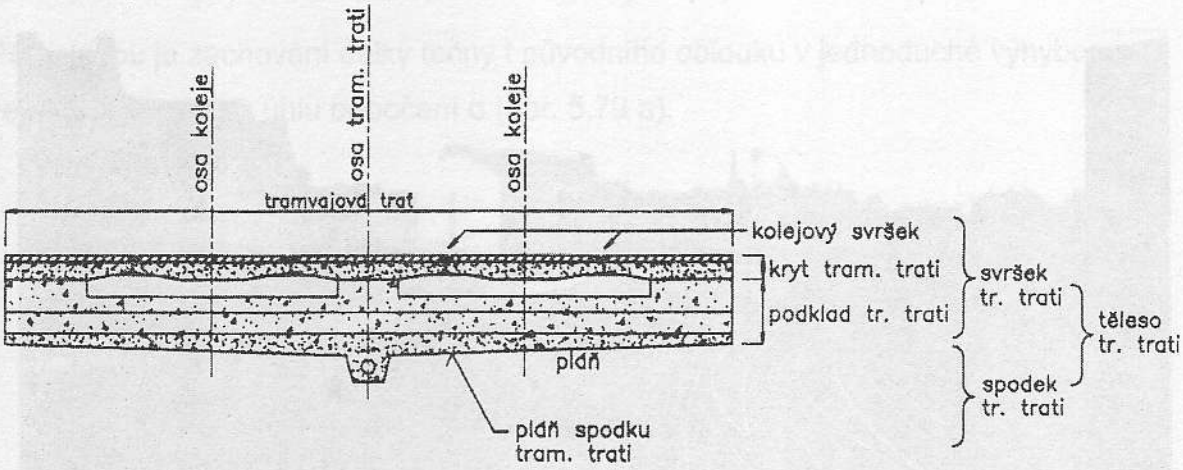
Obr. 5.80 Obloukové zhlaví

6 Konstrukce tramvajové trati

Tramvajová trať je obvykle tvořena spodkem a svrškem (obr. 6.1). Hlavní konstrukční součásti spodku tramvajové trati jsou obdobné jako u spodku železničního – náleží sem zejména:

- zemní těleso
- odvodňovací zařízení
- propustky
- zdi
- ostatní umělé objekty tramvajového spodku

V případě, že je tramvajová trať součástí místní komunikace, mívá s ní obvykle i společnou konstrukci spodku. Požadovaná hodnota modulu přetvárnosti pláně spodku tramvajové trati pod kolejí je 30 MPa.



Obr. 6.1 Konstrukce tramvajové trati

Na pláni spodku tramvajové trati je uložen tramvajový svršek. Pokud má být tramvajová trať pojížděna nekolejovou dopravou, musí být svršek tramvajové trati uzavřen krytem, který zároveň tvoří vozovku. Nápravové zatížení u tramvajových vozidel obvykle bývá do 12 t. Kolové zatížení krytu od nekolejové dopravy bývá do cca 5 t. Konstrukční vrstvy pod krytem tramvajové trati tvoří tzv. podklad tramvajové trati (obr. 6.1).

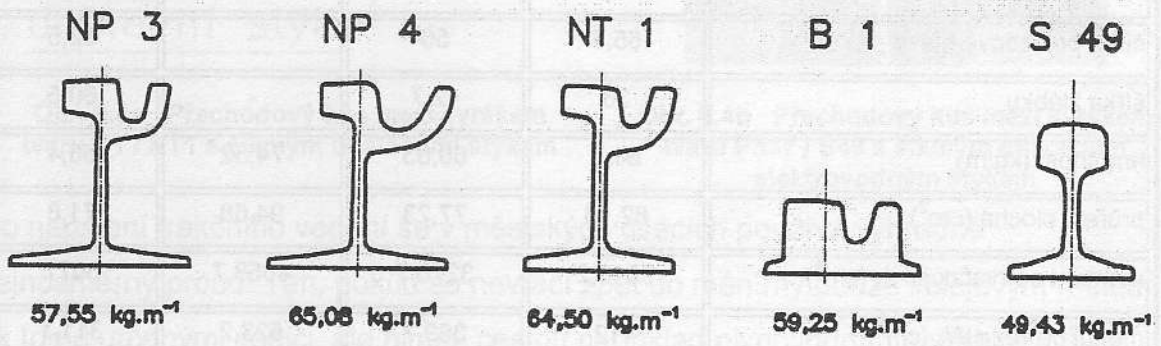
6.1 Svršek tramvajové trati

Svršek tramvajové trati sestává z podkladu, kolejového svršku, a krytu. Podklad přenáší zatížení z kolejového svršku a krytu do spodku tramvajové trati. Může být tvořen příčnými pražci, deskovými pražci, deskami, podélnými prahy, či štěrkovým (drťovým) lůžkem pod patami kolejnic, a dále štěrkovým ložem a podsypnými

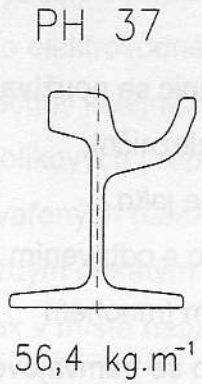
vrstvami. Kryt vyplňuje prostor uvnitř (v „rozchodu a mezirozchodu") a po stranách kolejového svršku až do úrovně temene kolejnic. V případě konstrukce koleje z velkoplošných panelů „BKV" (Dopravní podnik Budapešť) tvoří jedna prefabrikovaná deska současně podklad i kryt tramvajové tratě. Pokud je tramvajový svršek opatřen krytem, používá se v jeho konstrukci nejčastěji žlábkových kolejnic stojinových nebo blokových. V zahraničí se objevují i konstrukce z kolejnic širokopatních, k jejichž stojině je přišroubován ocelový profil, který dodatečně vytvoří žlábek pro okolek i u širokopatní kolejnice. V úsecích mimo městskou zástavbu bývá obvykle tramvajový svršek bez krytu (s otevřeným kolejovým ložem), často i se širokopatními kolejnicemi lehčích tvarů.

6.1.1 Kolejnice pro tramvajové tratě

U dopravních podniků v ČR se lze setkat se stojinovými žlábkovými kolejnicemi mnoha tvarů. Přímo v ČR se v současné době válcují kolejnice tvarů NT 1, NT 2, NT 3 s příslušnou náběžnou kolejnicí bez žlábku (šířka paty 150 mm), a dále bloková kolejnice tvaru B 1. V minulosti se běžně dodávaly tvary NP 3, NP 3a a NP 4 s šířkou paty 180 mm (obr. 6.2a).



Obr. 6.2a Vybrané tvary kolejnic užívané na tramvajových tratích v ČR



Obr. 6.2b Kolejnice tvaru Ph 37

Kromě žlábkových kolejnic z produkce Třineckých železáren se lze v českých tramvajových provozech setkat i s kolejnicemi dováženými, například s tvary: Ri 59, Ri 60, TV 60, TV 65, 180S, T 58, T 62, Ph 37 (obr. 6.2b). Ze sortimentu širokopatních kolejnic se pro tramvajové tratě v ČR užívá pouze tvar S 49, v zahraničí se používají i lehčí tvary (S 41). Typy a tvary tramvajových kolejnic se volí podle místa jejich použití v trati a podle zvyklostí správce. Obecně by se do oblouků o malých poloměrech (pod 150 m) měly používat kolejnice s širšími žlábky kvůli možnosti snazšího průjezdu

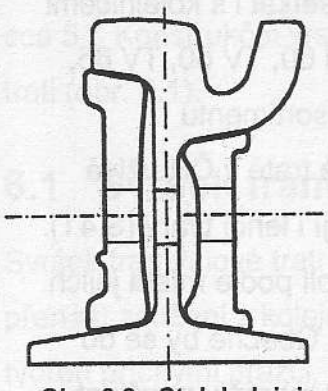
radiálně nenatočitelných dvojkolí. Z důvodu koexistence s ostatními druhy dopravy v ulicích mívají tramvajová vozidla oproti železničním zúžené okolky, aby zbytečně široké žlábky nebyly překážkou zejména pro pěší a cyklistickou dopravu. Profil kola s širokým okolkem se na území bývalého Československa vyskytuje v Ostravě a v Košicích. Je pozůstatkem po dříve značně rozšířeném vlečkovém provozu na tramvajových sítích. Výhodou širokého okolku v dnešní době je použitelnost komponent železničního svršku v tramvajové trati, a naopak možnost zajíždění dostatečně robustních tramvajových vozidel na železniční tratě.

Žlábkové kolejnice se vyrábějí z materiálu jakosti UIC 700 nebo UIC 900 A, extrémně namáhané součásti, jako např. hroty srdcovek, jazyky výměn, apod., lze vyrobit z manganové oceli.

Tvar kolejnice Rozměr mm	NT 1 žlábková	NT 3 žlábková	NT náběžná	Ph 37 žlábková
H - výška kolejnice	180	180	180	182
B - šířka paty	150	150	150	150
celková šířka hlavy	115	115	114	127
tloušťka stojiny	14	13	14	11
šířka pojezdové hlavy	55,5	56	-	52,5
šířka žlábku	36	42,7	-	60,5
hmotnost (kg/m)	64,5	60,63	74,32	56,4
průřez. plocha (cm^2)	82,16	77,23	94,68	71,8
moment setrvačnosti J_x (cm^4)	3546,2	3278,7	4058,7	3077
modul průřezu W_x (cm^3)	412	369,7	523,2	311,1

Tab. 6.1 Rozměry vybraných tvarů žlábkových kolejnic

6.1.2 Kolejnicové styky

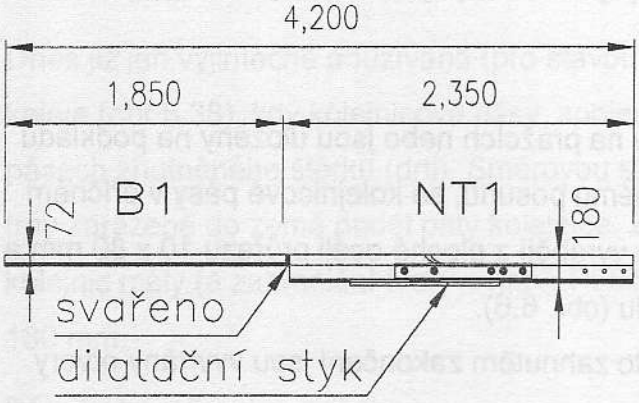


Obr. 6.3 Styk kolejnic NT 1 – vnější a vnitřní kolejnicová spojka

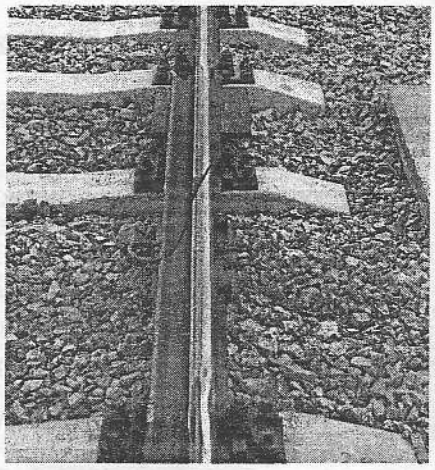
Ke spojování žlábkových stojinových kolejnic se používají ploché nebo úhlové spojky. Stejně jako železniční, i tramvajová kolej se, pokud možno, zřizuje jako bezstyková. Svařování se děje buď natupo s odtavením (kolejnice B 1), nebo elektrickým obloukem (mnohem častěji, než na železnici), a nejméně často se tramvajové kolejnice svařují aluminotermicky. Spojky pro žlábkové kolejnice se vyrábějí buď v délce 1000 mm pro osm

spojkových šroubů, nebo v délce 750 mm pro šest spojkových šroubů. V minulosti se používaly spojky kratší pro čtyři spojkové šrouby. Obě spojky v páru mají různou velikost – vnější je větší, vnitřní (na straně žlábku) je menší (obr. 6.3). Kolejnice tvarů TV 60 a TV 65 se spojovaly spojkami z alkalického polyamidu (typ PA-TV) o délce 700 mm se čtyřmi otvory. Spojování kolejnic tvaru S 49 se provádí shodně, jako na železničních tratích. Při stykování kolejnic v obloucích o malých poloměrech je třeba spojky předem do příslušného poloměru upravit.

V místech změny tuhosti kolejového roštu (změny tvaru svršku) se používají dilatační kolejnicové styky. Bývají provedeny jako šikmé (obr. 6.4 a, b) a zároveň bývají integrovány do přechodových kusů kolejnic mezi jednotlivými tvary svršku.

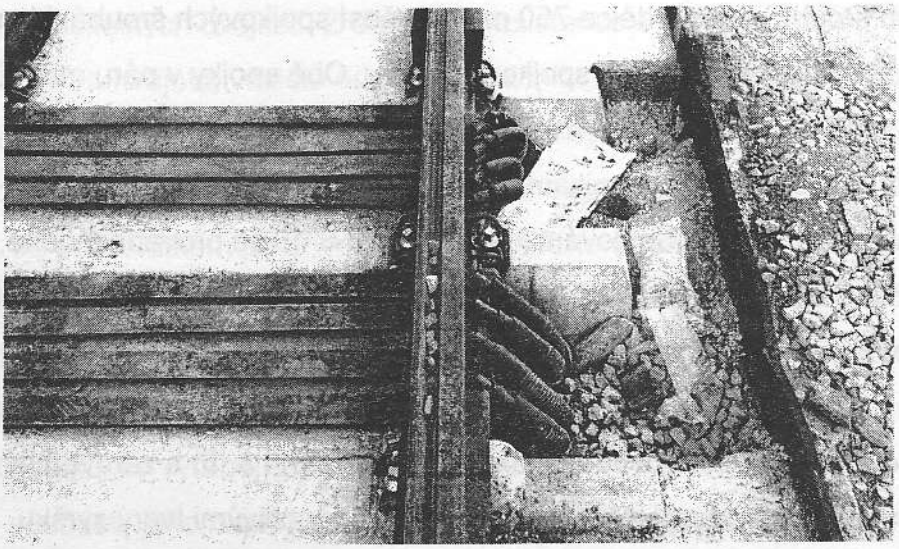


Obr. 6.4a Přechodový kus mezi svrškem tvaru B1 / NT1 s šikmým dilatačním stykem



Obr. 6.4b Přechodový kus mezi svrškem tvaru Ph37 / S49 s šikmým dilatačním elektrovodným stykem

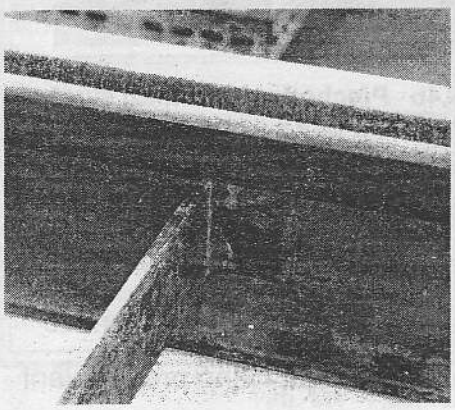
Pro napájení trakčního vedení se v městských úsecích používá výhradně stejnosměrný proud. Ten, pokud se nevrací zpět do měnírny pouze kolejovým roštem a k tomu určenými vodiči, ale bloudí cestou například plynovodním potrubím, může značně urychlit jeho korozi, a v extrémních případech může hrozit i jeho proděravění a výbuch. Proto se všechny kolejnicové styky u tramvajových tratí provádějí zásadně jako elektrovodné. To se zajišťuje měděnými propojkami (obr. 5.45), dále pak se všechny kolejnicové pásy v trati propojují tzv. křížovými spojkami buď nově z kolíkových propojek (obr. 5.46), nebo postaru z plochých ocelových pásů přivařených naležato k patám kolejnice (obr. 6.5). Křížové spojky se provádějí za každým desátým stykem u stykované koleje nebo za každým dvacátým svarem, vždy však v místě napájecího stožáru a v místě připojení zpětných kabelů.



Obr. 6.5 Elektrovodná křížová spojka v místě připojení zpětných kabelů

6.1.3 Rozchodnice

Na tratích, kde kolejnice nejsou uloženy na pražcích nebo jsou uloženy na podkladu nedokonale zajišťujícím kolej proti příčnému posunu, se kolejnicové pásy v příčném směru spojují tzv. rozchodnicemi. Ty se vyrábějí z ploché oceli průřezu 10 x 80 mm a jejich konce jsou ohnuty do pravého úhlu (obr. 6.6).



Obr. 6.6 Detail uchycení ploché rozchodnice ke stojině kolejnice

V takto zahnutém zakončení jsou vyvrtány otvory pro rozchodnicové šrouby (totožné se spojkovými, ale kratší – 65 mm). Pro vyrovnání tolerancí tloušťky stojiny kolejnice a pro úpravu rozchodu se mezi stojinu a ohnutou část rozchodnice zasouvají rozchodnicové podložky v tloušťkách 1, 2, 3 a 5 mm. Kromě plochých rozchodnic se vyrábějí také rozchodnice z kulatiny Ø 25 mm nebo s průřezem „T", posunutým až k patě kolejnice kvůli možnosti zadláždění koleje velkou dlažbou.

Standardní vzdálenost rozchodnic v přímé koleji bez jiné fixace rozchodu je 3,0 m, v oblouku se zkracuje na 1,5 m, v kolejových konstrukcích dle potřeby.

6.1.4 Uložení a upevnění kolejového svršku

Uložení a upevnění tramvajových kolejnic prošlo vývojem podobným vývoji železničního svršku, ovšem s ohledem na skutečnost, že tramvaje až do 60. let minulého století jezdily hlavně v městských ulicích. Tratě koňských drah využívaly dřevěných trámů položených v dlažbě, pobitých plochými ocelovými pásy. Vedle

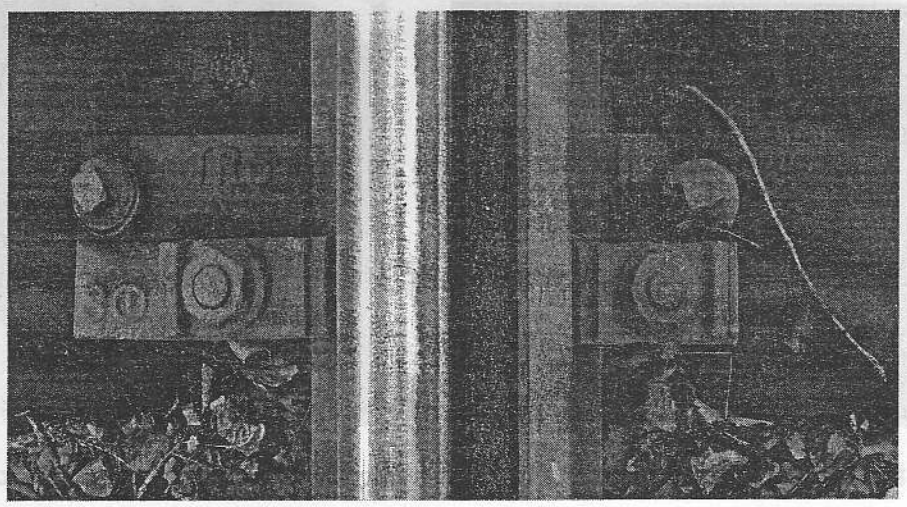
širokopatních kolejnic lehčích tvarů se z důvodu požadavku na zadláždění tratí v ulicích vyvinuly kolejnice stojinové žlábkové. Protože tramvajová vozidla byla výrazně lehčí než vozidla železniční, byl lehké konstrukce i tramvajový svršek. Kolejnice se pokládaly přímo na štěrkem výškově upravený terén, kvůli čemuž měly širší paty, rozchod udržovaly rozchodnice a kryt tratě. Příčné pražce se používaly pouze, pokud měl po tramvajové trati probíhat dříve poměrně častý vlečkový provoz. Kola (nákolky) tramvajových vozidel měla běžně cylindrický tvar. Z předchozího vyplývá, že kolejnice byly uloženy svisle, bez úklonu. Uklonění kolejnic se začíná používat až v souvislosti se zaváděním moderních betonových pražců (od typu SB 8) na tramvajových tratích rychlodrážního charakteru.

Uložení „na boso"

Dnes již jen výjimečně používaná (pro stavbu provizorií), dříve běžná konstrukce koleje (obr 6.38), kdy kolejnicové pásy, spojené rozchodnicemi, spočívaly patami na pásech zhutněného štěrku (drti). Směrovou stabilitu koleje zajišťovala zádlažba nebo trny zaražené do země podél paty kolejnice. Z tohoto důvodu starší tvary žlábkových kolejnic měly (a zahraniční tvary – např. Ri 59, Ri 60 – doposud mají) patu širokou 180 mm.

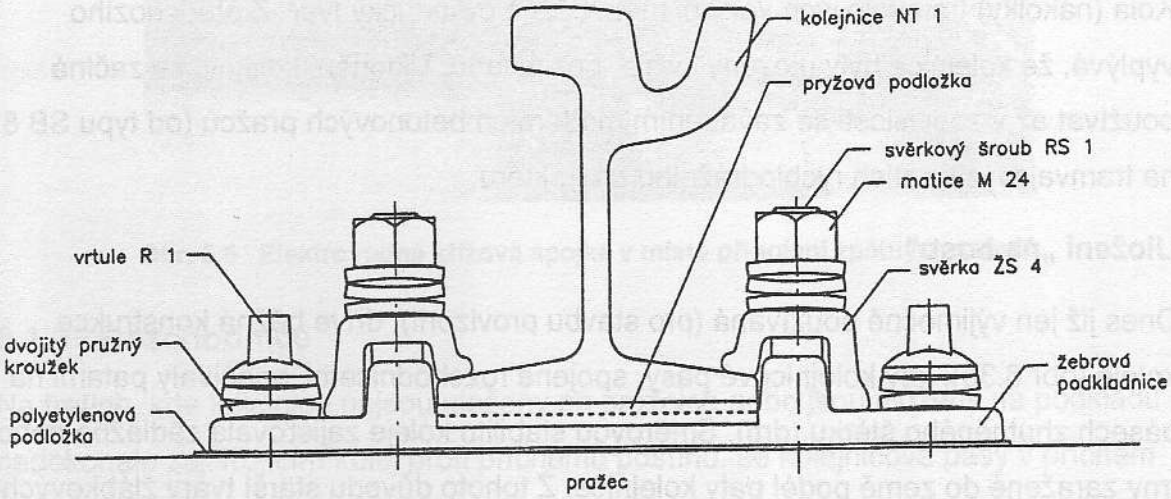
Dřevěné pražce

V novostavbách tramvajových tratí se dnes používají téměř výhradně pražce betonové, dřevěné se používají hlavně v rozvětveních a v křižovatkách. Pro stavbu tramvajových tratí se používají buď pražce hraněné nebo povalové. Pro kolej o normálním rozchodu mají délku 2,5 m, pro kolej o rozchodu 1 m mají délku 1,8 m. V kolejových rozvětveních se používají pražce dlouhé podle potřeby (až 4 m).



Obr. 6.7 Odlévaná podkladnice TR5

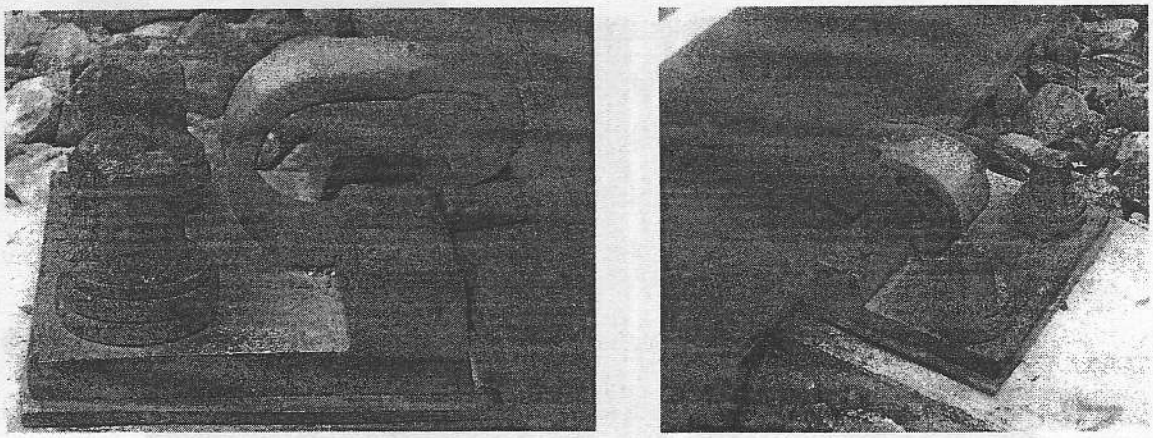
K upevnění kolejnic na dřevěné pražce se používaly buď podkladnice TR5 (odlévané – obr. 6.7) pro kolejnice o šířce paty 180 mm v kombinaci se svěrkami T5, nebo nověji pro kolejnice o šířce paty 150 mm se používají podkladnice R4pl (U 60) s běžnými „zvonečkovými" svěrkami ŽS 4 (obr. 6.8).Pod podkladnici TR5 se vkládá pryžová podložka o tloušťce 4,5 mm, další pryžová podložka o tloušťce 4,5 mm se vkládá mezi podkladnici a kolejnici.



Obr. 6.8 Upevnění kolejnice NT 1 k dřevěnému pražci pomocí žebrové podkladnice

Pod podkladnici R4pl se používá podložka polyethylenová, případně se již pod podkladnice (hlavně při jednoduchých výměnách kolejových konstrukcí) žádné podložky nepoužívají. Pro tramvajové tratě se nejčastěji používají impregnované pražce z měkkého dřeva, které svojí životností plně dostačují.

Upevnění s žebrovými podkladnicemi lze samozřejmě použít i ve „zpružnělých" variantách, tzn. s pružnými svěrkami Vossloh Skl 12, či Skl 24 (obr. 5.30, 6.9), nebo Pandrol K-lock (obr. 6.9).



Obr. 6.9 Pražec SB 8 s plochou žebrovou podkladnicí a pružným upevněním Pandrol K-lock

Zejména u relativně subtilních pružných svěrek je nutné při jejich zadláždění a tedy při permanentním styku s okolní vlhkostí dbát na jejich zvýšenou antikorozní ochranu s ohledem na možnost výskytu bludných proudů – buď je přikrýt speciálně vyvinutými přípravky nebo například je opatřit živičným nástřikem.

Betonové pražce

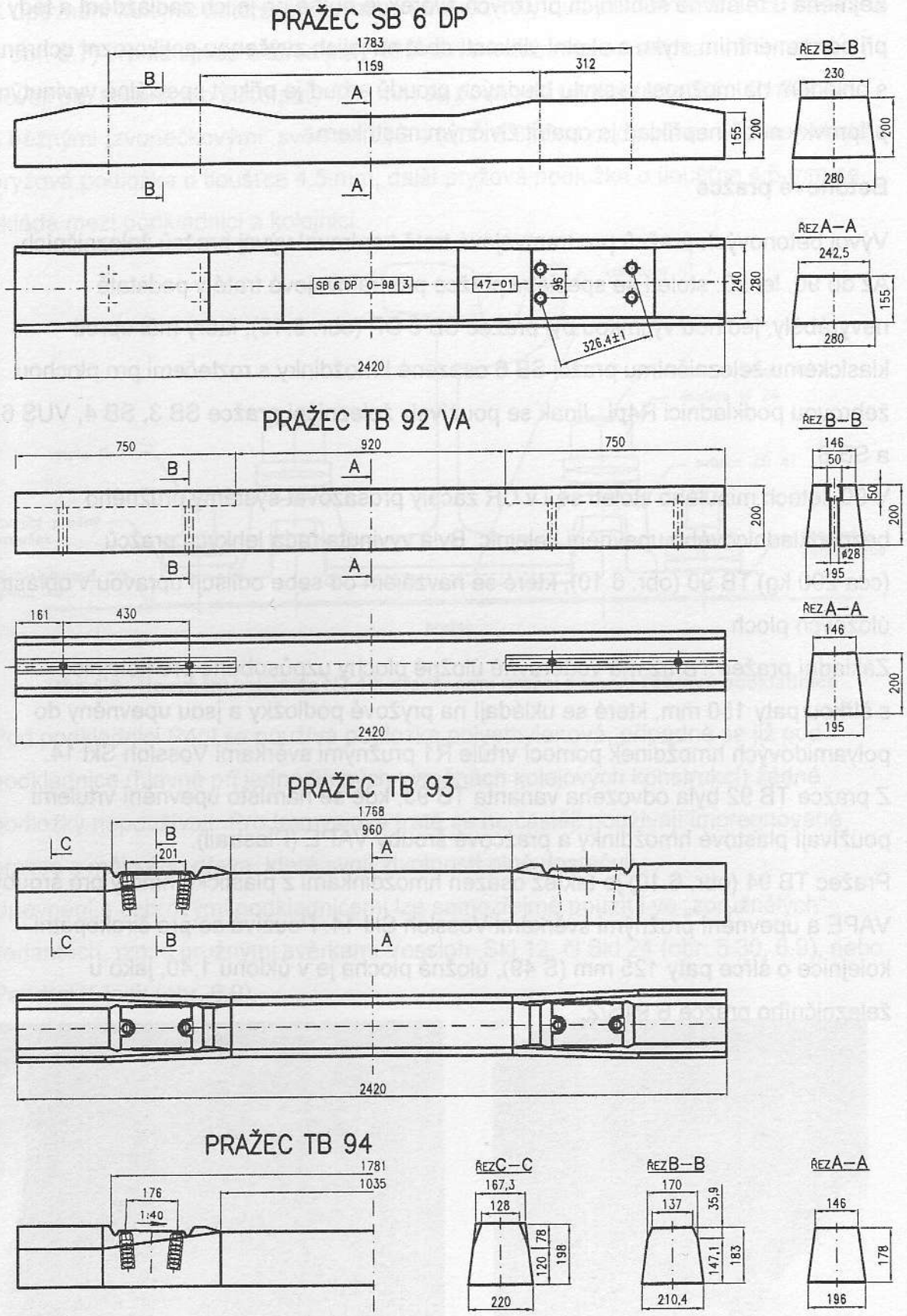
Vývoj betonových pražců pro tramvajové tratě kopíroval vývoj pražců železničních. Až do 90. let 20. století se speciální pražce pro tramvajové tratě v podstatě nevyráběly, jedinou výjimkou byl pražec SB 6 DP (obr. 6.10), který měl oproti klasickému železničnímu pražci SB 6 osazené hmoždinky s roztečemi pro plochou žebrovou podkladnici R4pl. Jinak se používaly železniční pražce SB 3, SB 4, VUS 62 a SB 8.

V 90. letech minulého století se i v ČR začaly prosazovat systémy pružného bezpodkladnicového upevnění kolejnic. Byla vyvinuta řada lehkých pražců (cca 200 kg) TB 90 (obr. 6.10), které se navzájem od sebe odlišují úpravou v oblasti úložných ploch.

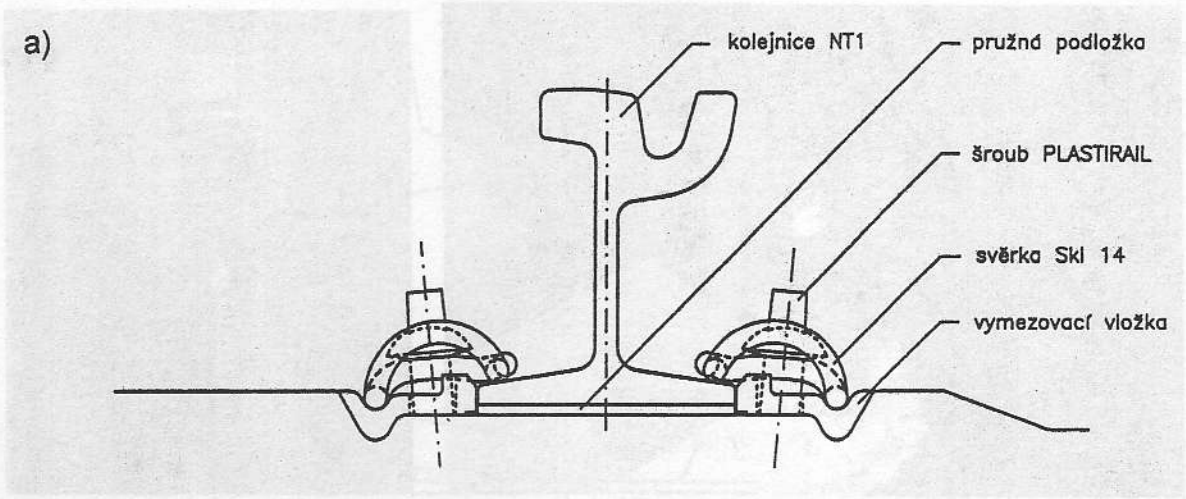
Základní pražec TB 92 má vodorovné úložné plochy uzpůsobené pro kolejnice s šířkou paty 150 mm, které se ukládají na pryžové podložky a jsou upevněny do polyamidových hmoždinek pomocí vrtule R1 pružnými svěrkami Vossloh Skl 14.

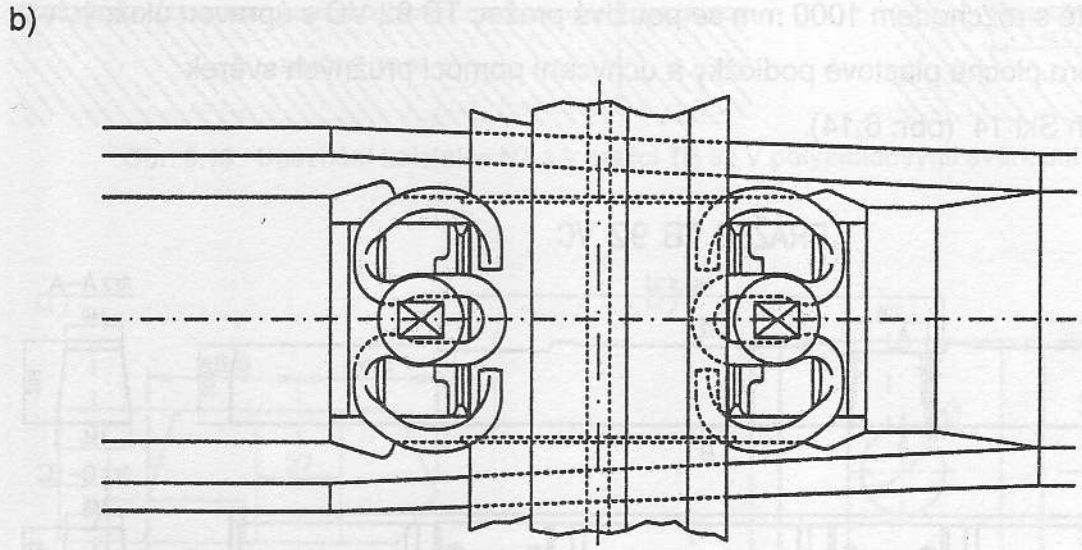
Z pražce TB 92 byla odvozena varianta TB 93, kde se namísto upevnění vrtulemi používají plastové hmoždinky a pražcové šrouby VAPE (Plastrail).

Pražec TB 94 (obr. 6.10) je taktéž osazen hmoždinkami z plastické hmoty pro šrouby VAPE a upevnění pružnými svěrkami Vossloh Skl 14. Používá se pro širokopatní kolejnice o šířce paty 125 mm (S 49), úložná plocha je v úklonu 1:40, jako u železničního pražce B 91S/2.



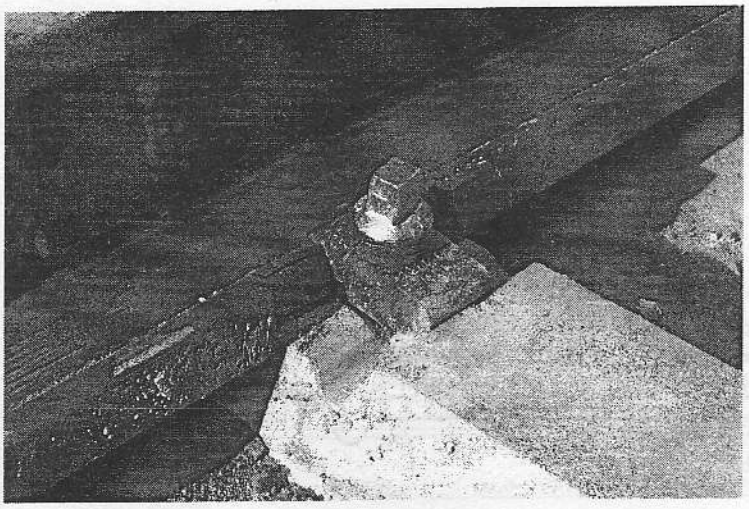
Obr. 6.10 Betonové pražce pro tramvajové tratě

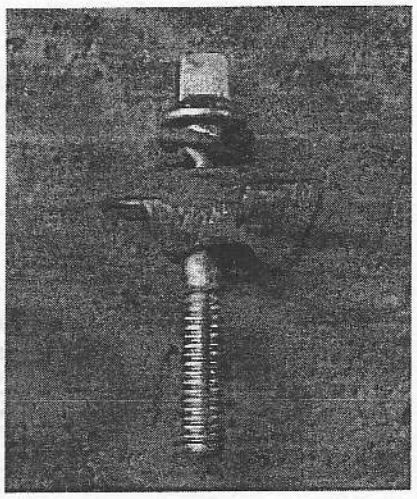




Obr. 6.11 Detail upevnění kolejnice NT 1 k pražci TB 93 pomocí svěrky Vossloh Skl 14 – a) příčný řez, b) pohled shora

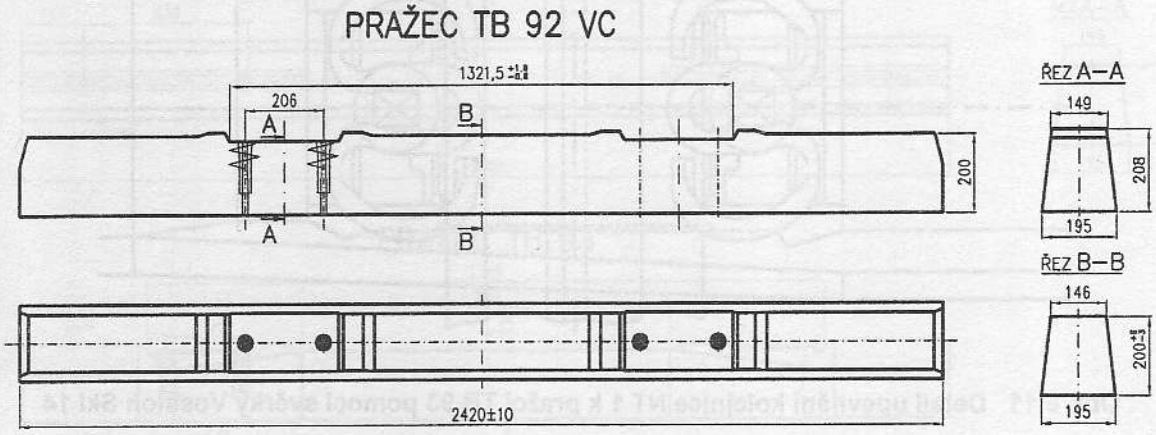
Alternativně k systému pružného upevnění pomocí svěrek Vossloh Skl 14 lze pro upevnění kolejnice k pražci TB 93 použít i systém Isolast (obr. 6.12) firmy Ortec. Podmínkou je navlečení kolejnice do pryžového patního profilu Isolast, který zajišťuje pružnost upevnění a zároveň tlumí hluk a vibrace vyzařované z kolejnice. Samotná svěrka systému Isolast je ocelová, tuhá, odlévaná, hrubě zabroušená (obr. 6.13). V místě upevnění se dvojitý bok patního profilu prořízne a stlačí, čímž se vytvoří dostatečně tlustá a pružná vrstva pryže pod svěrkou. Svěrka je k pražci přichycena šroubem VAPE, pod jehož hlavu je navlečen dvojitý pružný kroužek.





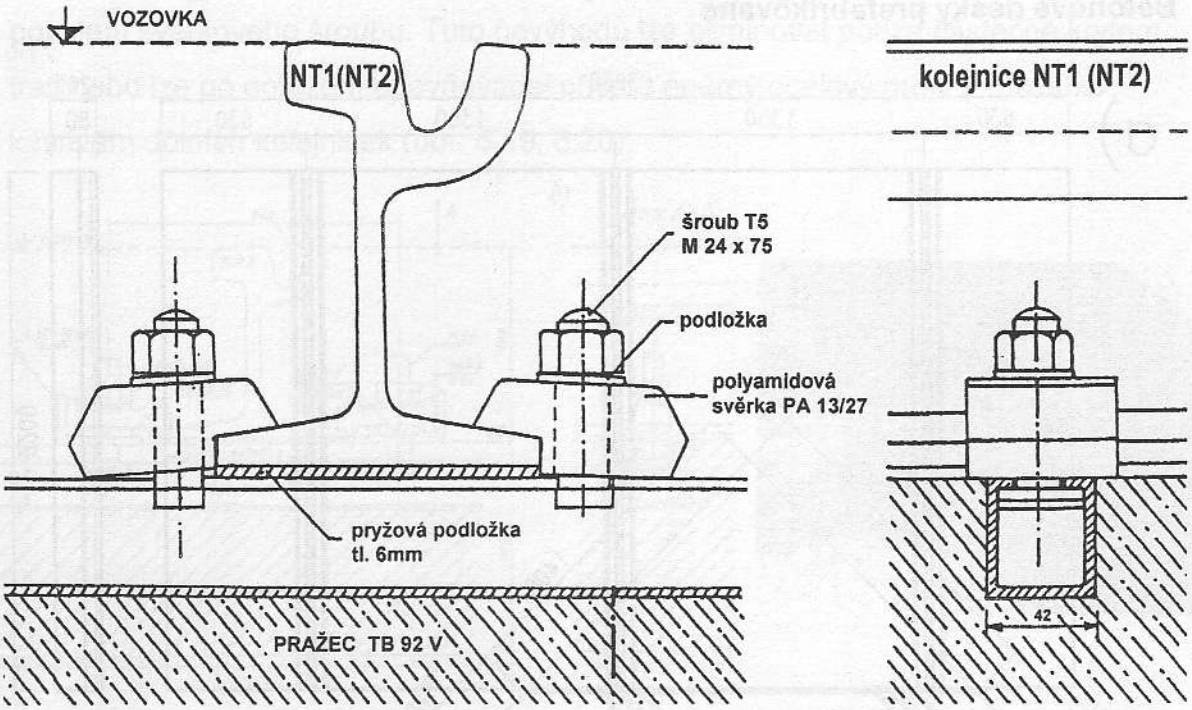
Obr. 6.12 Pružné upevnění Ortec Isolast **Obr. 6.13 Tuhá svěrka Ortec**

Pro tratě s rozchodem 1000 mm se používá pražec TB 92 VC s úpravou úložných ploch pro ploché plastové podložky a uchycení pomocí pružných svěrek Vossloh Skl 14 (obr. 6.14).

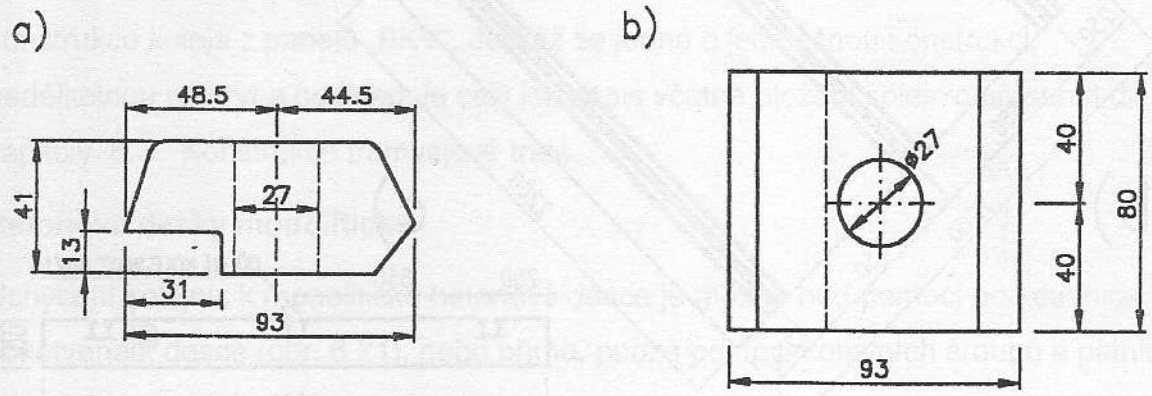


Obr. 6.14 Pražec pro tratě s rozchodem 1000 mm

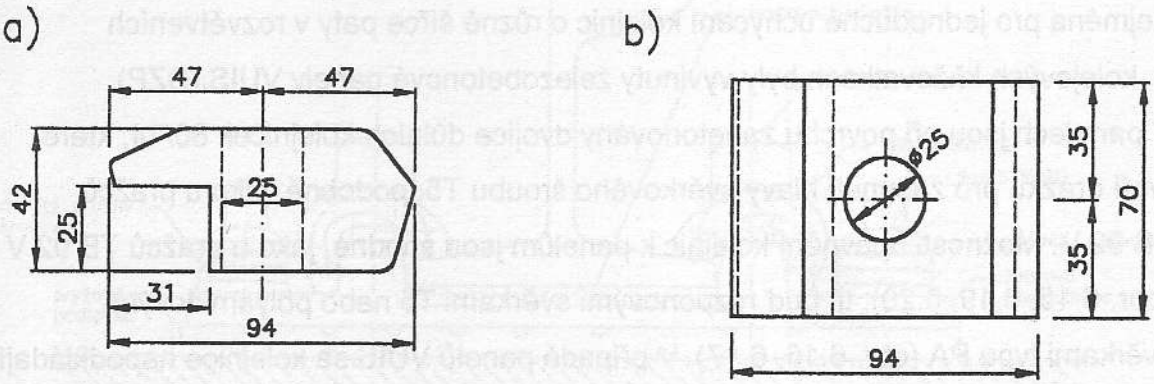
Aby bylo možno ukládat na betonové pražce i kolejové konstrukce a rozvětvení, bylo nutné vyvinout pražec s možností uchycení kolejnice prakticky kdekoliv. Vznikly tak pražce TB 92 VA (obr. 6.10) s dělenou drážkou a TB 92 VB s drážkou v celé délce pražce. Do ocelových drážek v úložné ploše pražce se zasouvají hlavy svěrkových šroubů T5. Kolejnice se ukládají na pryžovou podložku tl. 6 mm, a mohou se upevnit buď pomocí rozponových svěrek T5 (obr. 6.19, 6.20) nebo pomocí polyamidových svěrek typu PA (obr. 6.15, 6.16, 6.17). Drážkové pražce se hromadně používaly v 90. letech minulého století, později se však i na tramvajových tratích začaly používat kolejové obvody pro blokování výhybek proti nežádoucímu přestavení pod vlakem, a tak se v Praze od používání pražců s kovovou vodivou drážkou upustilo ve prospěch pražců dřevěných.



Obr. 6.15 Upevnění kolejnice NT 1 k pražci TB 92 V polyamidovými svěrkami

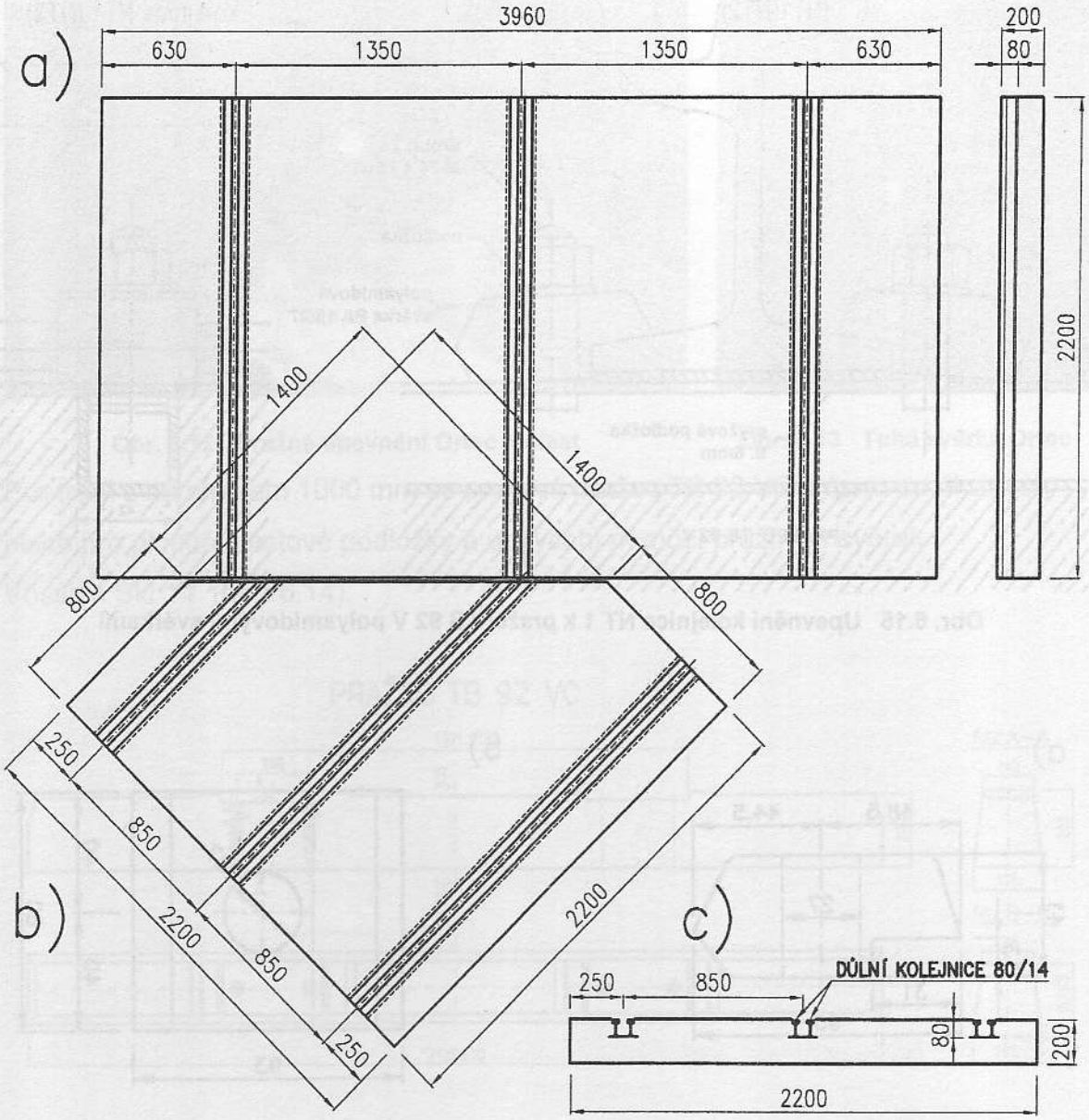


Obr. 6.16 Polyamidová svěrka PA 13/27 – a) řez, b) půdorys



Obr. 6.17 Polyamidová svěrka PA 15/25 – a) řez, b) půdorys

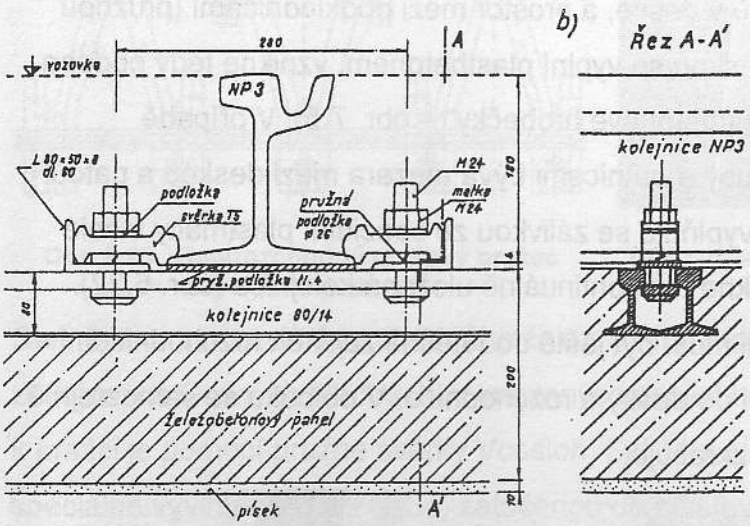
Betonové desky prefabrikované



Obr. 6.18 Železobetonové panely VUIS – a) obdélníkový dlouhý pro přímou trať, b) se zkoseným rohem do odbočné větve, c) podélný řez krátkým panelem

Zejména pro jednoduché uchycení kolejnic o různé šířce paty v rozvětveních a kolejových křižovatkách byly vyvinuty železobetonové panely VUIS (DZP). V panelech jsou při povrchu zabetonovány dvojice důlních kolejniček 80/14, které tvoří drážku pro zasunutí hlavy svěrkového šroubu T5, podobně, jako u pražců TB 92 V. Možnosti upevnění kolejnic k panelům jsou shodné, jako u pražců TB 92 V (obr. 6.15, 6.19, 6.20), tj. buď rozponovými svěrkami T5 nebo polyamidovými svěrkami typu PA (obr. 6.16, 6.17). V případě panelů VUIS se kolejnice nepodkládají pryžovými podložkami, ale souvislými pryžovými pásy. Všeobecnou nevýhodou upevnění kolejnic do drážek je okamžitá ztráta směrového držení kolejnice při

povolení svěrkového šroubu. Tuto nevýhodu lze eliminovat pouze částečně krytem trati nebo lze po dotažení upevňovadel přivařit opěrný ocelový profil L 80x50x8 k hlavám důlních kolejniček (obr. 6.19, 6.20).



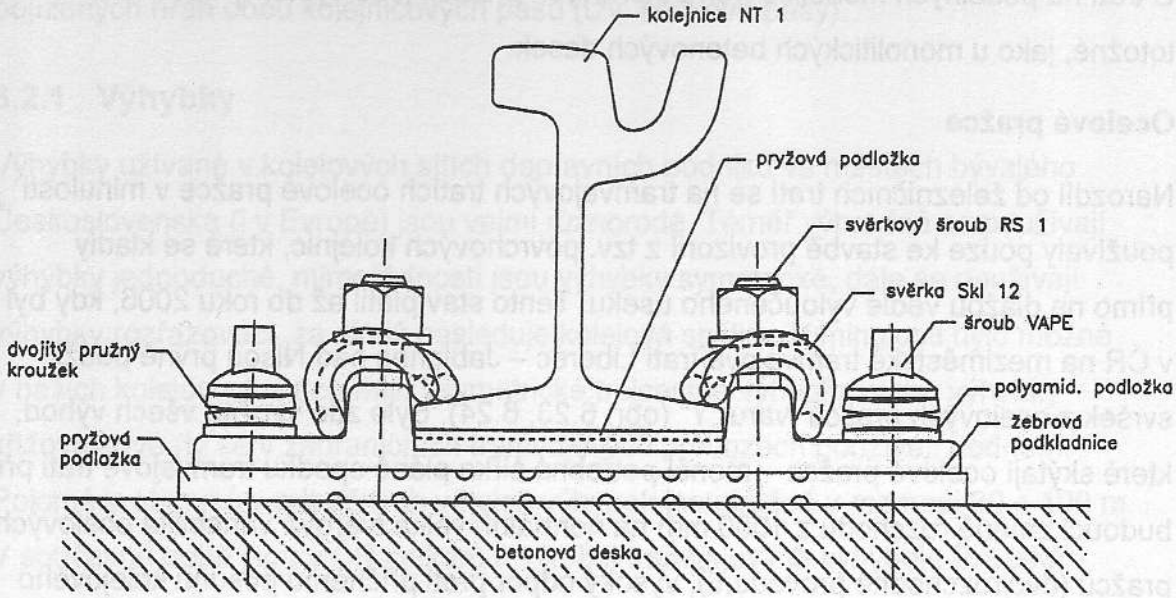
Obr. 6.19 Upevnění žlábkové kolejnice k panelu VUIS – řezy

Obr. 6.20 Upevnění žlábkové kolejnice k panelu VUIS – pohled

Zvláštním případem upevnění kolejnice do prefabrikovaných betonových desek je konstrukce koleje z panelů „BKV". Jelikož se jedná o jedinečnou konstrukci, nedělitelnou na kryt a podklad, je celý její popis včetně uložení kolejnic přesunut do kapitoly 6.3 Konstrukce tramvajové tratě.

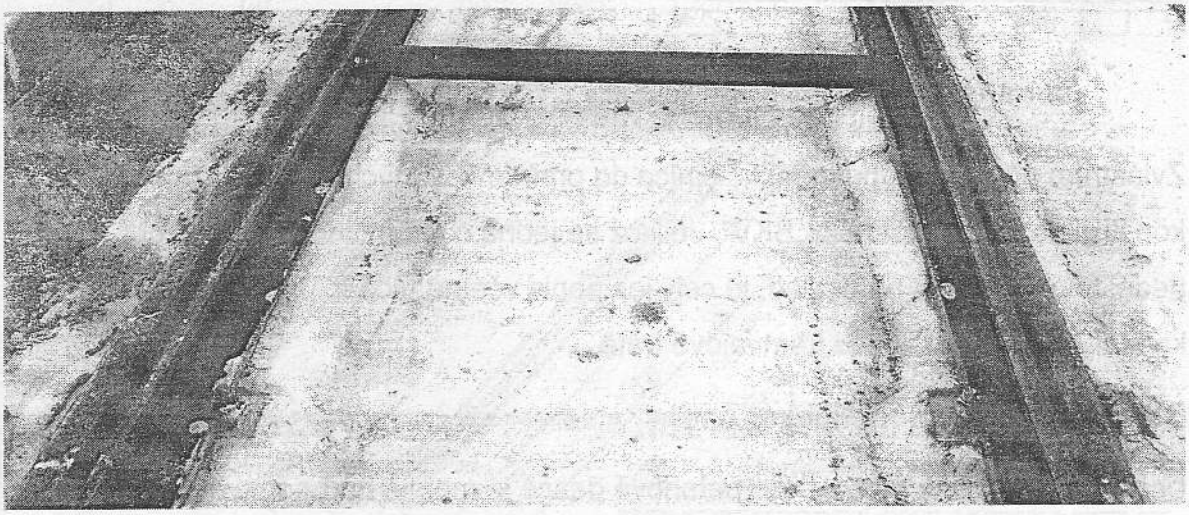
Betonové desky monolitické

Uchycení kolejnic k monolitické betonové desce je možné buď pomocí podkladnice přikotvené k desce (obr. 6.21), nebo přímo, pouze pomocí kotevních šroubů a patnic (obr. 6.22).



Obr. 6.21 Příklad upevnění kolejnice k monolitické betonové desce

Jelikož vybetonovat na místě desku s přesnou definitivní výškovou polohou úložné plochy pro kolejnice je značně obtížné, vybetonuje se většinou nejdříve deska o 3 ÷ 5 cm tenčí, a nad tou se smontuje a směrově i výškově upraví kolejový rošt. Ten se pak přikotví do vyvrtaných otvorů v desce, a prostor mezi podkladnicemi (pružnou podložkou pod podkladnicí) a deskou se vyplní plastbetonem, vznikne tedy obdoba upevnění koleje v metru („na plastbetonové hrobečky" – obr. 7.5). V případě upevnění kolejnic kotevními šrouby a patnicemi bývá mezera mezi deskou a patou kolejnice pouze cca 2 ÷ 3 cm a vyplňuje se zálivkou ze speciální plastmalty v celé délce kolejnicového pásu – vznikne tak kontinuálně uložená kolejnice (obr. 6.22). Rozchod v takto upevněné koleji musí být ještě dodatečně zajištěn rozchodnicemi – po 1,5 m se vždy střídá ukotvení do desky a rozchodnice. V oblouku se samozřejmě vzdálenost kotvení i rozchodnic zkracuje.

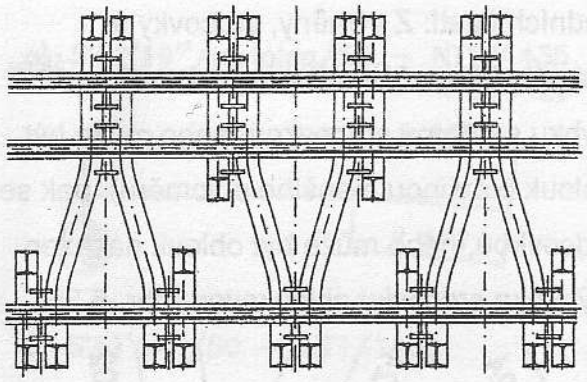


Obr. 6.22 Kontinuálně uložená kolejnice, kotvená do betonové desky šrouby po 3 m.

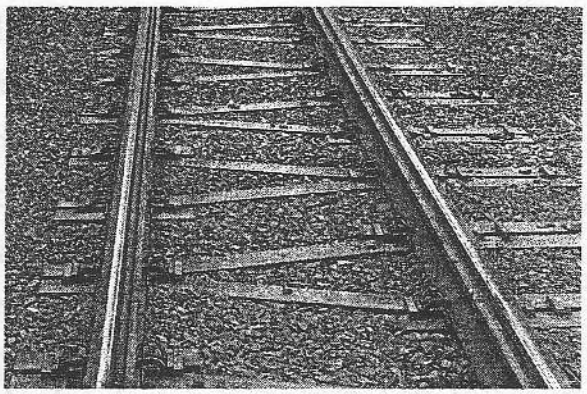
U tratí na podélných monolitických betonových prazích jsou systémy upevnění totožné, jako u monolitických betonových desek.

Ocelové pražce

Narozdíl od železničních tratí se na tramvajových tratích ocelové pražce v minulosti používaly pouze ke stavbě provizorií z tzv. povrchových kolejnic, které se kladly přímo na dlažbu vedle vyloučeného úseku. Tento stav platil až do roku 2006, kdy byl v ČR na meziměstské tramvajové trati Liberec – Jablonec nad Nisou prvně použit svršek z ocelových pražců tvaru „Y" (obr. 6.23, 6.24). Bylo zde využito všech výhod, které skýtají ocelové pražce – menší potřebná šířka pláně spodku tramvajové trati při budoucí změně rozchodu z 1000 mm na normální, velká tvarová variabilita ocelových pražců (dvojrozchodné provedení), vysoký odpor proti příčnému posunu kolejového roštu a nakonec i možnost nevodivého provedení upevnění kolejnic.



Obr. 6.23 Dvojrozchodný ocelový pražec tvaru „Y" - půdorys



Obr. 6.24 Dvojrozchodný ocelový pražec tvaru „Y" - pohled

Stejně jako u normálněrozchodného železničního provedení kolejnice spočívají na zdvojených úložných plochách, vymezených dvojicí horních ztužidel. Upevnění k pražci je pomocí pružné svěrky Vossloh Skl 14 v plastových vodících vložkách, speciálně vyvinutou vrtulí Ss34, zatočenou do plastové hmoždinky DüS15 (obr. 5.19).

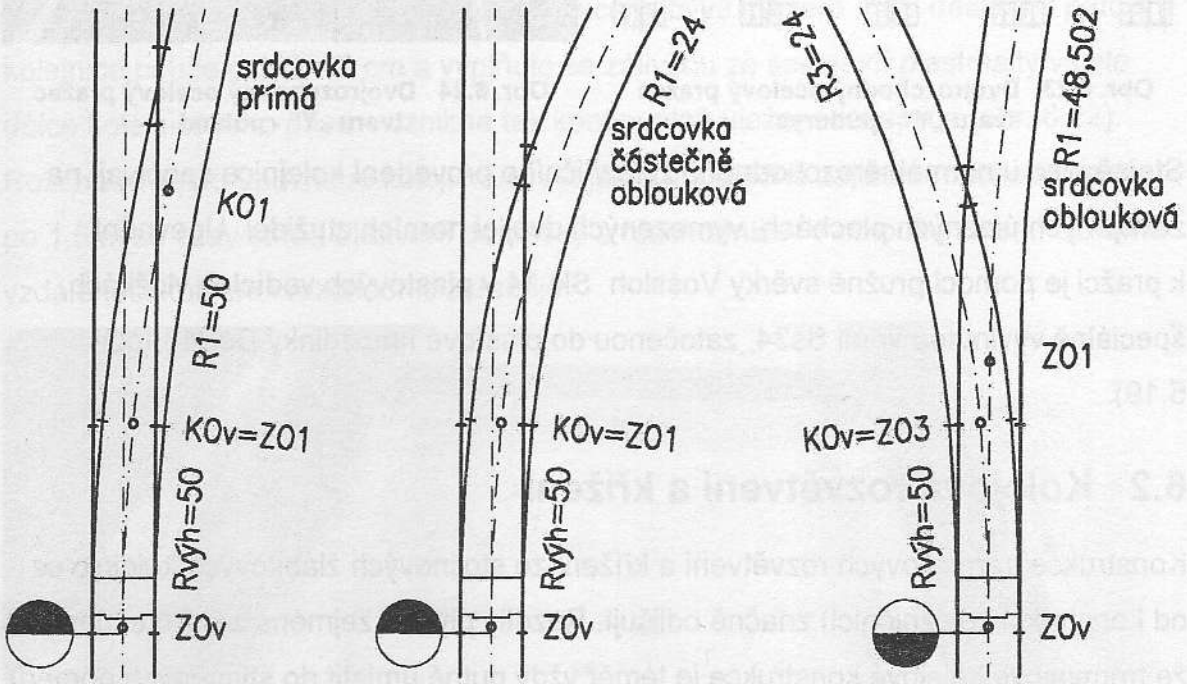
6.2 Kolejová rozvětvení a křížení

Konstrukce tramvajových rozvětvení a křížení ze stojinových žlábkových kolejnic se od konstrukcí železničních značně odlišují. Rozdíly plynou zejména ze skutečnosti, že tramvajové kolejové konstrukce je téměř vždy nutné umístit do stísněných poměrů městské zástavby. Pro zhotovení kolejového plánu konstrukce musí být známy: Poloměry oblouků, středové úhly celkové i dílčí, délky tečen, vzdálenosti vrcholových bodů od středů oblouků, tvar a délky přechodnic, dílčí délky oblouků, apod. Pro samotnou výrobu kolejové konstrukce je nutné znát i délky oblouků a délky kolejnic pojízdných hran obou kolejnicových pásů (tzv. křivkové pasy).

6.2.1 Výhybky

Výhybky užívané v kolejových sítích dopravních podniků ve městech bývalého Československa (i v Evropě) jsou velmi různorodé. Téměř výhradně se používají výhybky jednoduché, mimořádností jsou výhybky symetrické, dále se používají výhybky rozřazovací, za nimiž následuje kolejová splítka. V minulosti bylo možné v našich kolejových sítích najít i symetrické trojcestné výhybky, nebo výhybky křižovatkové (ty se v zahraničních tramvajových provozech používají dodnes). Poloměry oblouků v odbočných větvích výhybek jsou běžně v rozmezí 20 ÷ 100 m. V současné době jsou v ČR celkem 3 výrobci tramvajových výhybek: Pražská strojírna, a.s., DT výhybkárna a mostárna a.s., Prostějov a Renoweld Brno, a.s.

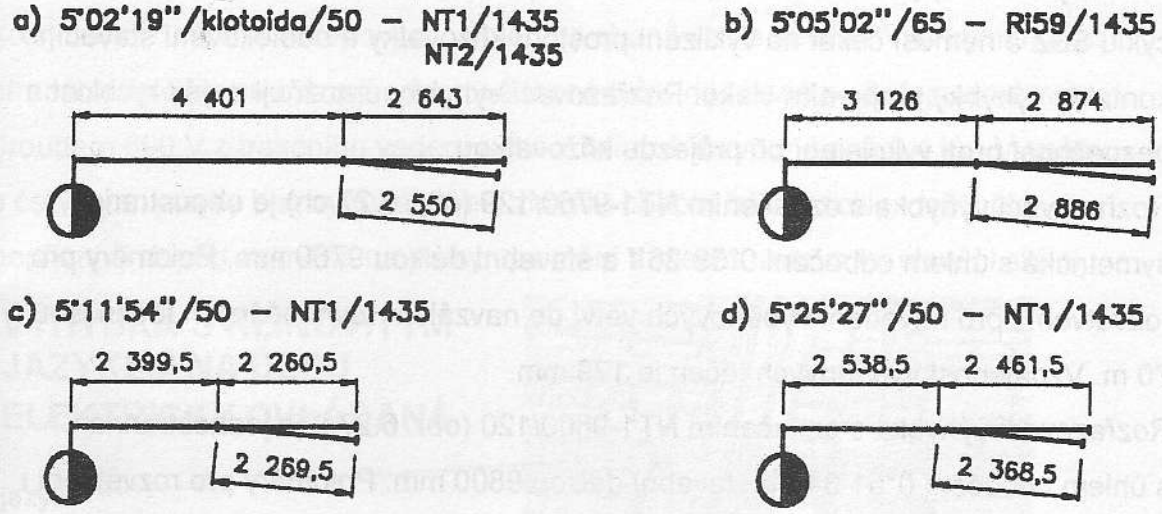
Jednoduchá výhybka se skládá ze tří základních částí: Z výměny, srdcovky a spojovacích kolejnic mezi nimi. Jednoduchá výhybka může mít za výměnovým obloukem buď přímou, pak se jedná o výhybku s přímou srdcovkou, nebo může být za výměnovým obloukem nasazen další oblouk (většinou menšího poloměru), pak se jedná o výhybku s částečně obloukovou srdcovkou, nebo může být oblouk nasazen na oba koncové styky výměny, a pak má výhybka srdcovku obloukovou (obr. 6.25).



Obr. 6.25 Zjednodušené kolejové plány výhybek – a) s přímou srdcovkou, b) s částečně obloukovou srdcovkou, c) s obloukovou srdcovkou

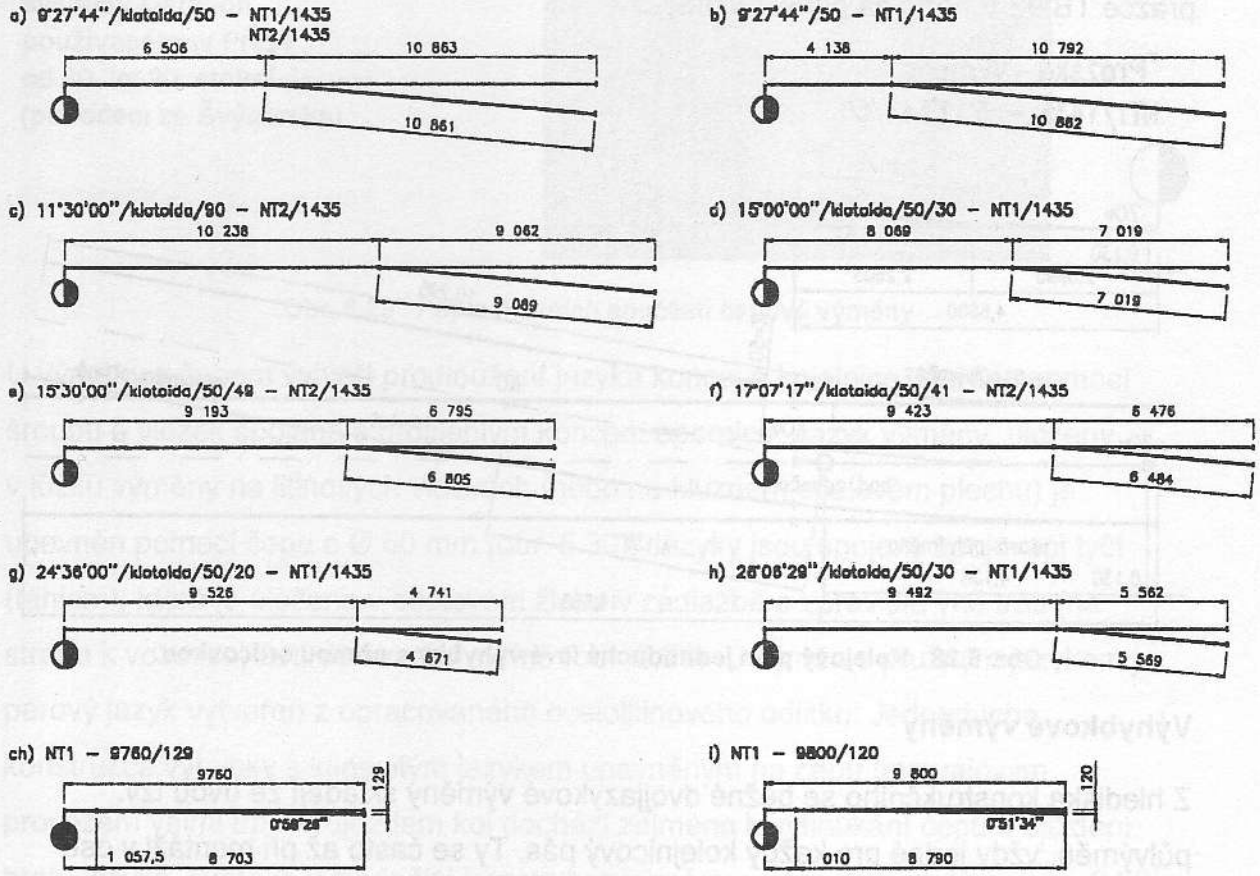
Jednotlivé základní části jsou k sobě pospojovány kolejnicovými spojkami (svary) a rozchodnicemi. Nedílnou součástí každé výměny je stavěcí skříň s přestavníkem (výměníkem) nebo u sjízdných výhybek pouze s pružinou, zajišťující jazyky v krajních polohách.

Kolejová rozvětvení se konstruují z typizovaných výměn (obr. 6.26) nebo z typizovaných výhybkových jednotek (obr. 6.27). Moderní typy tramvajových výhybek užívají výměny s klotoidickou částí napojenou na kružnicový oblouk nebo na složený kružnicový oblouk (tzv. přechodnicový tvar výměny). Stále ještě se též používají výměny ve tvaru prostého kružnicového oblouku (tzv. kružnicový tvar výměny). Dříve se užívaly výměny s upevněním jazyka na čepu, dnes se vyrábějí již téměř výhradně výměny s pérovými jazyky (obr. 6.29). Výhybkové konstrukce se nejčastěji ukládají na dřevěné pražce, dále na výhybkové pražce TB 92 V (obr. 6.10, 6.15), na panely VUIS (obr. 6.18, 6.19, 6.20), nebo na monolitické betonové desky.



Obr. 6.26 Vytyčovací schémata typizovaných výměn, užívaných v konstrukcích rozvětvení

K eliminování časové ztráty nutné pro přestavení klasické výměny v prostoru těsně před křižovatkou se SSZ je možné použít rozřazovací výměnu (obr. 6.27 ch, i), která umožňuje rozřazení dvou tramvajových vlaků jedoucích těsně za sebou na samostatné koleje ještě v dostatečné vzdálenosti před stopčárou SSZ.



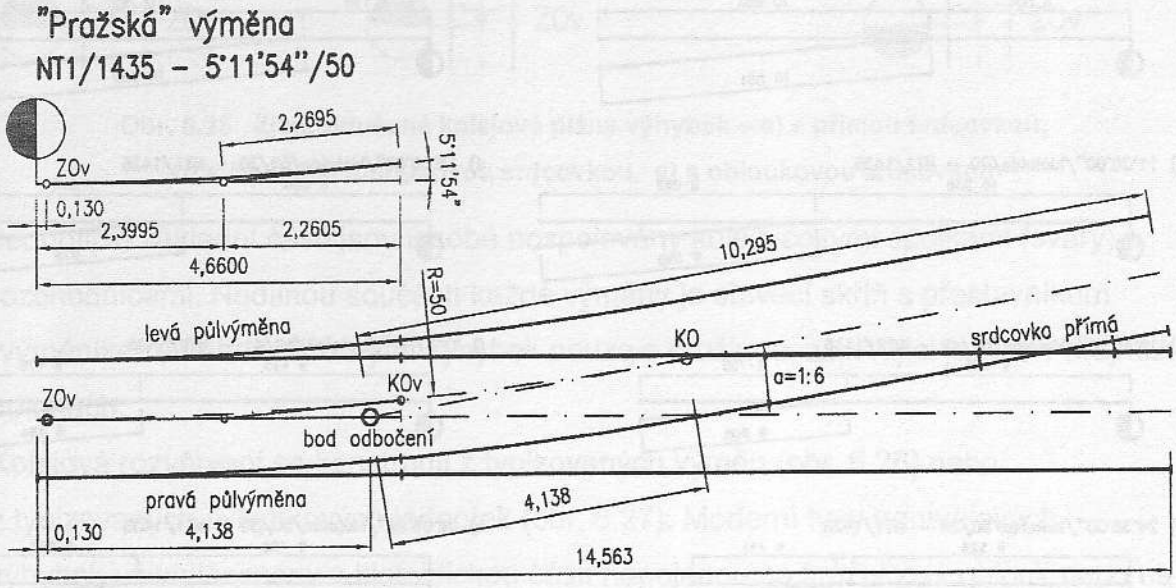
Obr. 6.27 Vytyčovací schémata typizovaných výhybek – a) až h) výhybky jednoduché, ch), i) výhybky rozřazovací

Tramvajové vlaky pak mohou těsně za sebou projet přes stopčáru během jednoho cyklu SSZ a nemusí čekat na vyklizení prostoru křižovatky a odblokování stavěcího kontaktu výhybky po prvním vlaku. Rozřazovací výhybky umožňují zvýšit rychlost a bezpečnost proti vykolejení při průjezdu křižovatkou.

Rozřazovací výhybka s označením NT1-9760/129 (obr. 6.27 ch) je oboustranná, symetrická s úhlem odbočení 0°58´26´´ a stavební délkou 9760 mm. Poloměry pro rozvětvení i pro navedení výběhových větví do navzájem rovnoběžných tečen jsou 70 m. Vzdálenost výběhových tečen je 129 mm.

Rozřazovací výhybka s označením NT1-9800/120 (obr. 6.27 i) je jednostranná s úhlem odbočení 0°51´34´´ a stavební délkou 9800 mm. Poloměry pro rozvětvení i pro navedení výběhových větví do navzájem rovnoběžných tečen jsou 33,3 m. Vzdálenost výběhových tečen je 120 mm.

Rozřazovací výhybky nemají vlastní srdcovku, jazyky jsou pružné a k jejich přestavování se používá standardní stavěcí skříň. Geometrické uspořádání je uzpůsobeno pro navázání kolejové splitky na délku alespoň jednoho vlaku. Ukládají se stejně jako jednoduché výhybky na dřevěné pražce, alternativně na betonové pražce TB 92 V nebo na panely VUIS.

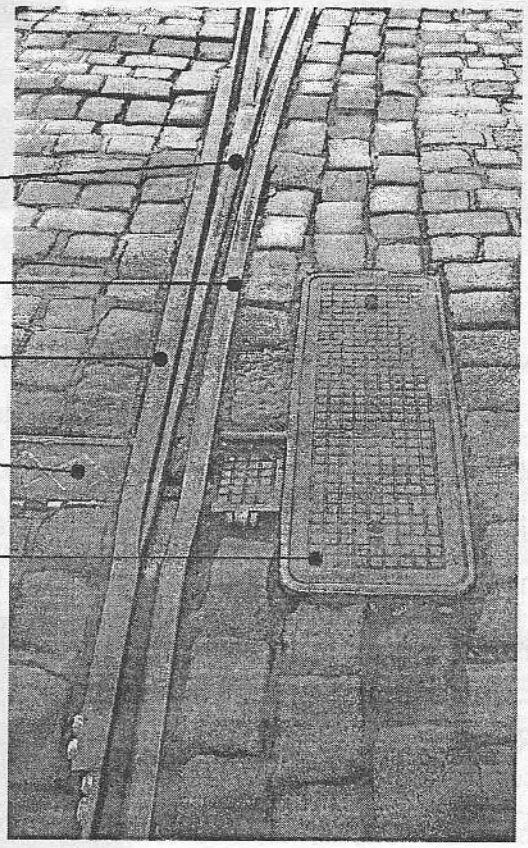


Obr. 6.28 Kolejový plán jednoduché levé výhybky s přímou srdcovkou

Výhybkové výměny

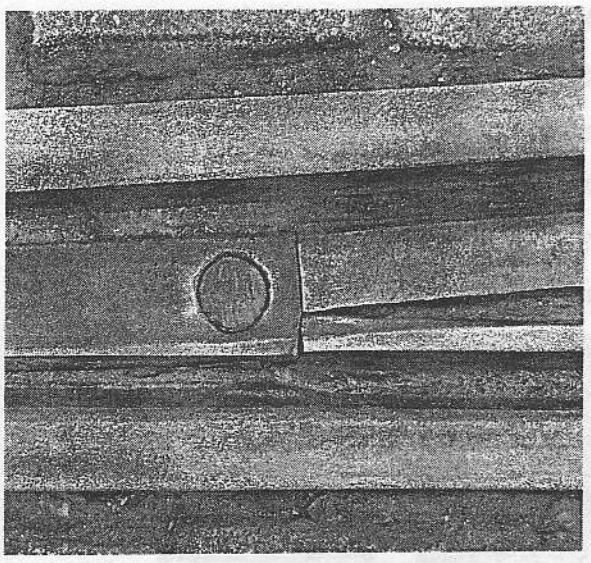
Z hlediska konstrukčního se běžné dvojjazykové výměny skládají ze dvou tzv. půlvýměn, vždy jedné pro každý kolejnicový pás. Ty se často až při montáži v ose koleje pomocí rozchodnic, pražců a stavěcí skříně spojí v jeden celek – výměnu. Výměny se skládají z částí pevných a pohyblivých. Části pevné jsou: hlavní pojízdné kolejnice a opornice (u čepových výměn s litinovými vložkami pro čep), části

pohyblivé jsou jazyky a stavěcí zařízení (u novějších výměn ve skříni mezi kolejnicemi, u starších čepových výměn po straně vedle koleje). Vně výměny, po stranách kolejnic se osazují odporové topné tyče, napájené buď stejnosměrným proudem 600 V z trakčního vedení nebo z veřejné rozvodné sítě 0,4 kV. Výměny s čepovými jazyky bez vyhřívání se v zimním období běžně solily, což mělo nepříznivý dopad zejména na prvky upevnění a mechanismus ve stavěcí skříni.

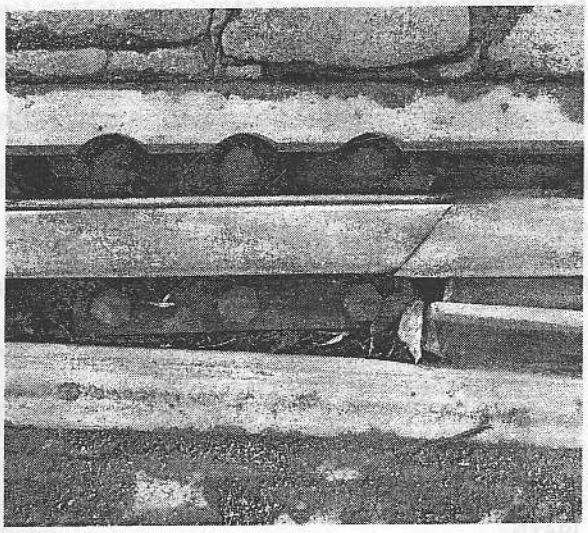


Obr. 6.29 Popis hlavních součástí čepové výměny

U výměny s čepem vytváří prodloužení jazyka koncová kolejnice, která je pomocí šroubů a vložek spojena s protilehlým koncem opornice. Jazyk výměny, uložený v lůžku výměny na litinových vložkách (nebo na kluzném ocelovém plechu) je upevněn pomocí čepu o Ø 50 mm (obr. 6.30). Jazyky jsou spojeny spojovací tyčí (táhlem), která je uložena v ocelovém žlabu v zádlažbě a zpravidla vně trati (na stranu k vozovce) ústí do stavěcí skříně (obr. 6.29). U výměn s pružným jazykem je pérový jazyk vytvořen z opracovaného ocelolitinového odlitku. Jednoduchá konstrukce výhybky s klínovitým jazykem upevněným na čepu tramvajovým provozem velmi trpí. Průjezdem kol dochází zejména k vytloukání čepu a ojíždění hrotu jazyka. Proto je výhodnější konstrukce výměny s pérovým jazykem (obr. 6.32). Zaručuje plynulejší průjezd tramvajového vozidla s menším počtem dynamických rázů a tím i delší životnost výměny. Do silně zatížených křižovatek se vkládají

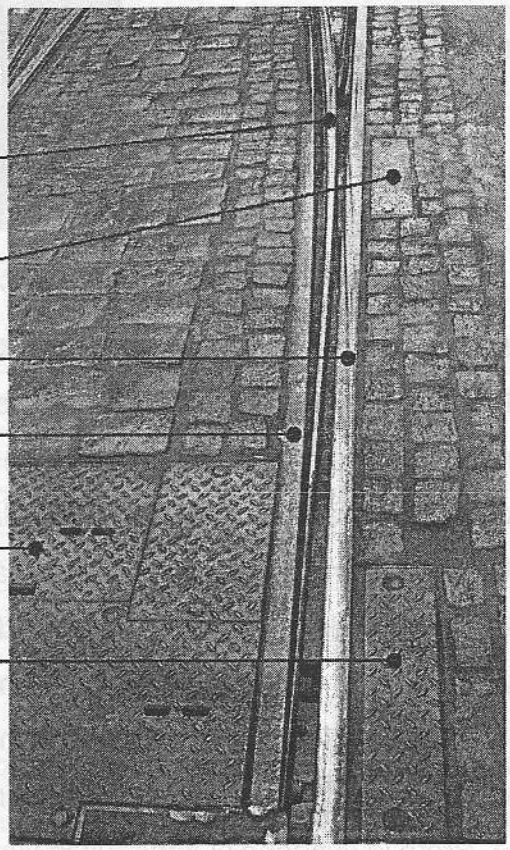


Obr. 6.30 Detail kořene klínovitého jazyka s čepem



Obr. 6.31 Detail kořene pružného vyměnitelného jazyka

výměny s vyměnitelnými pružnými jazyky (obr. 6.31). Po jeho ojetí na maximální dovolenou hodnotu, či zničení z jiného důvodu, je možné ho po odšroubování šesti šroubů v oblasti kořene jednoduše vyměnit za nový. Oproti výměnám ze širokopatních kolejnic tvoří u výměn z kolejnic žlábkových opornice vždy vnitřní stranu výměny a probíhá po celé její délce (obr. 6.29, 6.32).



Obr. 6.32 Popis hlavních součástí výměny s pružným jazykem

Z obr. 6.26 a 6.27 je zřejmé, že nejčastější hodnota poloměru v tramvajových výhybkách je 50 m. Tomuto poloměru odpovídá i maximální dovolená rychlost průjezdu výhybkovými oblouky 15,8 km.h^{-1}, která je však při jízdě proti hrotu výměny z preventivně-bezpečnostních důvodů snížena provozním předpisem D 1/2 na 10 km.h^{-1}. Konstrukční rychlost ve výměnách s výměnovými zámky při jízdě proti hrotu je až (!) 20 km.h^{-1}. Kolejové konstrukce se přednostně vkládají do kolejí bez převýšení, většinou je však zřízení převýšení v hodnotách do cca 30 mm nutností kvůli odvodnění povrchu krytu nebo podélnému sklonu některé z kolejí do konstrukce vstupující, apod. V případě nutnosti je možné i zřízení záporného převýšení až do hodnoty -50 mm. Převýšení nemá vliv na rychlost průjezdu výměnami a kolejovými konstrukcemi, a pokud ano, tak pouze negativní – v případě záporného převýšení většinou dochází k dalšímu omezení rychlosti.

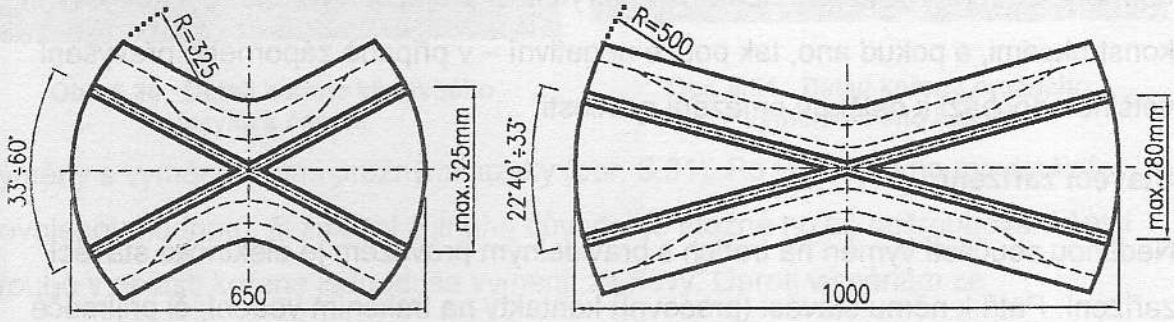
Stavěcí zařízení

Nedílnou součástí výměn na tratích s pravidelným provozem je elektrické stavěcí zařízení. Patří k němu stavěcí (pracovní) kontakty na trakčním vedení, či přijímače radiového signálu, je-li výměna přestavována bezkontaktně. K další výbavě patří trolejové kontakty, či kolejové obvody, blokující výměnu proti nežádoucímu přestavení (podhození) následujícím vlakem pod před ním jedoucím tramvajovým vlakem. Ručně stavěné výměny (výhybkovým klíčem) se používají např. ve smyčkách v odbočkách do manipulačních kolejí nebo ve vozovnách. Ve vozovnách se však v poslední době začínají prosazovat systémy automatického centrálního stavění vlakových cest, podobně jako v železničních stanicích.

6.2.2 Srdcovky

Srdcovky se zhotovují buď skládané z jednotlivých kusů kolejnic nebo se užívá opracovaných odlitků z ocelolitiny. Skládaná srdcovka je tvořena ze tří kusů kolejnic. Průběžná kolejnice zajišťuje jeden směr, zatímco druhý směr je zajištěn dvěma kusy kolejnic,které jsou těsně přisazeny k průběžné kolejnici. Jednotlivé kusy kolejnic jsou spojeny stykovými spojkami a šesti až osmi spojkovými šrouby. Spojky jsou ke kolejnicím přivařeny. Srdcovka je vyztužena podkladným plechem přivařeným ke spodnímu líci paty kolejnic a v místě ostrého sevření zesílena přivařenými vložkami. V úrovni hlav kolejnic je do ostrého úhlu přivařen rýhovaný plech. U srdcovek z běžných stojinových žlábkových kolejnic se žlábek v místech proniku elektricky navařuje, aby se jeho hloubka zmenšila na 14 mm. Vyplnění žlábku se provádí s náběhy ve sklonu 1:100 k místu křížení. Snížení hloubky žlábku v srdcovce

umožňuje klidnější průjezd kola přes srdcovku – kolo srdcovku projíždí po okolku a na hrotu srdcovky tak nedochází k rázům. Zhotovování skládaných srdcovek je velmi pracné, v provozu dochází k jejich rychlému opotřebování a musí se často vyměňovat. Navíc je omezená jejich tvarová variabilita – nehodí se do oblouků o malých poloměrech. Proto se častěji používají srdcovky z ocelolitinových bloků o výšce 180 mm, do kterých jsou vyfrézovány mělké žlábky obdélníkového tvaru (obr. 6.33). K ocelolitinovému bloku jsou přivařeny spojovací kusy žlábkových kolejnic (ramena srdcovky – „klepeta"), pomocí kterých je srdcovka spojena s ostatními částmi výhybky nebo kolejového křížení.



Obr. 6.33 Ocelolitinové odlitky pro výrobu srdcovek (tab. 6.2)

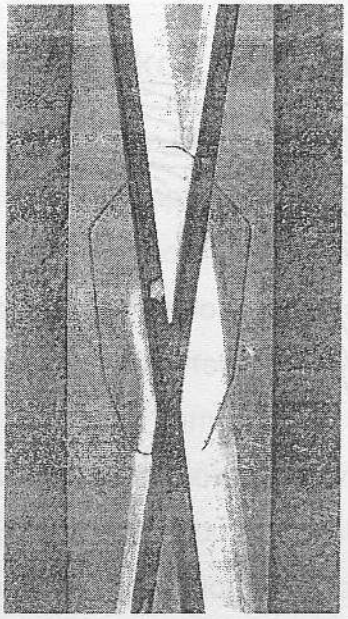
Tvar (průměr, či délka) ocelolitinových bloků je závislý na úhlu křížení kolejnicových pásů v srdcovce (tab. 6.2). U složitých křížení, kde následuje těsně za sebou několik srdcovek se neprovádějí náběhy snížení žlábků k jednotlivým srdcovkám, ale žlábek se provede jako mělký v celé délce od první k poslední srdcovce projížděné v daném směru. Jelikož nejnamáhanější součástí srdcovky je její hrot, konstruují se moderní srdcovky s vyměnitelným středem. Ten je navíc možné vyrobit z odolnějšího

úhel křížení kolejnicových pásů v srdci [°]	úhel křížení kolejnicových pásů v srdci [g]	průměr ocelového odlitku [mm]
60° – 90°	66,6667 - 100	400
33° – 60°	36,6667 – 66,6667	650
22°40' – 33°	25,1852 – 36,6667	1000
16°20' – 22°40'	18,1481 – 25,1852	1400
8° – 16°20'	8,8889 – 18,1481	1750

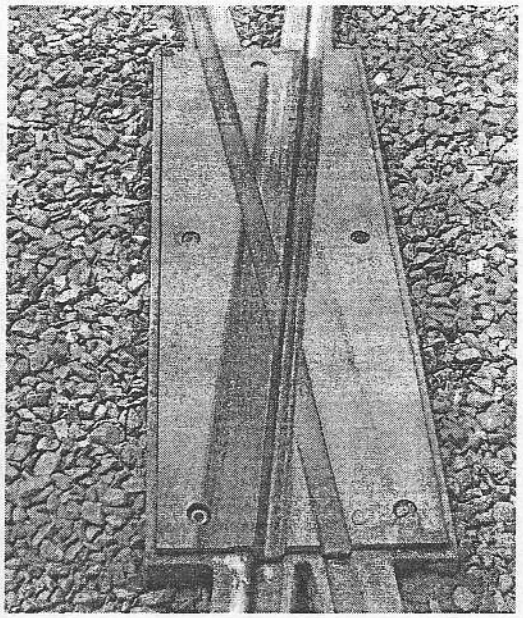
Tab. 6.2 Délky srdcovek v závislosti na úhlu křížení kolejnicových pásů

materiálu (např. z manganové oceli – obr. 6.34 a). Opačným postupem je vyrobit srdcovku z poddajného, měkčího a levnějšího materiálu a případně ji častěji měnit. Výhodou srdcovky z měkkého materiálu jsou menší dynamické rázy a s nimi spojené

zvukové efekty při průjezdu vozidel. Příklad srdcovky s plastovou vložkou, použité v síti DP Ostrava, je na obr. 6.34 b.



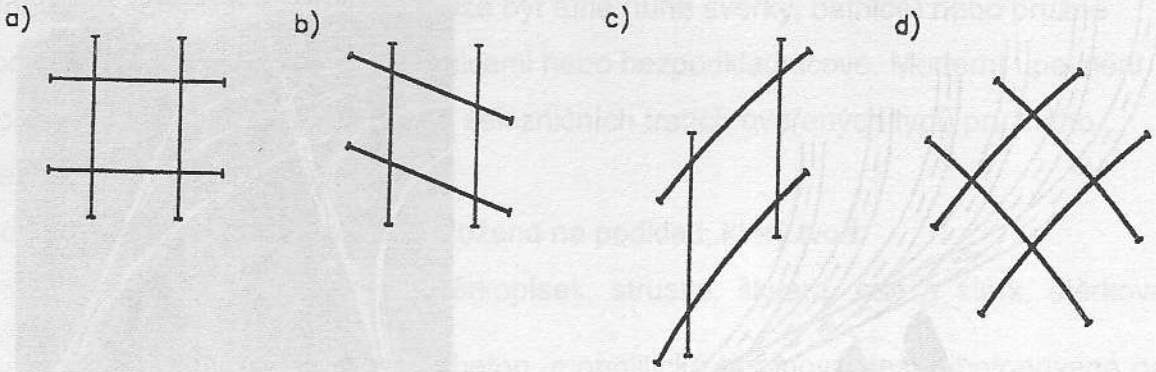
Obr. 6.34 a Srdcovka s vyměnitelným středem



Obr. 6.34 b Srdcovka s plastovou vložkou

6.2.3 Kolejové konstrukce

Díky různorodosti konfigurace uličních sítí měst jsou téměř nekonečně různorodé i tvary tramvajových kolejových konstrukcí. Přesto je lze alespoň zhruba typologicky rozdělit. Na tratích může vzniknout křížení přímé (obr. 6.35a, b), křížení přímé s obloukem (obr. 6.35c), nebo křížení dvou oblouků (obr. 6.35d).



Obr. 6.35 Typy křížení tramvajových tratí

a) přímá křižovatka s kolmým úhlem křížení

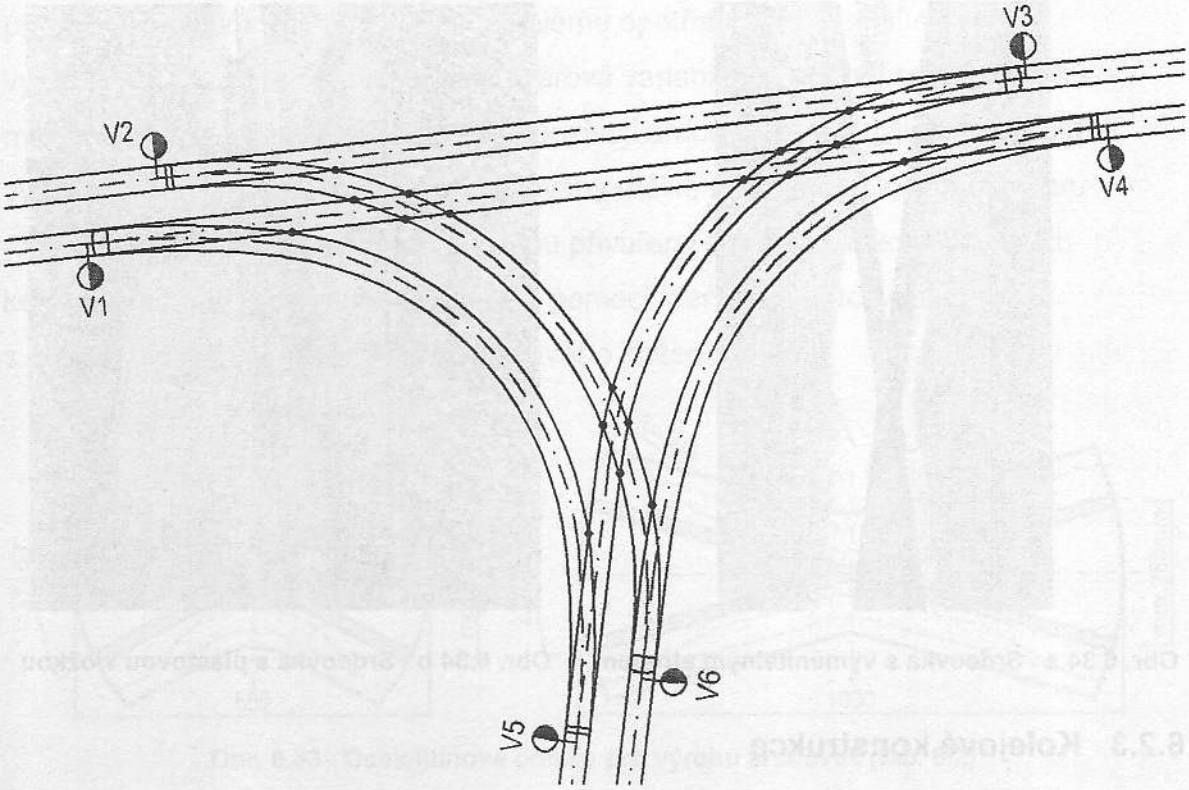
b) přímá křižovatka s šikmým úhlem křížení

c) křižovatka částečně oblouková

d) oblouková křižovatka

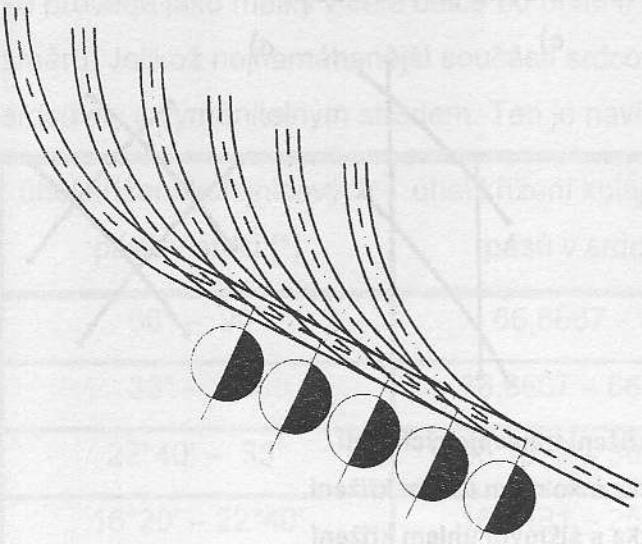
Tramvajová křižovatka bývá charakterizována počtem spojovacích oblouků a z něj vyplývajícím počtem srdcovek (srdcí). Nejsložitější úplná hvězdicová čtyřramenná křižovatka (v pražské kolejové síti se momentálně vyskytuje třikrát) může mít až 88

srdcí. V praxi však často dochází například ke křížení tří kolejnicových pásů v jednom srdci, takže jich většinou bývá o několik méně.

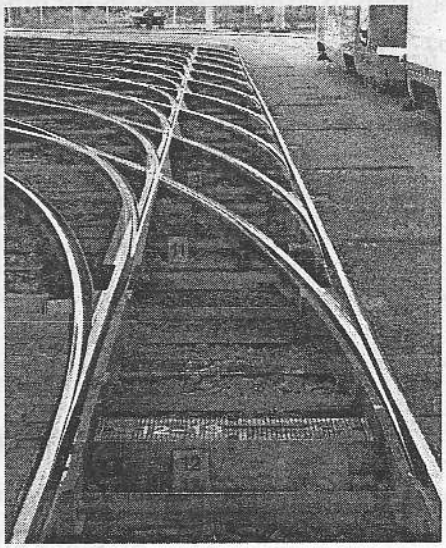


Obr. 6.36 Tramvajový trojúhelník

Oproti úplné hvězdicové křižovatce mívá jedna z nejtypičtějších kolejových konstrukcí – tramvajový trojúhelník (obr. 6.36) vždy „pouze" 18 srdcí.



Obr. 6.37 a Schéma matečné koleje s jednojazykovými výhybkami



Obr. 6.37 b Pohled na matečnou kolej s jednojazykovými výhybkami

Mezi atypické kolejové konstrukce lze zařadit například zhlaví vozoven, seskládané z důvodu stísněných poměrů z jednojazykových výměn. Jejich výhodou je možnost křížení kolejnicových pásů v místě chybějících jazyků (obr. 6.37 a, 6.37 b).

V současné době se v ČR vyskytují dvě vozovny s takto uspořádaným kolejištěm (DP Ostrava – voz. Moravská Ostrava, DP Praha – voz. Pankrác).

6.3 Konstrukce tramvajové tratě

Nejstarší konstrukce tramvajové tratě odpovídaly svou únosností používanému vozovému parku. Např. jízdní dráhu pro koňskou tramvaj tvořily dřevěné trámy, pobité plochými ocelovými pásy. Tato konstrukce byla však pro parní nebo elektrickou tramvaj nedostatečná a začaly se používat stojinové žlábkové kolejnice, uložené na podélnou vrstvu zhutněného štěrku. S rostoucím nápravovým tlakem vozidel a zatížením tramvajových tratí nekolejovou dopravou se nároky na konstrukci tramvajových tratí zvyšovaly. Hlavními požadavky na konstrukci tramvajových tratí mimo městskou zástavbu se konstrukce tramvajové trati přibližuje konstrukci železniční koleje na regionálních dráhách. Použití lehčích vozidel s nižší maximální rychlostí (do 80 km.h^{-1}) dovoluje subtilnější konstrukci. Hlavní charakteristikou konstrukce tramvajové trati je užitý typ konstrukce kolejového svršku (tvar kolejnice, typ upevnění) a druh podkladu kolejového svršku. V konstrukci tramvajové koleje se užívají kolejnice:

- širokopatní,
- stojinové žlábkové,
- blokové žlábkové.

Upevnění kolejnice k podkladu může být tuhé (tuhé svěrky, patnice) nebo pružné (pružné svěrky, spony) s podkladnicemi nebo bezpodkladnicové. Moderní upevnění kolejnice tramvajové trati užívá na železničních tratích ověřených typů pružného bezpodkladnicového upevnění.

Konstrukce tramvajové koleje je uložena na podklad, který tvoří:

- nestmelené vrstvy (drť, štěrkopísek, struska, škvára, štět a štěrk, štěrkové lože),
- stmelené vrstvy (asfaltový beton, monolitická betonová deska betonovaná na místě, zabetonované pražce),
- prefabrikované betonové bloky,
- příčné pražce (dřevěné, betonové monoblokové, betonové dvoublokové, ocelové),
- prefabrikované pražcové desky,
- prefabrikované desky,
- podélné betonové prahy,
- panelové konstrukce (kolejový svršek tvoří současně kryt tramvajové trati),
- speciální podklady s protihlukovými a protivibračními opatřeními.

Charakteristika tramvajové tratě je dána typem užitého krytu, který může tvořit:

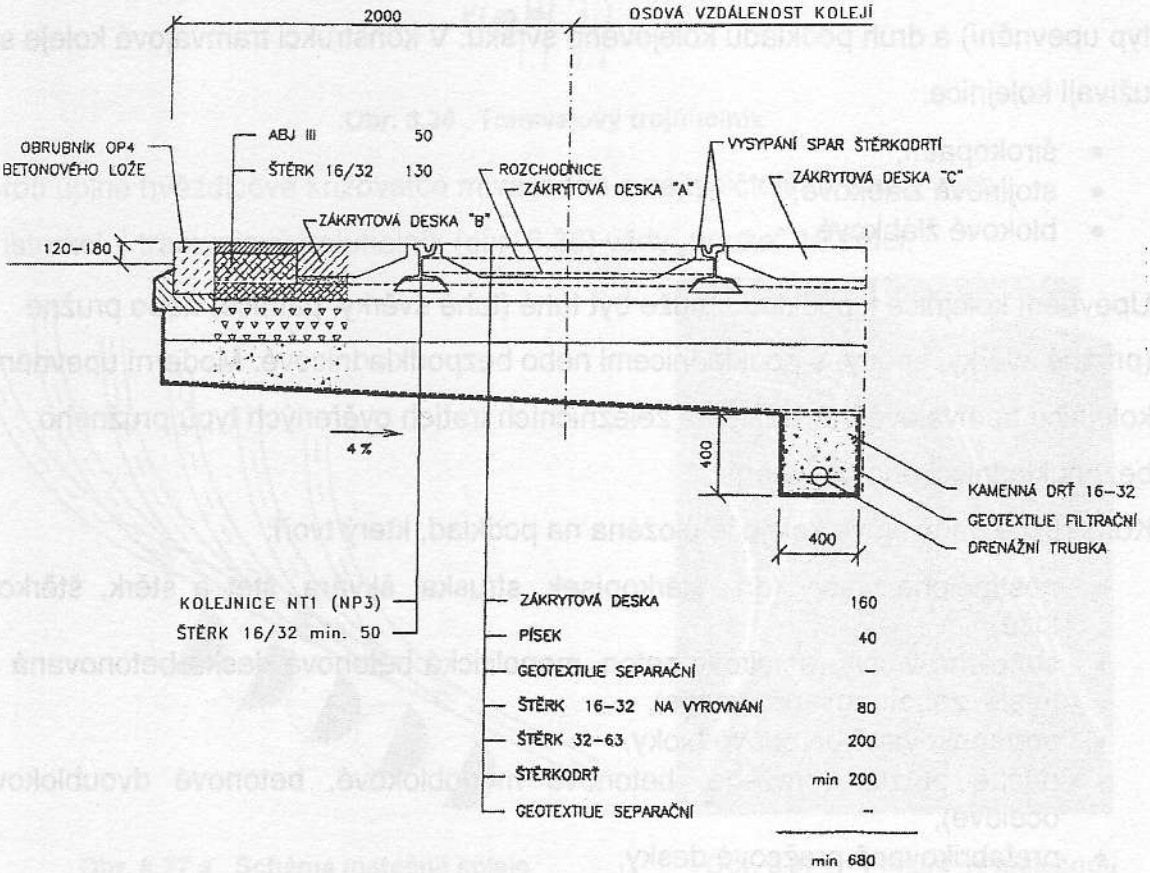
- humus s vegetačním krytem,
- děrovaná betonová dlažba s humusem a vegetačním krytem,
- dlažba (dřevěná, kamenná, strusková),
- prefabrikované betonové desky,
- živičné vrstvy (litý asfalt, asfaltový beton),
- monolitický beton a litý asfalt,
- prefabrikované betonové desky a litý asfalt,
- nekryté kolejové lože (otevřené kolejové lože).

Konstrukce tramvajové tratě, dnes zpravidla pojížděné i všemi druhy nekolejové dopravy (v ČR je asi 60% délky tramvajových tratí uloženo v úrovni vozovky městské komunikace), může mít různou konstrukci podkladu a krytu.

Pro návrh konstrukce tramvajové trati se užívají vzorové listy. Konstrukce tramvajové trati je dána kombinací zvoleného kolejového svršku, podkladu a krytu.

6.3.1 Tramvajové tratě na nestmelených podkladech

Výhodou těchto starších typů konstrukce tramvajových tratí, kde kolejnice jsou uloženy na drti, štěrkopísku, strusce, či štěrku je, že jsou rychle realizovatelné.



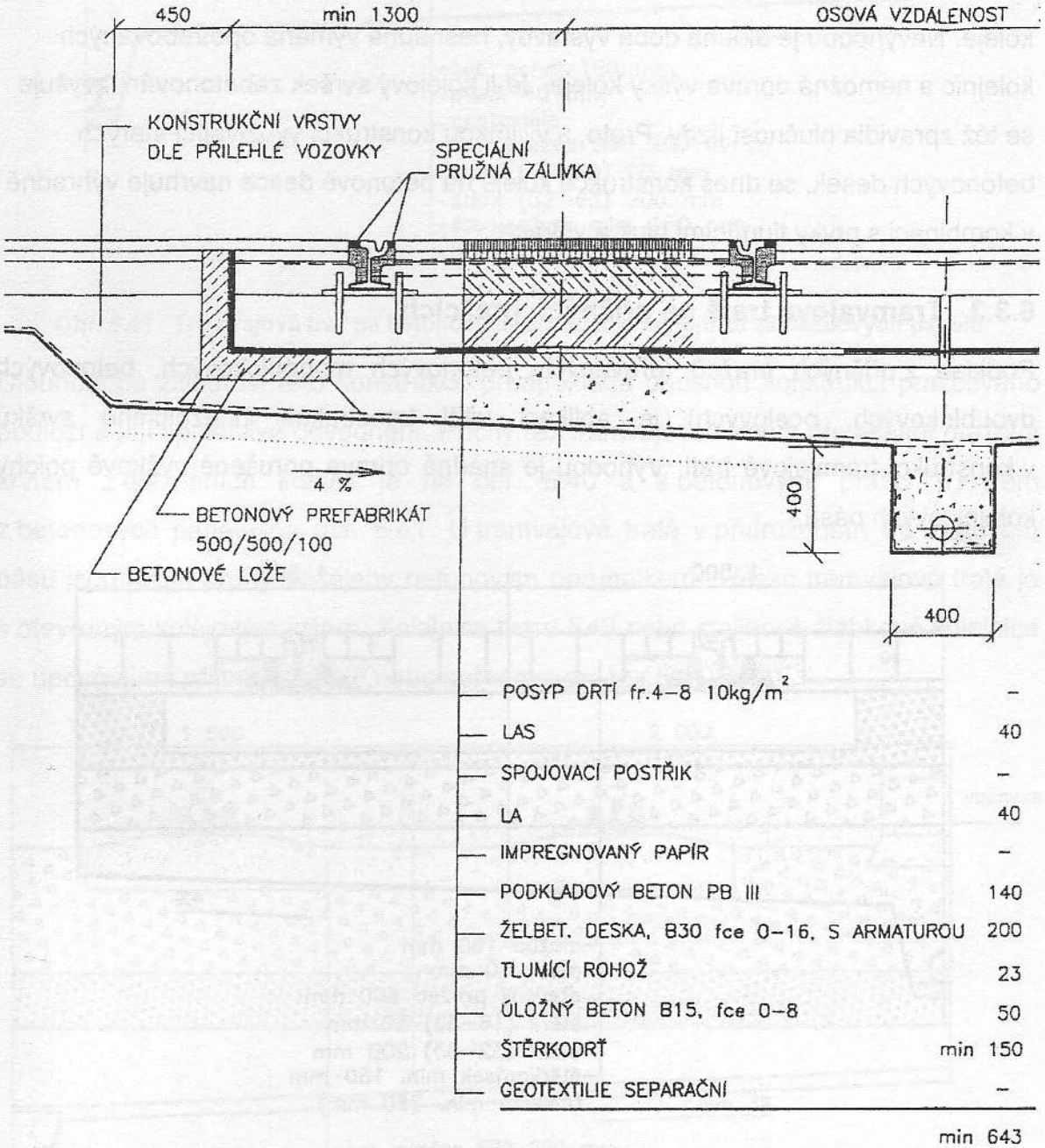
Obr. 6.38 Tramvajová trať na nestmeleném podkladu

Porušenou geometrickou polohu je možno jednoduše opravit (s výjimkou krytů provedených z monolitického betonu nebo asfaltu). Nevýhodou je zpravidla rychlá ztráta požadované geometrické polohy koleje (značně závisí na intenzitě provozu) a

porušení krytu tramvajové trati, zejména v okolí kolejnicových pásů. Rozchod koleje je zajištěn rozchodnicemi. Příčný řez tramvajovou tratí se stojinovými žlábkovými kolejnicemi uloženými na vrstvě štěrku je na obr. 6.38.

6.3.2 Tramvajové tratě na stmelených vrstvách

Výhodou stmelených vrstev tramvajové trati je, že vlastní podklad i kryt tramvajové trati je tvořen zvolenou stmelenou vrstvou (asfaltový beton, beton – obr. 6.39).



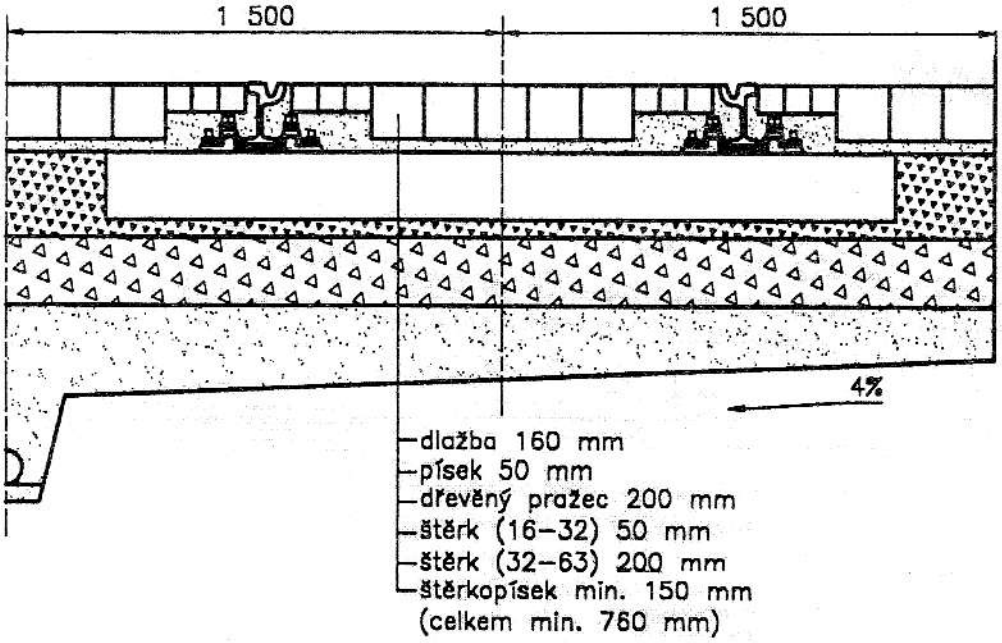
Obr. 6.39 Tramvajová trať na železobetonové monolitické betonové desce

Při zřizování konstrukce tramvajové trati na monolitické desce ze železového betonu zhotovené na místě se tloušťka betonové desky volí podle únosnosti podloží pod deskou. Zpravidla tloušťka desky bývá 0,15 až 0,25 m. Stojinové žlábkové kolejnice

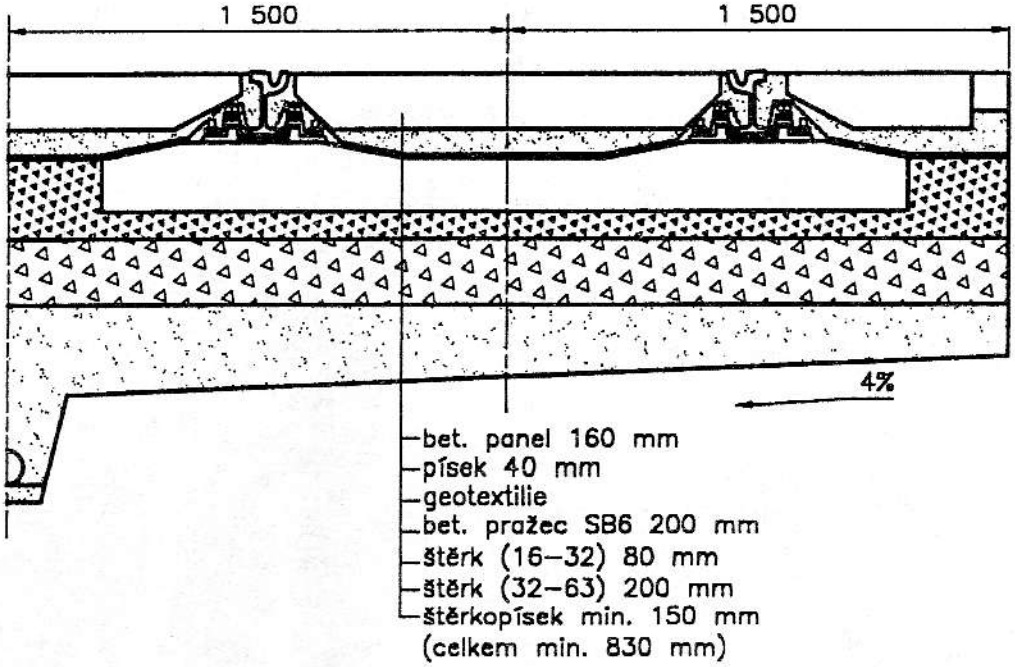
se ukládají na pryžové podložky o tloušťce 15 až 20 mm v místě upevnění kolejnice k betonové desce. Pata stojinové žlábkové kolejnice se upevňuje pomocí patnic a kotevních šroubů zabetonovaných při zřizování betonové desky nebo pomocí žebrových podkladnic upevněných vrtulemi (kotevními šrouby), které jsou s hmoždinkami vlepeny do otvorů vyvrtaných v betonové desce. Výhoda konstrukce tramvajové trati na monolitické desce zhotovené na místě je v tom, že betonová deska zabezpečuje příznivé roznesení zatížení na podloží a trvale přesnou polohu koleje. Nevýhodou je dlouhá doba výstavby, nesnadná výměna opotřebovaných kolejnic a nemožná oprava výšky koleje. Je-li kolejový svršek zabetonován, zvyšuje se též zpravidla hlučnost jízdy. Proto, s výjimkou konstrukcí využívající starých betonových desek, se dnes konstrukce koleje na betonové desce navrhuje výhradně v kombinaci s prvky tlumícími hluk a vibrace.

6.3.3 Tramvajové tratě na příčných pražcích

Podklad z příčných pražců (dřevěných, betonových monoblokových, betonových dvoublokových, ocelových) je aplikací užití konstrukce železničního svršku v konstrukci tramvajové trati. Výhodou je snadná oprava porušené výškové polohy kolejnicových pásů.

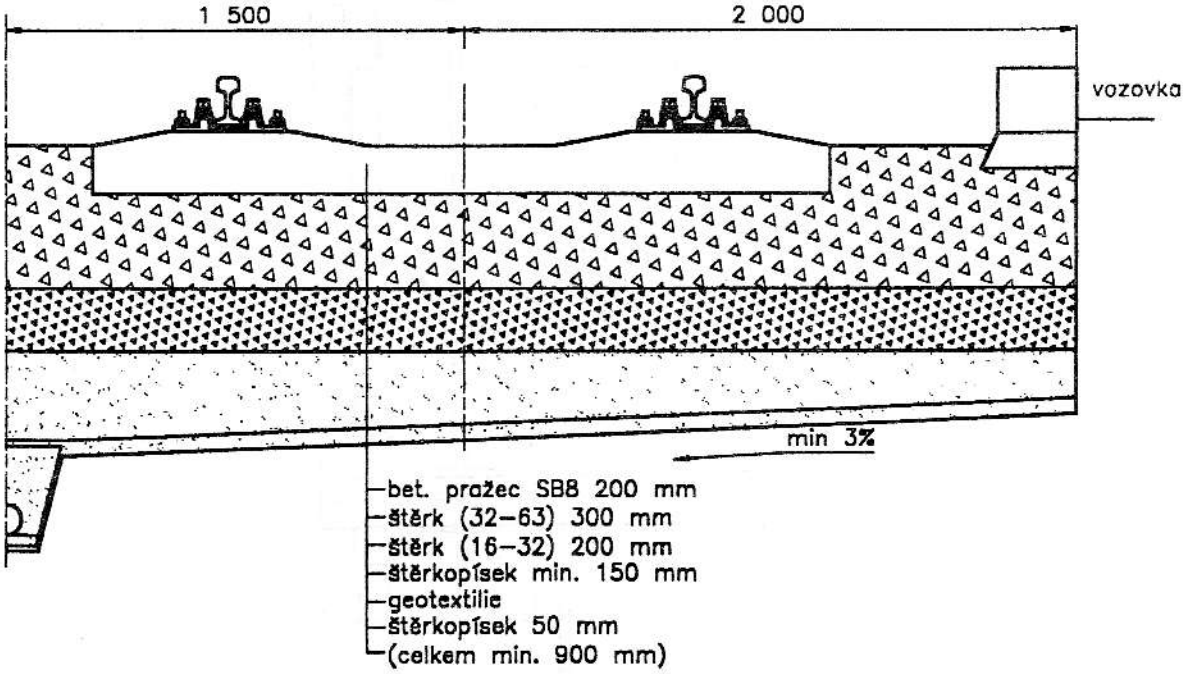


Obr. 6.40 Tramvajová trať na dřevěných pražcích s dlážděným krytem



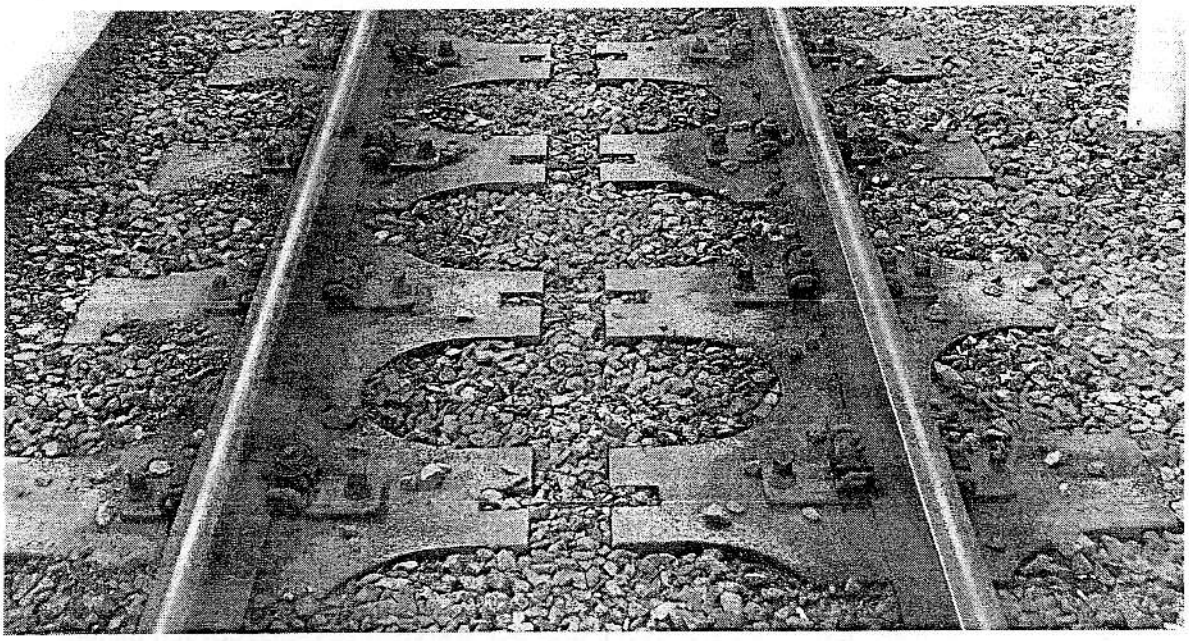
Obr. 6.41 Tramvajová trať na betonových pražcích s krytem ze zádlažbových panelů

Dlouhodobá životnost této konstrukce předpokládá únosnou konstrukci pražcového podloží a její spolehlivé odvodnění. Příčný řez tramvajovou tratí s dřevěnými pražci a krytem z dlažebních kostek je na obr. 6.40 a s betonovými pražci s krytem z betonových panelů na obr. 6.41. U tramvajové tratě v přidruženém tramvajovém pásu jsou jízdní pruhy odděleny betonovým obrubníkem. Těleso tramvajové tratě je s otevřeným kolejovým ložem. Kolejnice tvaru S49 nebo stojinové žlábkové kolejnice se upevňují na příčné dřevěné nebo betonové pražce (obr. 6.42).



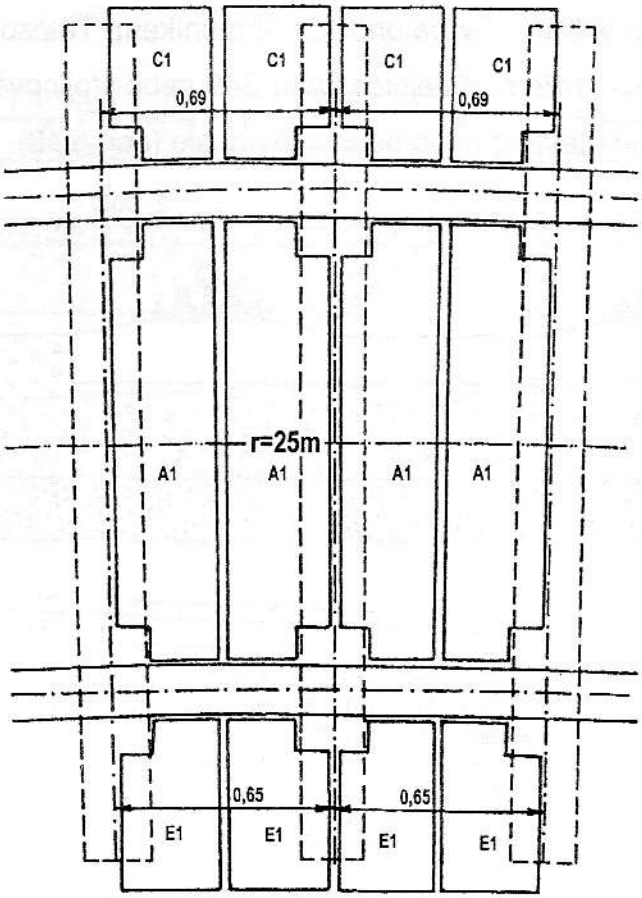
Obr. 6.42 Tramvajová trať na přidruženém tramvajovém pásu s otevřeným svrškem

Samotné betonové pražce mohou někdy vlivem maximálního přizpůsobování co největší funkčnosti nabývat až bizarních tvarů (obr. 6.43).



Obr. 6.43 Blokový konzolový dvojpražec pro rozchod 1000 mm (Cottbus)

Na tramvajových tratích, umístěných v jízdním pruhu, se užívá kryt tvořený výplňovými prefabrikovanými betonovými deskami a vrstvou litého asfaltu (obr. 6.44). Výplňové betonové desky jsou kladeny na vrstvu cementové malty.

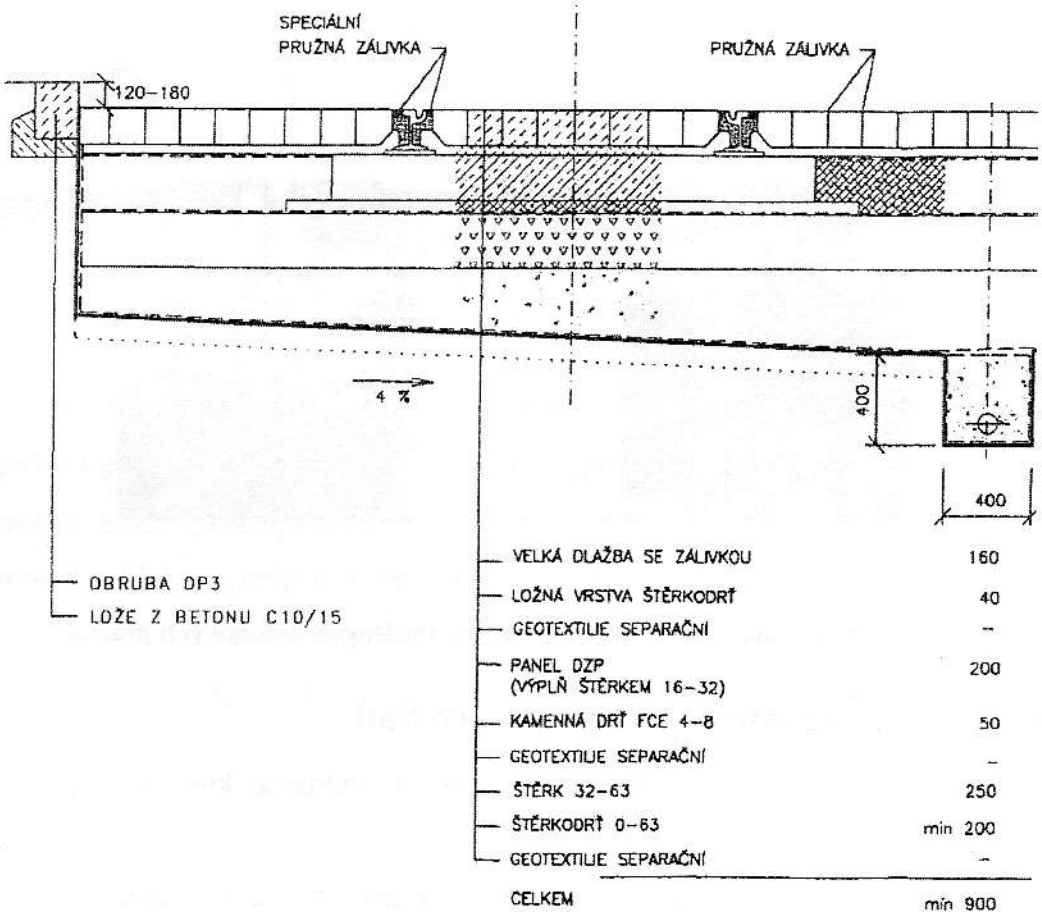


Obr. 6.44 Schéma kladení výplňových betonových desek v oblouku

Protože v místě styku krytu tramvajové trati s podélnými kolejnicovými pásy dochází nejčastěji k jeho porušení, vyplňuje se prostor pod hlavou kolejnice hubeným betonem. Rovněž je možno užít betonové tvárnice, tzv. bokovnice. V zahraničí (a od 90. let minulého století i u nás) se také k oddělení kolejnice od krytu užívají pryžové profily. Vlastní styk kolejnice s krytem nebo prostor nad bokovnicí se vyplňuje pružnou asfaltovou zálivkou.

6.3.4 Tramvajové tratě na prefabrikovaných betonových deskách

Železobetonové panely VUIS (DZP) se kladou na vrstvu štěrku obaleného geotextilií nebo na vrstvu asfaltového betonu. Příčný řez konstrukcí tramvajové trati na panelech VUIS je na obr. 6.19 a 6.45. Kryt tramvajové trati je možno provést z betonových panelů, z asfaltového betonu nebo z dlažebních kostek.

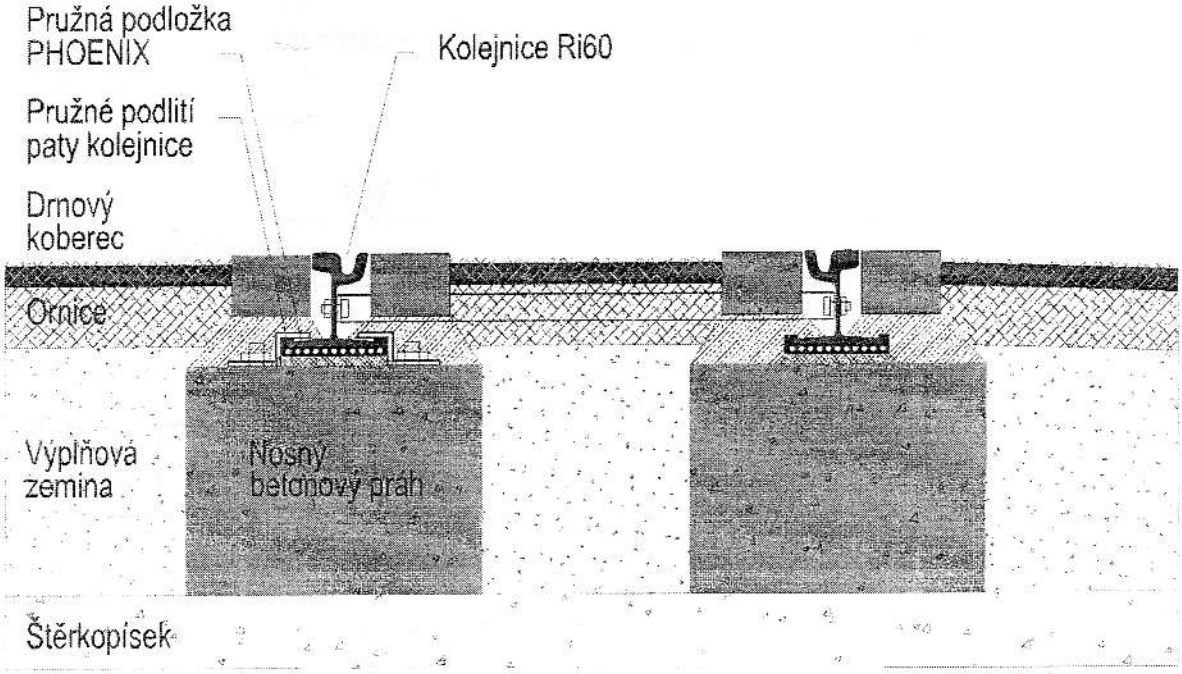


Obr. 6.45 Tramvajová trať na panelech VUIS (DZP)

Výhodou konstrukce tramvajové trati na panelech VUIS je příznivé roznesení zatížení na podloží, jednoduchá montáž koleje, možnost odvodnění podloží a upevnění kolejové konstrukce na betonovou desku v libovolné poloze. Nevýhodou je nutnost přesného výškového urovnání podloží a nemožnost opravy výškové polohy koleje. Složité je rovněž řešení prostupů kontrolních šachet inženýrských sítí.

6.3.5 Tramvajové tratě na podélných betonových prazích

V Rakousku a v Německu se užívají jako podklad pod kolejnice podélné betonové prahy s příčným řezem cca 0,7 x 0,3 m, které jsou zřizovány na místě (obr. 6.46). Kolejnice jsou k betonovým prahům upevněny pomocí patnic a kotevních šroubů (obdoba upevnění k monolitické betonové desce). Oproti konstrukci s monolitickou deskou je výhodou podélných prahů možnost vyplnění prostoru mezi nimi dostatečnou vrstvou ornice pro založení trvanlivého trávníku. Pata kolejnice je uložena na pryžových podložkách nebo na souvislé vrstvě z modifikované živičné zálivky (ev. plastmalty). Nevýhodou konstrukce je nemožnost opravy výškové polohy koleje a složitá demontáž koleje v případě změny její polohy.

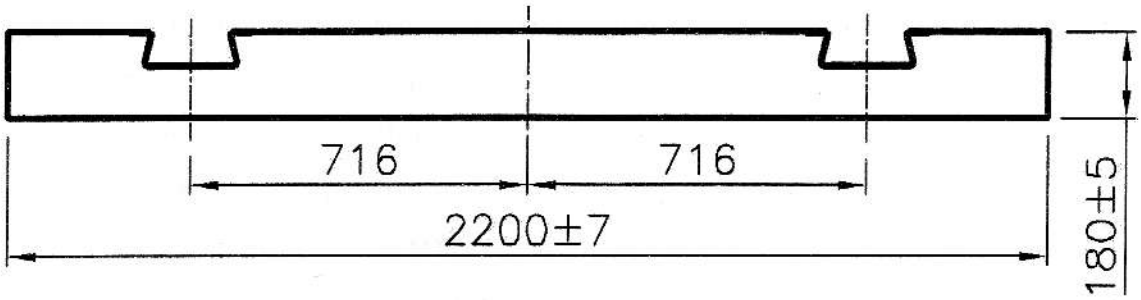


Obr. 6.46 Zatravněná tramvajová trať na podélných betonových prazích

6.3.6 Panelové konstrukce tramvajových tratí

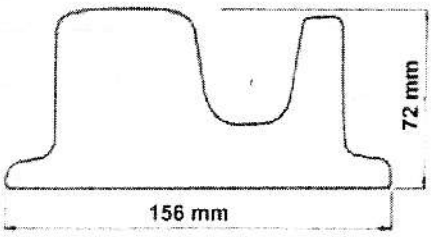
Ke zřízení tramvajové trati se užívají též panelové konstrukce, které současně tvoří podklad i kryt tramvajové trati.

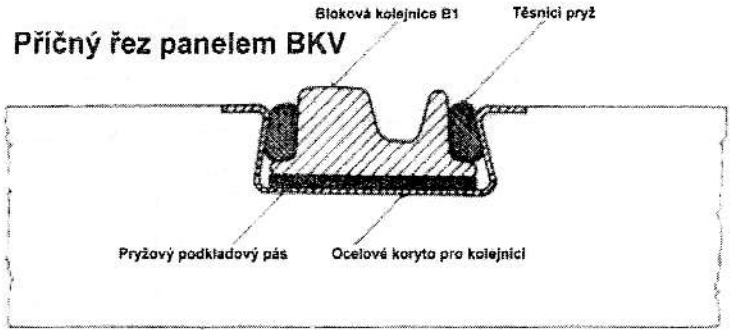
V roce 1971 byla vyvinuta v Maďarsku konstrukce tramvajové trati na velkoplošných panelech systému BKV s cílem umožnit rychlou rekonstrukci tramvajové trati na stávajícím podloží (často se jednalo o rekonstrukci tratě na betonové desce, jejíž horní část byla poškozena). Základní délky panelů BKV jsou 6 m; 3 m; 1,4 m a 0,7 m. Na přání odběratele je možno dodat i panely v jiných délkách nebo lichoběžníkové, nebo panely s otvorem pro postup šachty inženýrských sítí. Panely se užívají pro přímé úseky tramvajových tratí i pro oblouky do poloměru 20 m.



Obr. 6.47 Příčný řez panelem BKV

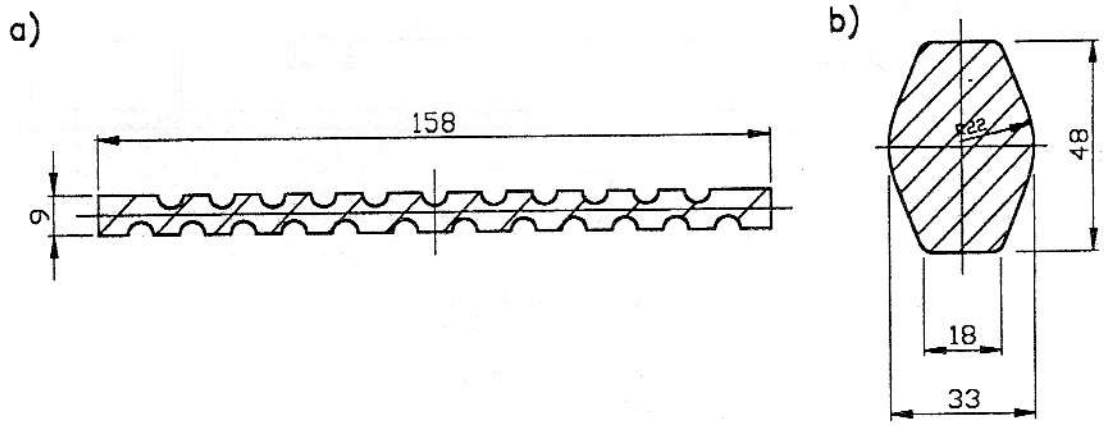
Příčný řez u všech panelů je stejný: šířka 2,2 m a výška 0,18 m (obr. 6.47). Panely o délkách 6 m a 3 m jsou z předpjatého betonu. Ostatní panely i panely mezikolejové jsou ze železového betonu. Pro panely BKV byla navržena žlábková bloková kolejnice (obr. 6.48), která se vkládá do žlabů z ocelového plechu uložených v panelech (obr. 6.49).





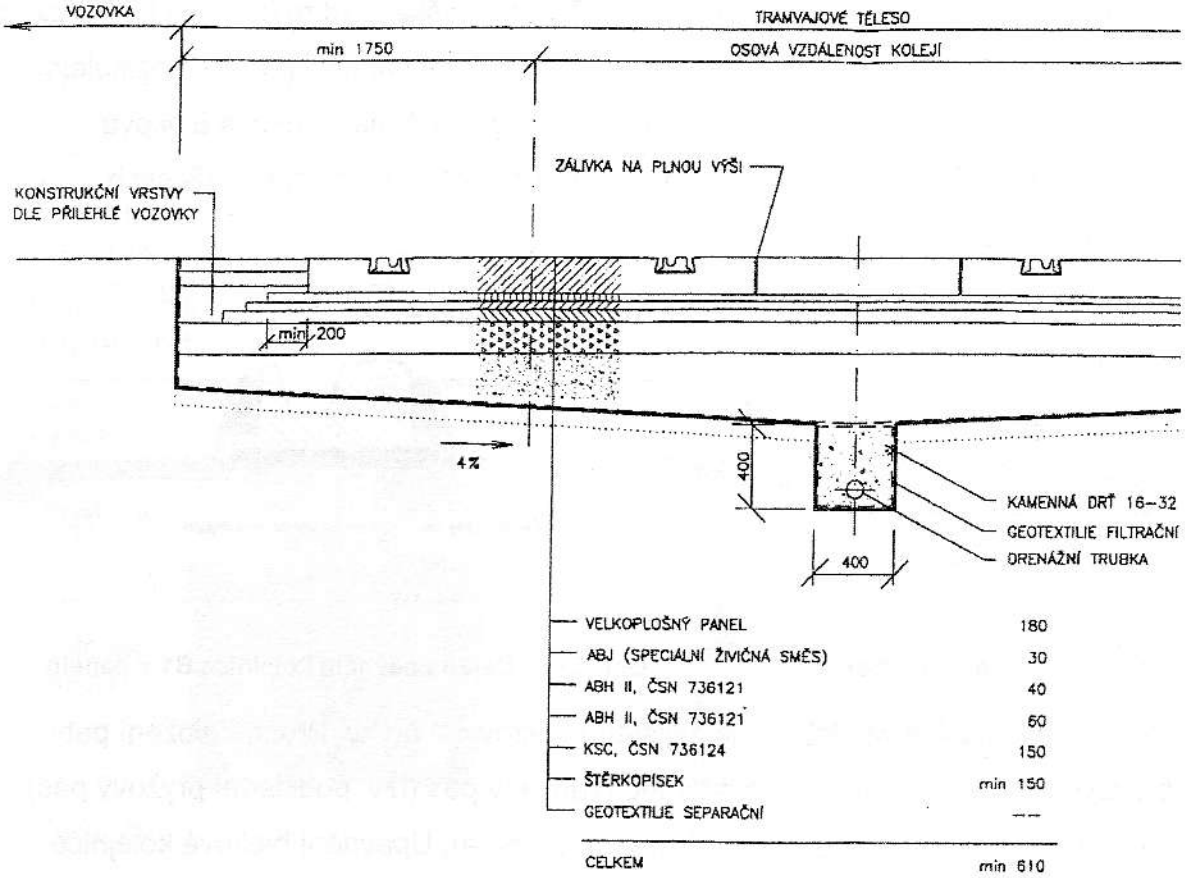
Obr. 6.48 bloková kolejnice B1 **Obr. 6.49 Detail upevnění kolejnice B1 v panelu**

Upevnění kolejnice ve žlabech je zajištěno pryžovými prvky. Pružné uložení paty blokové kolejnice zajišťuje oboustranně rýhovaný pás (tzv. podkladní pryžový pás), na kterém je bloková kolejnice uložena (obr. 6.50 a). Upevnění blokové kolejnice v rybině betonového panelu je zajištěno pryžovými pásy eliptického průřezu (tzv. boční upevňovací pryž – obr. 6.50 b). Spáry mezi panely se utěsňují asfaltovou zálivkou na plnou výšku.

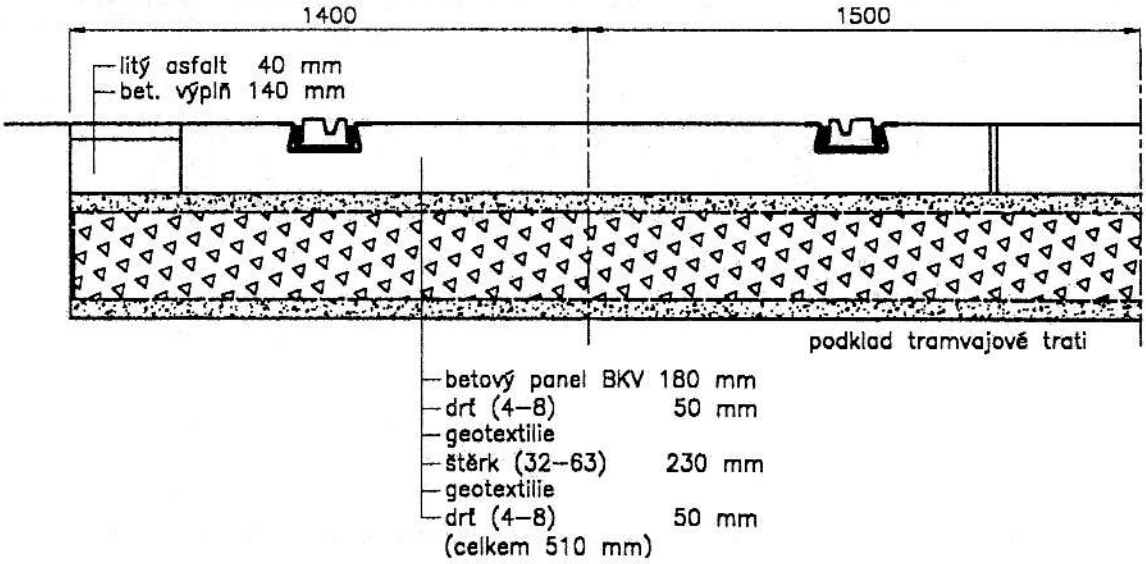


Obr. 6.50 Pryžové prvky, sloužící k upevnění blokové kolejnice do panelu BKV - a) podkladní pryžový pás, b) boční upevňovací pryž

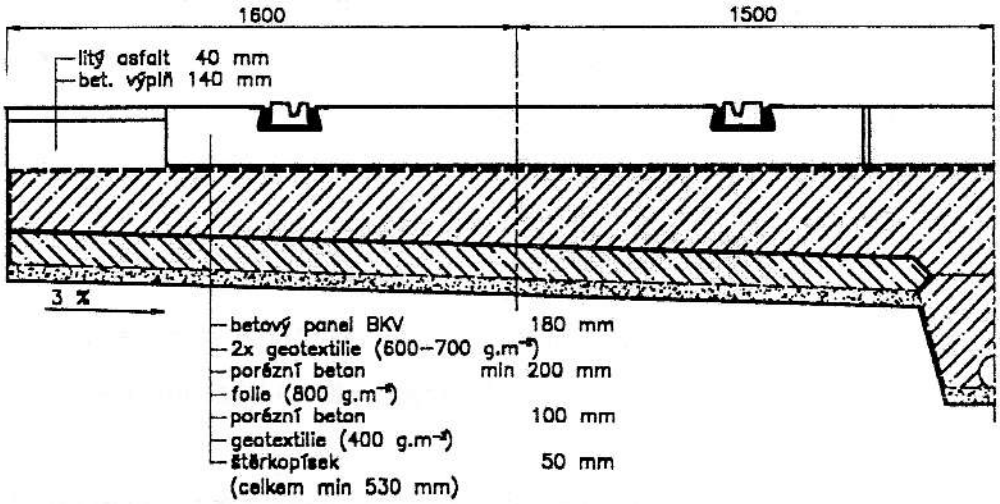
Panely BKV vytvářejí nosný prvek pro kolejová i nekolejová vozidla. Ukládají se většinou na vrstvy asfaltového betonu (obr. 6.51), na štěrkový polštář obalený geotextilií (obr. 6.52) nebo vrstvy porézního betonu (obr. 6.53). Konstrukce tramvajové trati na panelech BKV byla u nás poprvé zřízena v roce 1977 v Praze. Významný podíl tramvajových tratí na panelech BKV v ČR má Plzeň, Liberec a Praha. V Praze je na panelech BKV zřízeno 190 km tramvajových tratí (jednokolejně; tj. 68% celkové délky tramvajových tratí).



Obr. 6.51 Tramvajová trať na panelech BKV uložených na živičných vrstvách



Obr. 6.52 Tramvajová trať na panelech BKV uložených na štěrku a geotextilii



Obr. 6.53 Tramvajová trať na panelech BKV uložených na vrstvě porézního betonu

Výhodou konstrukce tramvajové trati na panelech BKV je příznivé roznesení zatížení na podloží, krátká doba výstavby, vysoký stupeň mechanizace prací, jednoduchá montáž koleje, pružné uložení kolejnicových pásů a snadná výměna ojetých kolejnic. Nevýhodou je nutnost dodržení přesné výšky podloží, nesnadná výměna poškozených desek, složitá oprava výškové polohy koleje a při užití podloží z vrstev asfaltového betohu nedořešené odvodnění podloží. Panelizace tramvajových tratí zlepšuje technický stav městských komunikací ve srovnání s dříve užívanými konstrukcemi a snižuje též nároky na údržbu tramvajových tratí.

6.3.7 Tramvajové tratě s protihlukovými a protivibračními úpravami

K omezení negativních účinků hluku a vibrací z tramvajového provozu se konstrukce tramvajové trati upravuje vkládáním tlumicích prvků. Takovou specielní úpravou bývá:

- tlumicí bokovnice,
- tlumicí rohože pod kolejovým ložem,
- tlumicí rohože na povrchu kolejového lože (absorbční desky),
- zatravněný kolejový svršek.

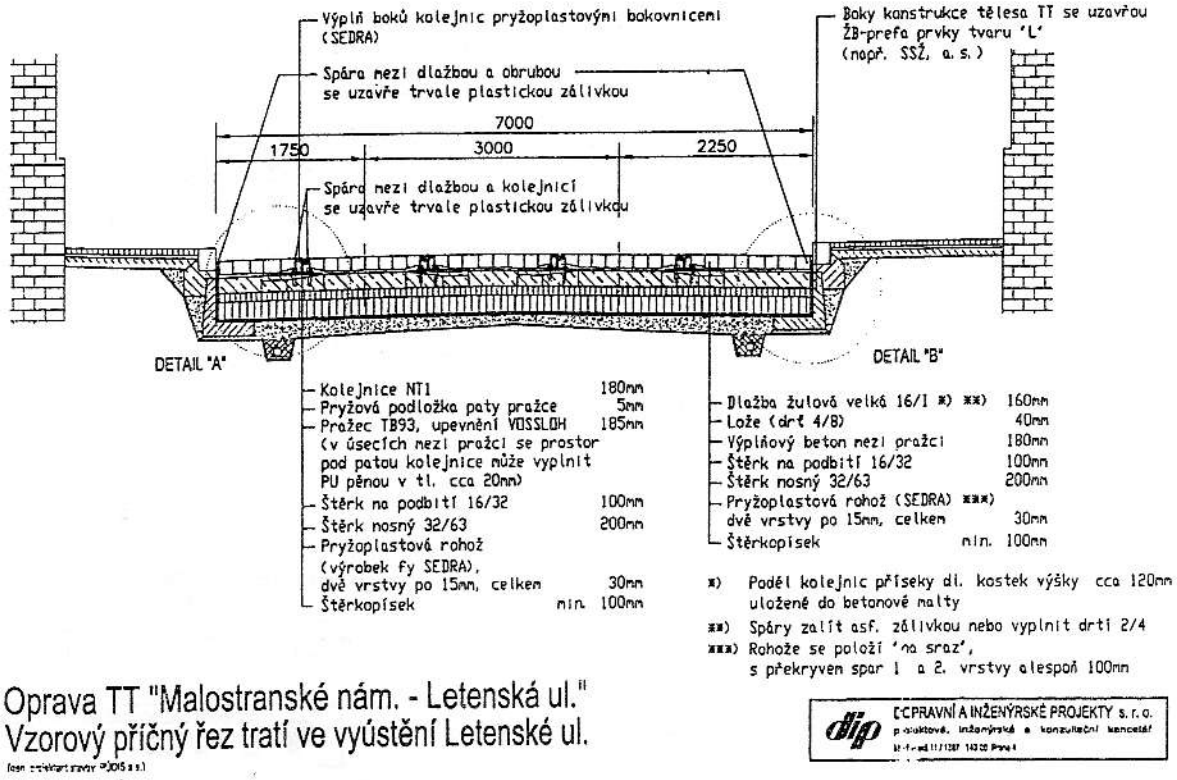
Jednotlivé tlumicí prvky lze navzájem kombinovat. Použitím tlumicích prvků v konstrukci koleje lze dosáhnout snížení hlučnosti až o 10 dB (A).

Tlumicí bokovnice se ke stojině kolejnice připevňují lepením, pomocí šroubů nebo pružných spon nebo je lze připevnit mechanicky zatlačením bokovnice mezi stojinu kolejnice a upevňovadla. Pokud se v konstrukci tramvajové tratě použijí rozchodnice, je nutno překrýt tlumicím materiálem i rozchodnice. Tlumicí bokovnice se vyrábějí z vulkanizovaného syntetického kaučuku, z drcené pryže apod.

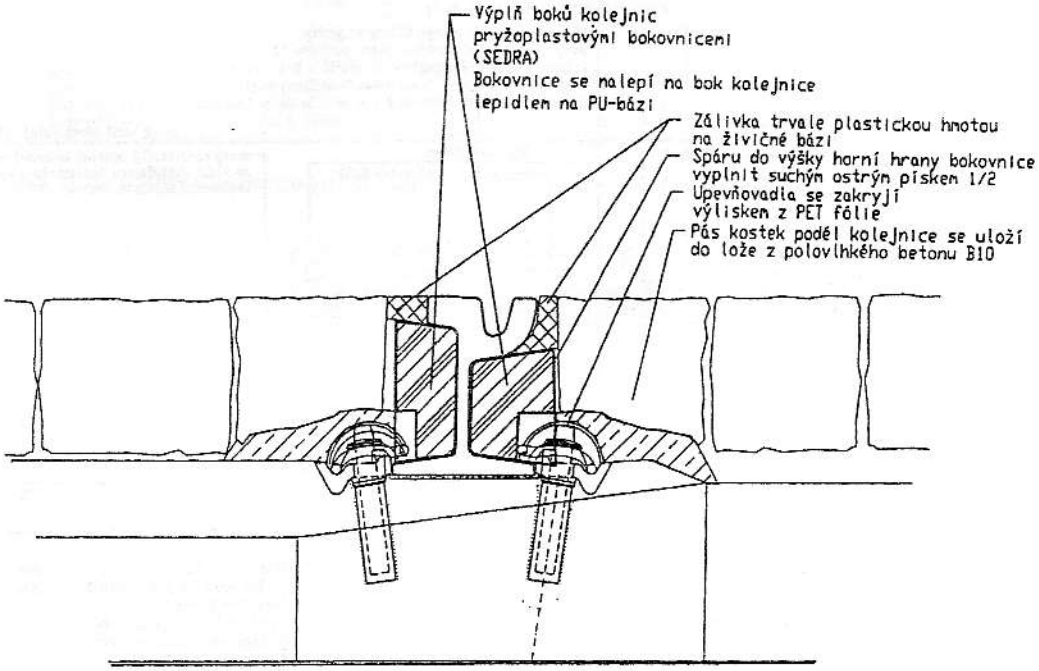
Protihlukové a protivibrační matrace (rohože) se vkládají pod kolejové lože na vrstvu štěrkopísku nebo písku. Tramvajovou trať, umístěnou v úrovni vozovky nebo na zvýšeném tramvajovém pásu, je třeba oddělit od jízdních pruhů též svislými rohožemi, připevněnými k betonovému prefabrikátu. Tím se dosáhne úplného oddělení konstrukce tramvajové tratě od okolí. Tlumicí rohože se většinou dodávají v rolích o délce do 25 m nebo v deskách v tloušťce 11 mm. Spojování se provádí suchými spoji nebo lepením. Jako materiál pro výrobu rohoží se používá vulkanizovaného syntetického kaučuku nebo materiálů na bázi polyuretanu.

Jinou možností ochrany před negativními účinky tramvajové dopravy je položení tlumicích rohoží (absorbčních desek) na povrch kolejového lože. Rohože se připevňují hřeby zapuštěnými do kolejového lože. K výrobě rohoží se užívá drcená pryž, vulkanizovaný syntetický kaučuk apod. Rohože na povrchu kolejového lože se mohou ukládat pouze na tramvajovou trať s otevřeným kolejovým ložem a jsou vystaveny povětrnostním vlivům a slunečnímu záření. Výhodou je naopak možnost dodatečného vložení rohoží do koleje bez zásahu do její konstrukce.
V roce 1995 byla realizována rekonstrukce tramvajové tratě, umístěné ve vozovce městské komunikace v centru Prahy v úseku Malostranské nám. – Letenská ul. Základem konstrukce koleje jsou žlábkové kolejnice na betonových pražcích ve štěrkovém loži s pružným upevněním Vossloh. Kolejnice jsou opatřeny pryžoplastovými bokovnicemi systému SEDRA a štěrkové lože je uloženo na pryžoplastových rohožích SEDRA tl. 30 mm. Štěrkové lože je od konstrukce vozovky odděleno betonovými prefabrikáty tvaru písemene L, rovněž potaženými antivibrační rohoží (ochrana proti vibracím). Na obr. 6.54 je vzorový příčný řez tramvajovou tratí s protihlukovou a protivibrační úpravou. Detail upevnění kolejnice je na obr. 6.55.

V roce 1994 byla provedena rekonstrukce a zdvojkolejnění tramvajové tratě v Cottbusu (SRN) v úseku Berliner Strasse – Altmarkt – Sandower Hauptstrasse. Vzhledem k tomu, že Trať prochází zčásti památkově chráněnou zónou, byly na provedení rekonstrukce kladeny mimořádné nároky. V prvním úseku je trať vedena v úrovni vozovky a ve druhém úseku samostatně, souběžně s městskou komunikací. Na obr. 6.56 je příčný řez tramvajovou tratí v prvním úseku, kde je kolej tvořena stojinovými žlábkovými kolejnicemi tvaru Ri60, spojenými rozchodnicemi. Kolejnice jsou uloženy v pryžoplastových prvcích systému PHOENIX (protihlukové a protivibrační uložení) na betonové desce tl. 220 mm.

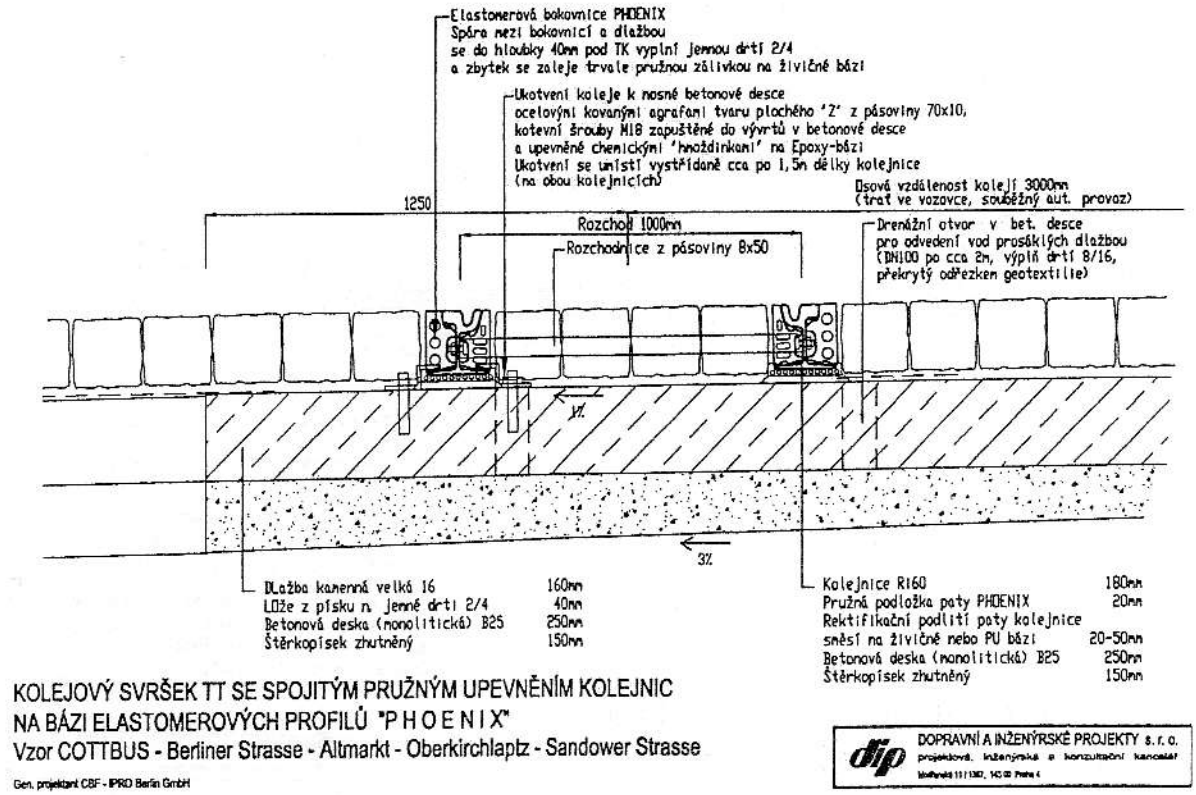


Obr. 6.54 Vzorový příčný řez tramvajovou tratí v Letenské ul.

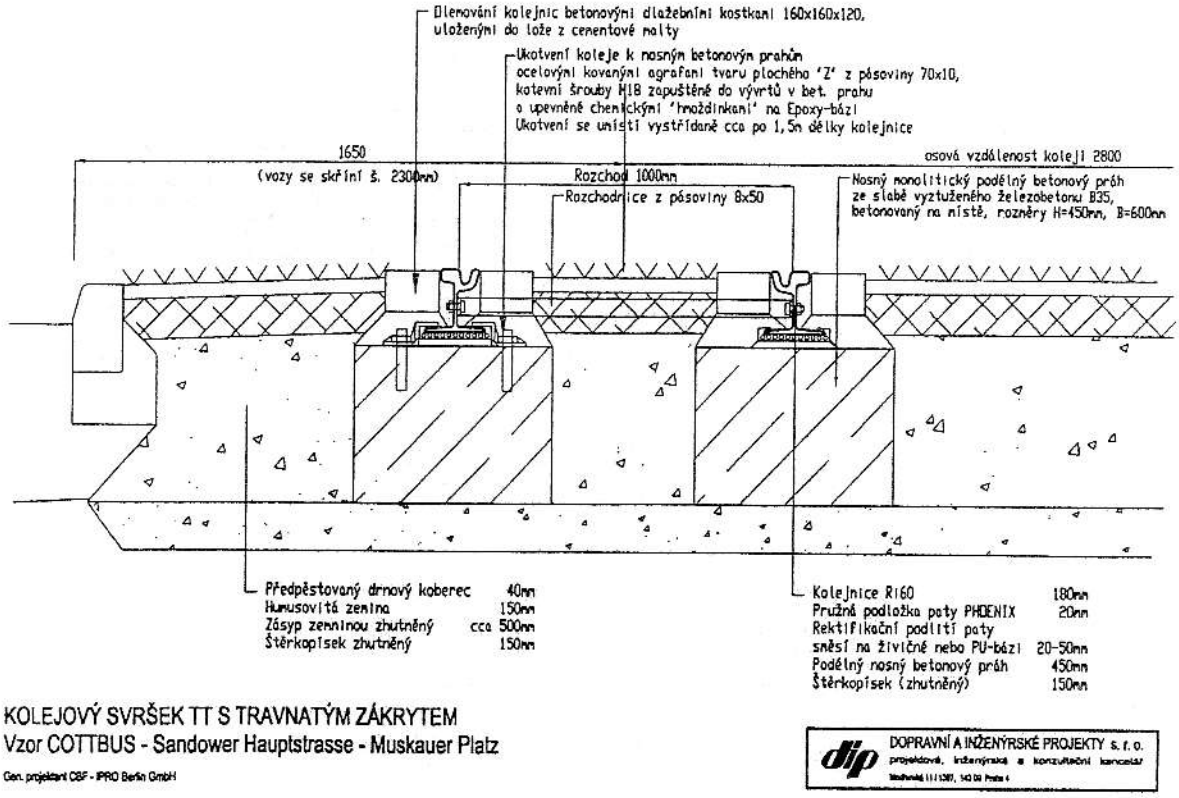


Obr. 6.55 Detail upevnění kolejnice s bokovnicemi SEDRA

V druhém úseku jsou žlábkové kolejnice, spojené rozchodnicemi, uloženy na podélných betonových prazích o rozměrech 600 x 400 mm. Z boku jsou kolejnice lemovány řadou dlažebních kostek, uložených do cementové malty. Zbývající prostor je vyplněn humusem a opatřen vegetačním krytem (obr. 6.57). Zatravněný kolejový svršek působí lépe esteticky (obr.6.58), proto jej lze použít i v centru města,

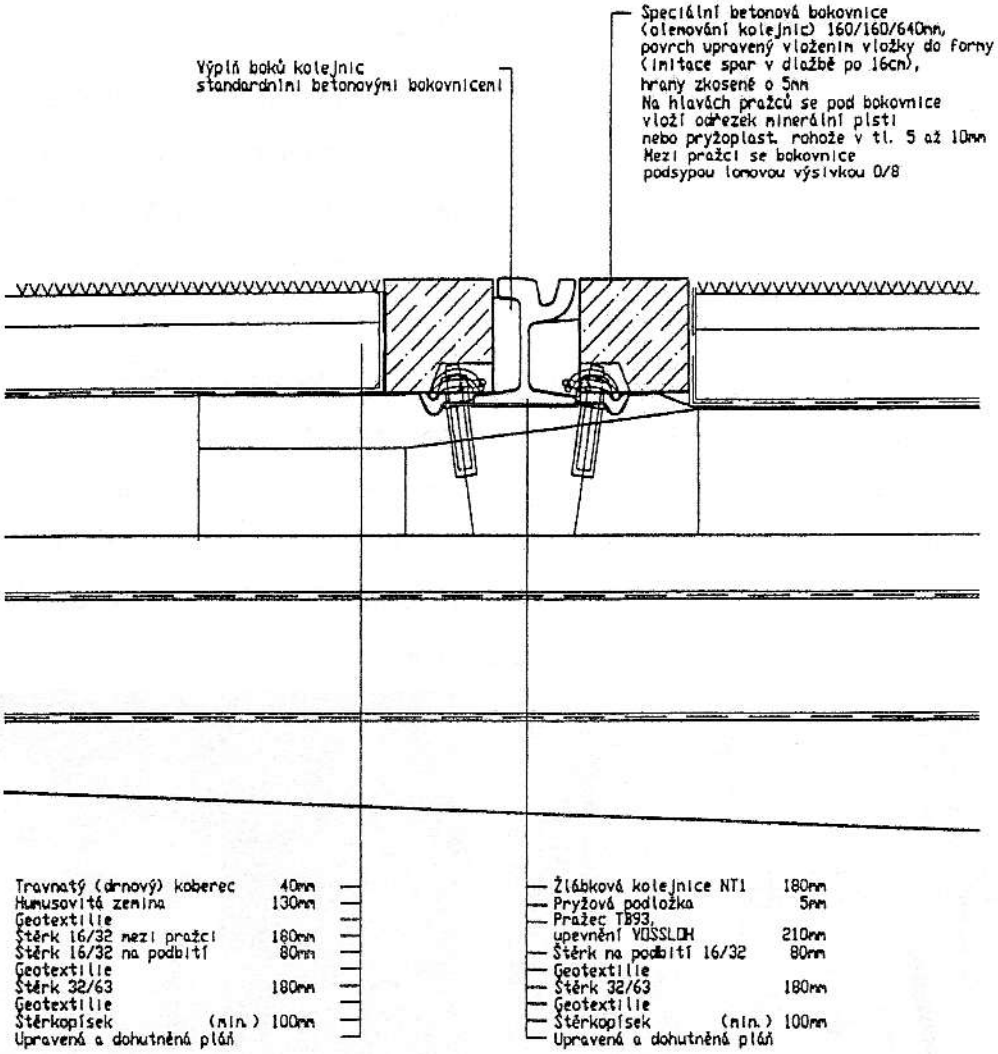


Obr. 6.56 Vzorový příčný řez tramvajovou tratí v Berliner Strasse (Cottbus)

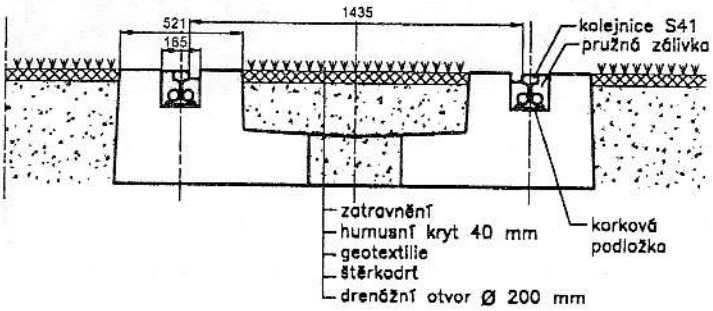


Obr. 6.57 Vzorový příčný řez tramvajovou tratí v Sandower Hauptstrasse (Cottbus)

vyžaduje však častou údržbu (kropení, stříhání). Kromě podélných betonových prahů nebo konstrukce koleje na příčných pražcích lze zatravněný svršek navrhnout i v konstrukci tramvajové koleje na monolitické betonové desce (obr. 6.59).



Obr. 6.58 Detail olemování kolejnice betonovými prefabrikáty pro průjezd vozidel IZS

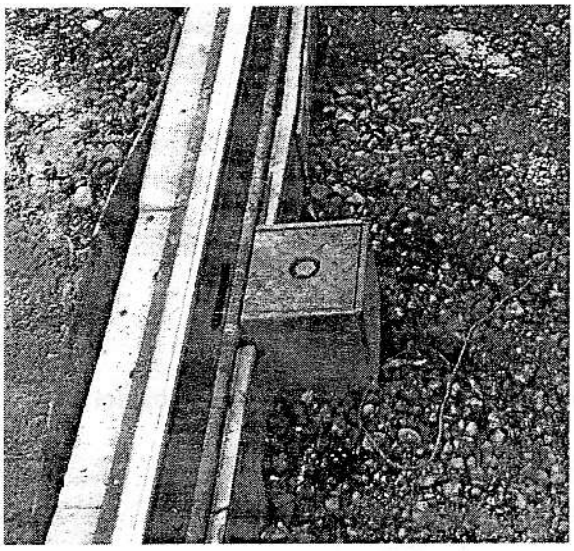


Obr. 6.59 Tramvajová trať na betonové desce se zatravněným svrškem

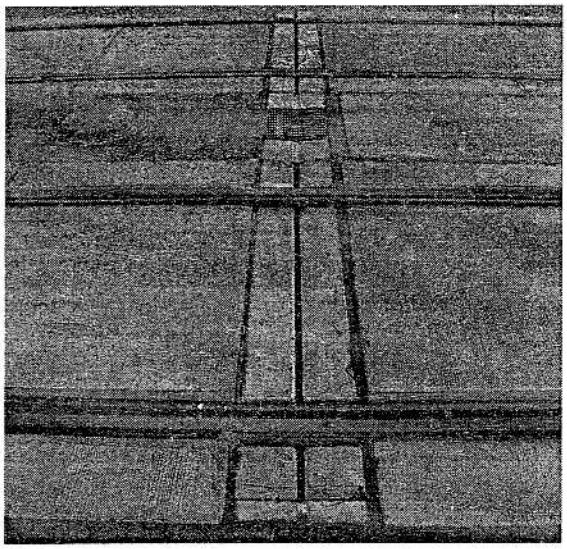
Pro omezení šíření hluku lze užít různé typy protihlukových objektů jako jsou: protihlukové zídky, protihlukové stěny, protihlukové valy a zdi, pásy protihlukové zeleně, případně kombinace těchto objektů. Tyto objekty mívají obvykle velké prostorové nároky. V centrech měst lze zpravidla použít pouze pásy protihlukové zeleně a nízké protihlukové zídky. Nižší hlučnost vykazuje rovněž tramvajová trať s otevřeným kolejovým ložem nebo se zatravněným svrškem, kde niveleta koleje je ve stejné nebo nižší úrovni než niveleta vozovky a trať je od vozovky oddělena vysokým obrubníkem.

6.4 Odvodnění tramvajových tratí

Konstrukce krytu tramvajové tratě musí zamezit přímému pronikání srážkové vody do podkladu. Proto se kryt provádí s příčným nebo podélným sklonem větším, než 0,5 %. Žlábky stojinových žlábkových kolejnic se odvodňují otvory ve dně žlábku do odvodňovacích kolejových skříněk (obr. 6.60), případně do kolejových odvodňovačů. Kolejové odvodňovače odvodňují zároveň i povrch krytu tramvajové tratě. Používají se buď ocelové, kryté mříží (obr. 6.62), nebo do koleje z panelů BKV betonové štěrbinové (obr. 6.61). Otvory ve dnech žlábků kolejnic se zřizují zpravidla o šířce 20 mm a délce 200 mm v nejnižším místě traťového úseku a dále u všech výhybkových skříní. Největší vzdálenost odvodňovacích otvorů ve dnech žlábků je 200 m. V případě potřeby (např. pokud by voda přitékala do prostoru křižovatky k výměnám) lze umístit i dva odvodňovače těsně za sebe.

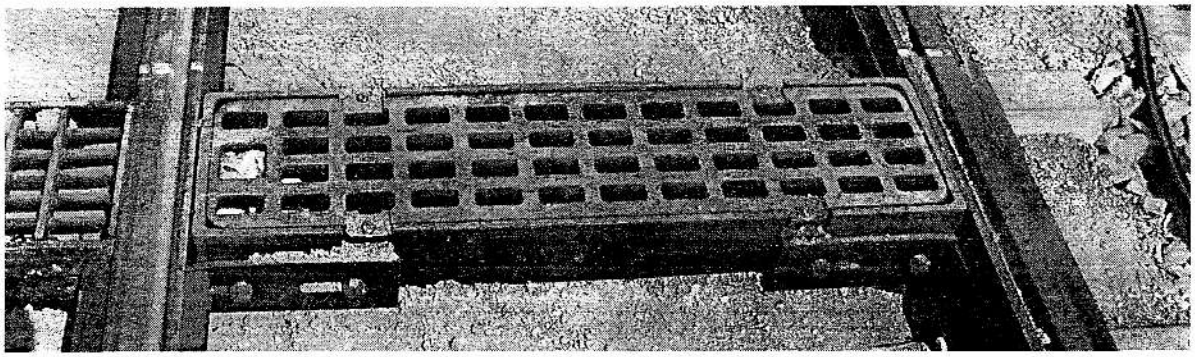


Obr. 6.60 Odvodňovací skříňka

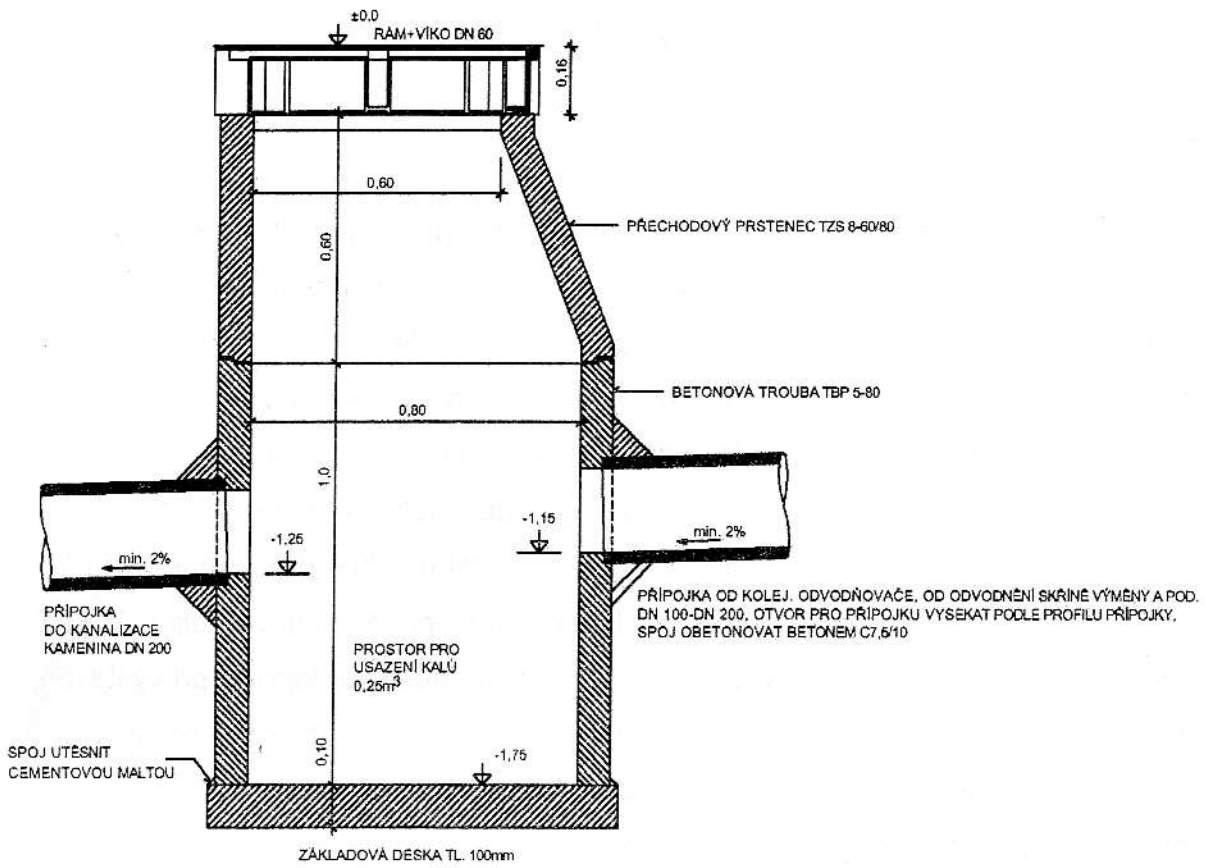


Obr. 6.61 Kolejový odvodňovač štěrbinový

Z kolejových odvodňovačů (odvodňovacích skříněk) je voda odváděna plastovým nebo kameninovým potrubím o minimálním spádu 2,0 % do usazovacích kalových jímek (tzv. „bahníků" – obr. 6.63), ze kterých odtéká do dešťové kanalizace.



Obr. 6.62 Kolejový odvodňovač ocelový



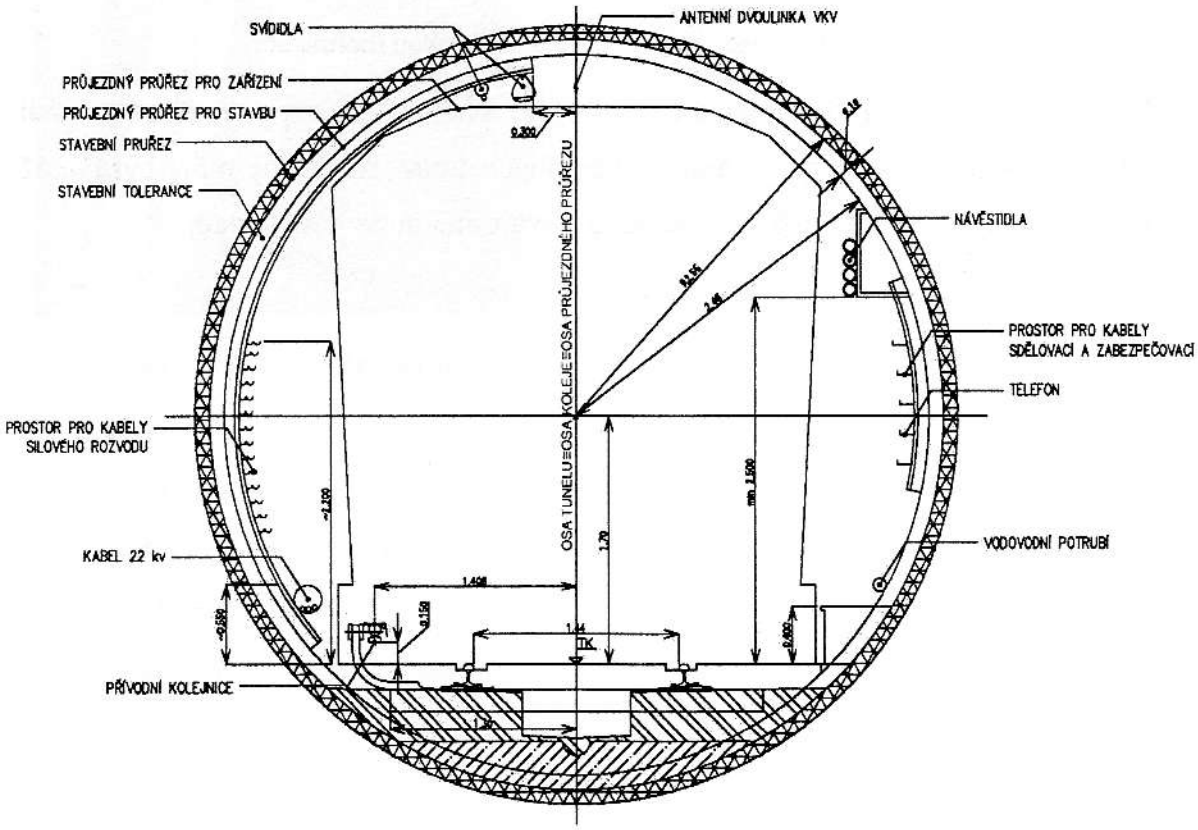
Obr. 6.63 Příčný řez usazovací kalovou jímkou (bahníkem)

Srážková voda prosáklá do podkladu kolejového svršku tramvajové trati se odvádí pomocí příčného sklonu zemní pláně do podélných trativodů. Ty by měly být taktéž zaústěny do bahníků a teprve z nich by voda měla odtékat do kanalizace.

7 Konstrukce koleje metra

7.1 Tratě metra

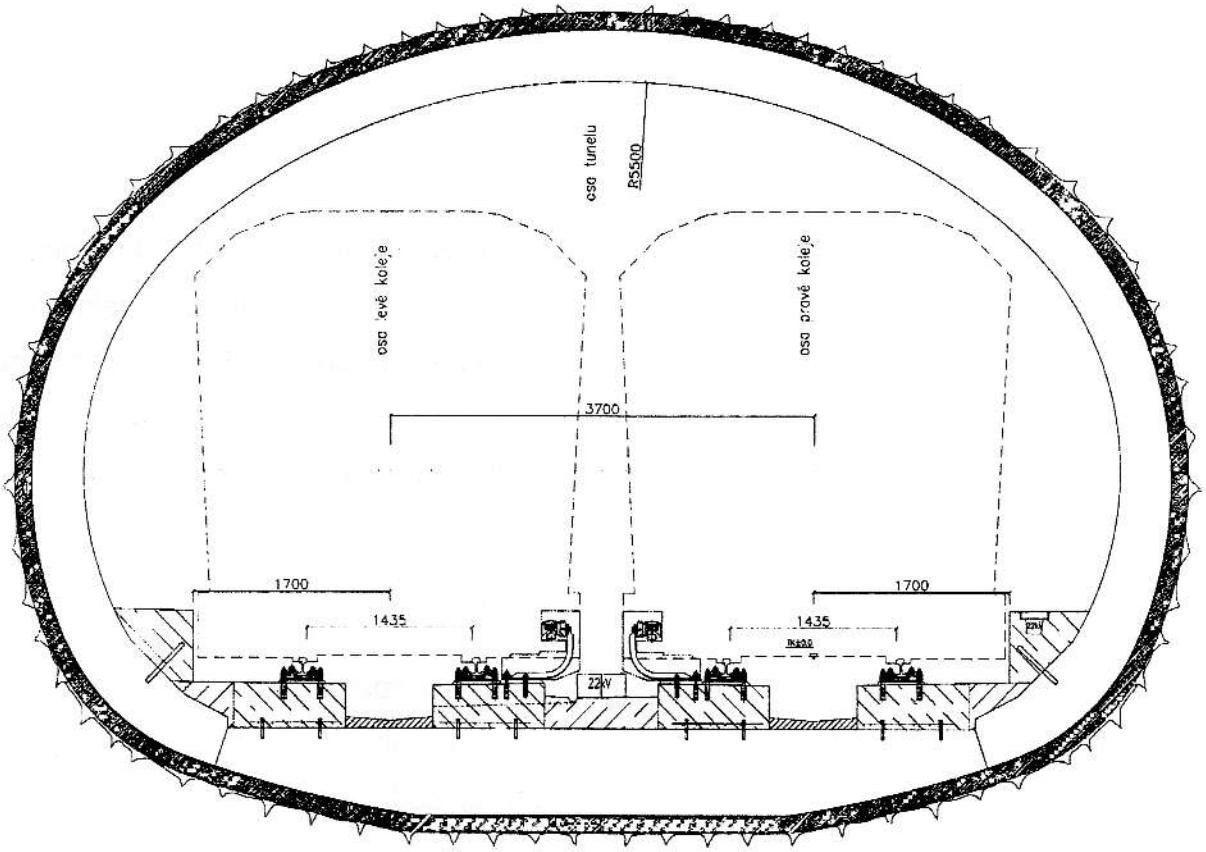
Tratě metra rozlišujeme podzemní a povrchové. Podzemní tratě metra s hlubokým založením se budují v ražených tunelech nebo v otevřené stavební jámě (tratě hloubené). Povrchové tratě metra se zřizují na vlastním tělese tvořeném zemním tělesem nebo umělými stavbami. Budování tratí metra hluboko pod povrchem terénu je stavebně velmi náročné, výhodné však pro obyvatele měst, neboť jen málo narušuje stávající městskou zástavbu (pouze ve stanicích a v místech větracích šachet). U podzemních tratí metra, uložených ve větší hloubce pod terénem, musí však cestující překonat větší výškový rozdíl mezi nástupištěm a úrovní ulice. U tratí metra mělce založených je velkou nevýhodou rušení městské dopravy při výstavbě, obtížné překládání vedení inženýrských sítí (elektrické vedení, plynové potrubí, dálkové topení, vodovody, kanalizační stoky, městské kolektory), zpevňování základů budov, případně jejich podchycování, apod.



Obr. 7.1 Příčný řez raženým jednokolejným traťovým tunelem pražského metra

Vlastní stavba traťových tunelů v otevřené jámě je však snazší, levnější a rychlejší a po dokončení překonávají cestující pouze malé výškové rozdíly mezi úrovní

nástupiště a ulice. Tratě metra se budují dvoukolejné (obr. 7.2) ve společném tunelu nebo každá kolej v samostatném tunelu (obr. 7.1). U pražského metra se zatím budovaly převážně jednokolejné ražené tunely s ostěním z prefabrikovaných betonových nebo litinových tubinků, železobetonových dílců nebo z lisovaného betonu. Ostění z tubinků vytváří u všech typů prstenec o tloušťce cca 1 m. Při užití litinových tubinků se prstenec skládá z deseti dílců, při užití betonových tubinků se prstenec skládá ze šesti nebo z osmi dílců.



Obr. 7.2 Příčný řez dvojkolejným traťovým tunelem pražského metra, budovaným NRTM

V souvislosti s celospolečenskými změnami v Československu po roce 1989 došlo i k uvolnění obchodních a hospodářských vazeb. Důsledkem bylo zlepšení dostupnosti stavebních technologií a strojů, což mělo za následek mj. i odklon od do té doby výhradně používané technologie ražby jednokolejných traťových tunelů – v ČR se začala používat ke stavbě tunelů Nová rakouská tunelovací metoda.

7.2 Kolejový spodek metra

Kolejový spodek metra slouží k uložení konstrukce koleje metra, která se zpravidla odlišuje na povrchových tratích a na tratích podzemních. Konstrukce kolejového spodku metra na povrchových tratích musí zajišťovat stabilitu koleje metra i při dlouhotrvajících nepříznivých povětrnostních podmínkách. Odpovídá konstrukci železničního spodku, výjimkou je zakrytí povrchových úseků (včetně mostů) na tratích s pravidelným provozem s cestujícími. U podzemních tratí je kolejový spodek metra tvořen tunelovými konstrukcemi.

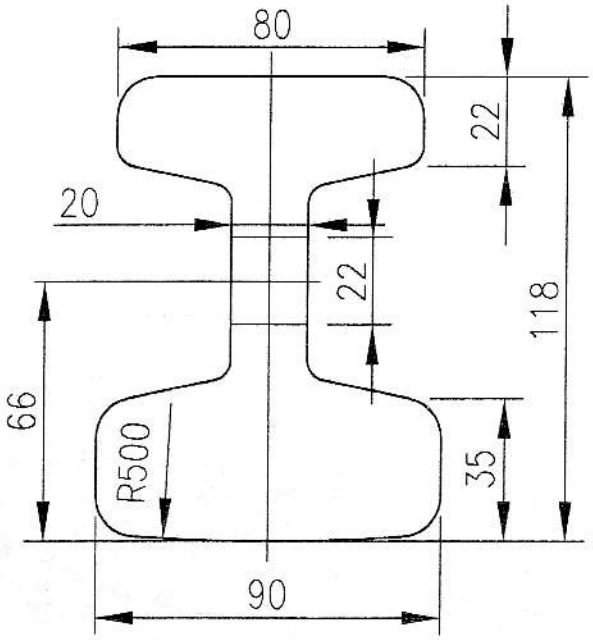
7.3 Kolejový svršek metra

Kolejový svršek metra vytváří stabilní dráhu pro vozidla metra. Užívají se kolejnice širokopatní, uložené na příčných pražcích, osamělých podporách nebo podélných pražcích. Užívá se štěrkového lože i konstrukce s přímým upevněním k betonovému podkladu. Na podzemních tratích metra v přímých úsecích a v obloucích o poloměru 350 m a větším se zřizuje zásadně bezstyková kolej s plným napětím (teplotní interval upínací teploty je od +7°C do +21°C).

7.3.1 Kolejnice

V kolejovém svršku se užívají převážně kolejnice širokopatní o hmotnosti 50 až 60 $kg.m^{-1}$. U pražského metra (v podzemních i na povrchových tratích) se používá kolejnic tvaru S49. Kolejnice se svařují nebo stykují podle vzorových listů ČD. Nevstřícnost styků kolejnic může být nejvýše 25 mm.

Ke zřízení izolovaných kolejových obvodů zabezpečovacího zařízení „ARS" se do kolejnicových pásů vevařují lepené izolované styky. V obloucích o poloměru menším než 300 m se vkládají k vnitřnímu kolejnicovému pásu přídržné kolejnice (přídržnice). K napájení vozidel elektrickou energií se užívá přívodní kolejnice, která se zavěšuje na konzolu nebo se ukládá na izolátory osamělých podpor. Přívodní kolejnice je u pražského metra (obr. 7.3) zavěšena na konzole upevněné na konce pražců nebo k betonovému podkladu. Odběr proudu je ze spodní nebo horní části přívodní kolejnice postranním sběračem vozu, situovaném na podvozku, v polovině pevného rozvoru. U pražského metra se proud odebírá ze spodní části přívodní kolejnice, která je shora a ze stran chráněna před náhodným dotykem a na povrchových tratích před povětrnostními vlivy nevodivým, nesnadno hořlavým a tepelně odolným (laminátovým) krytem.



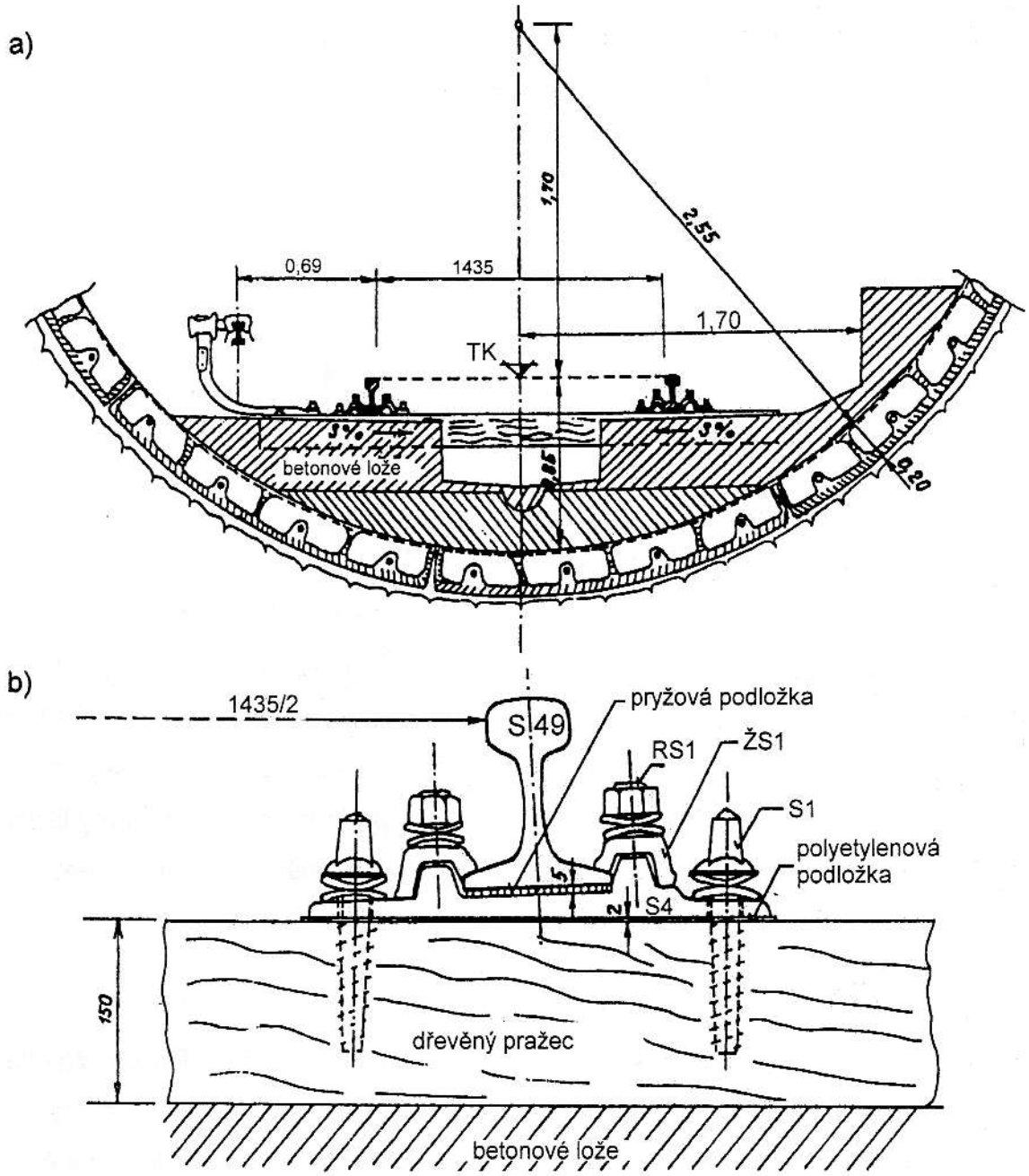
Obr. 7.3 Řez napájecí kolejnicí užívanou u pražského metra

Přívodní kolejnice se umísťují zpravidla na levé straně koleje ve směru jízdy. Délka přívodní kolejnice je 12,5 m. Přívodní kolejnice se svařují na délku maximálně 100 m u podzemních tratí a max. 37,5 m u tratí povrchových. Mezi svařenými úseky se zřizují dilatační styky. Přívodní kolejnice musí mít při přejímce od vnitřní hrany bližší pojížděné kolejnice vzdálenost 690 ± 6 mm a ve svislém směru 160 ± 4 mm nad spojnicí temen kolejnic.

7.3.2 Uložení kolejnic na příčných pražcích

V konstrukci kolejového svršku při uložení širokopatní kolejnice na příčné pražce se užívají pražce dřevěné, betonové, ocelové a pražce z plastů. U pražského metra v podzemních úsecích (provozní úseky IC a IA) se kolejnice ukládaly na dřevěné bukové pražce tvaru 1A (jakost I) v betonovém loži (obr. 7.4a). Na povrchových úsecích se užívá pražců z předpjatého betonu nebo dřevěných, uložených ve štěrkovém loži.

U pražského metra se na tratích užívá jednotné vzdálenosti pražců 0,61 m. Kolejnice tvaru S49 byla upevněna dvěma svěrkami ŽS3 k žebrové podkladnici S4, užívané u ČD (obr. 7.4b). Mezi patou kolejnice a podkladnicí byla vložena pryžová podložka o tloušťce 5 mm. Podkladnice byla upevněna k dřevěnému pražci čtyřmi vrtulemi S1. Pod podkladnici se vkládala polyetylenová podložka o tloušťce 2 mm.



Obr. 7.4 Upevnění kolejnice v pražském metru

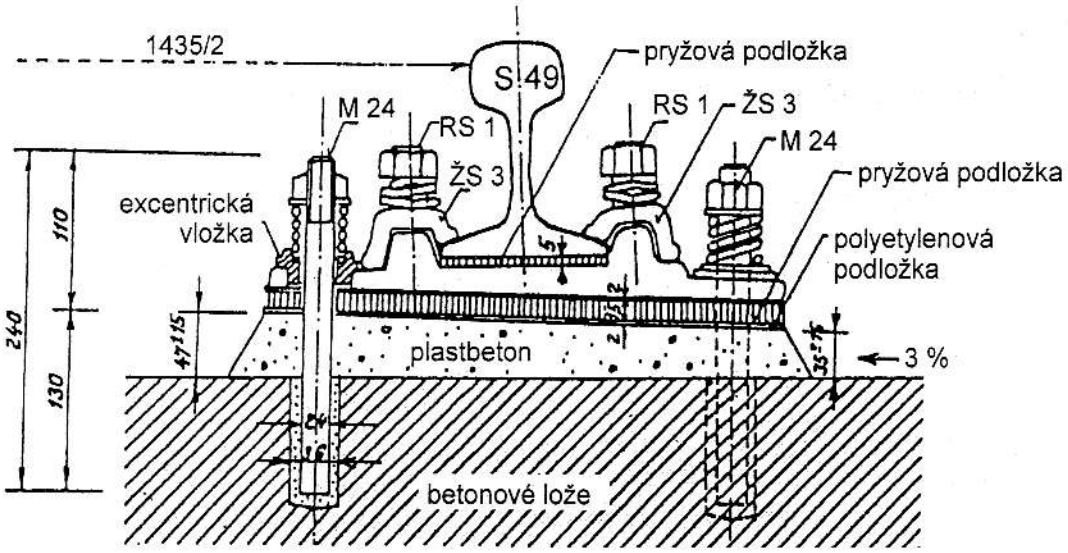
a) příčný řez kolejovým svrškem s dřevěnými pražci v betonovém loži

b) detail upevnění kolejnice k pražci

7.3.3 Uložení kolejnic na podpory

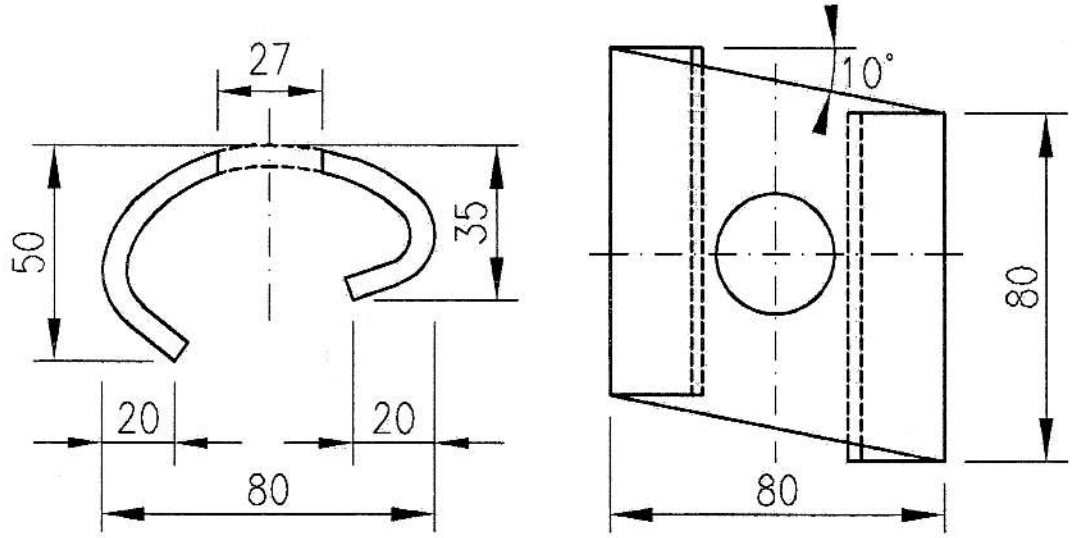
Snaha o vyvinutí konstrukce koleje metra se zjednodušeným upevněním a nižšími nároky na údržbu svršku vedla k různým způsobům upevnění podkladnice přímo na betonové lože. Většinou je upevnění řešeno pomocí žebrové podkladnice s tuhými nebo nověji s pružnými svěrkami.

Při řešení bezpražcového upevnění kolejnice na betonové lože byl v pražském metru aplikován typ upevnění užívaný v rotterdamském metru (obr. 7.5). Kolejnice tvaru S49 je upevněna dvěma svěrkami ŽS3 k upravené žebrové podkladnici S4.



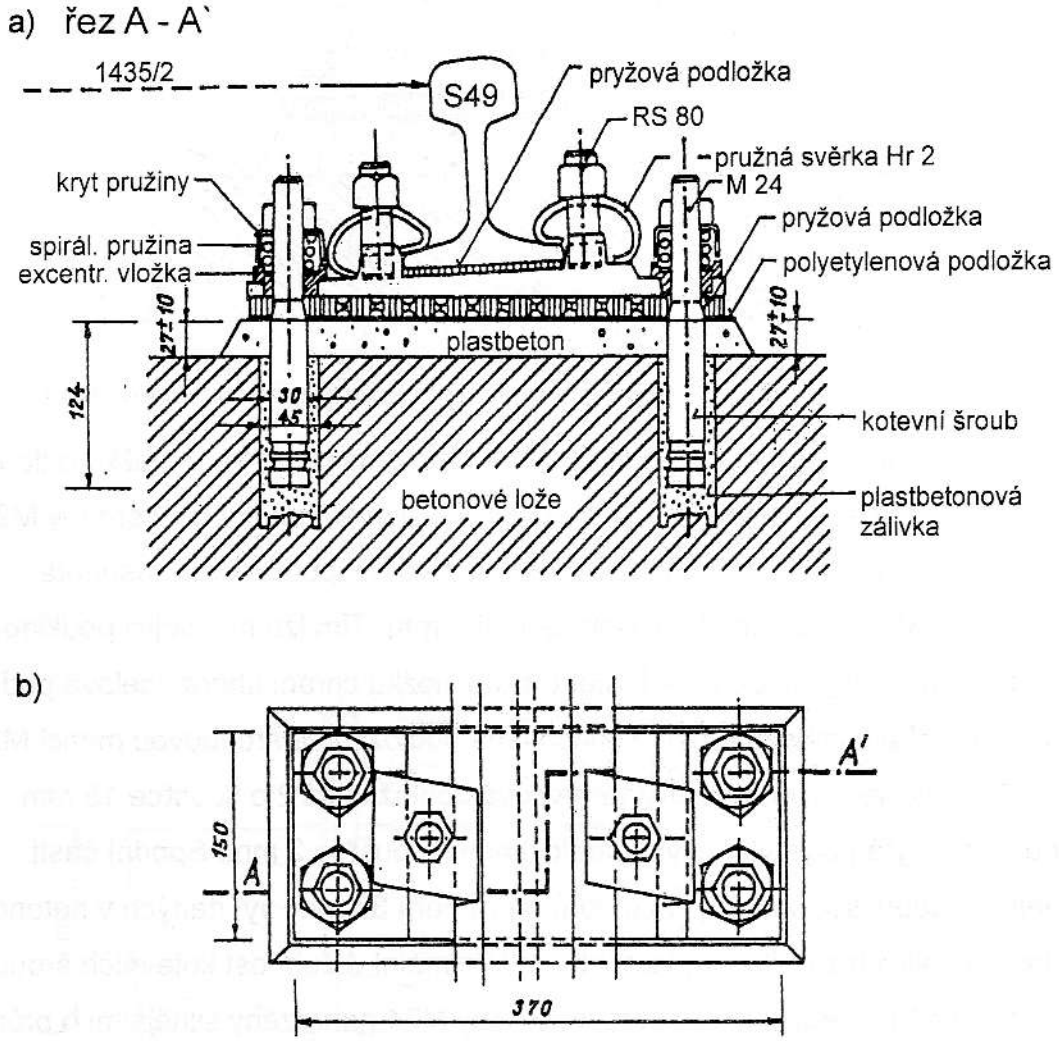
Obr. 7.5 Příčný řez bezpražcovým upevněním kolejnice u pražského metra

Mezi patou kolejnice a podkladnicí je vložena rýhovaná pryžová podložka o tloušťce 5 mm. Podkladnice je upevněna k betonovému loži dvěma kotevními šrouby M24. Na horní část kotevního šroubu je navlečena a do otvoru v podkladnici zasunuta excentrická vložka z polyamidu s výstředností 4 mm. Tím lze na dvojici podkladnic docílát změnu rozchodu ± 8 mm. Excentrickou vložku chrání shora ocelová podložka, o kterou se opírá spirálová pružina stlačovaná podložkou a šroubovou maticí M24. Pod podkladnici je vložena děrovaná pryžová podložka PP2 o tloušťce 15 mm, z obou stran krytá polyetylenovými podložkami o tloušťce 2 mm. Spodní části kotevních šroubů jsou vloženy do otvorů o průměru 36 mm, vyvrtaných v betonovém podkladu a zalitých zálivkou z plastbetonu. Minimální držebnost kotevních šroubů je předepsána 40 kN. Později byly kotevní šrouby M24 nahrazeny silnějšími o průměru 30 mm a z konstrukce upevnění byla vypuštěna polyetylenová podložka pod podkladnicí.



Obr. 7.6 Pružná svěrka HR-2 – a) příčný řez, b) půdorys

Další změnou konstrukce upevnění bylo nahrazení tuhé svěrky ŽS3 tvarovanou pružnou svěrkou HR-2 (obr. 7.6). Upevnění kolejnice k podpoře užívané v pražském metru od roku 1994 je patrné z obr. 7.7.

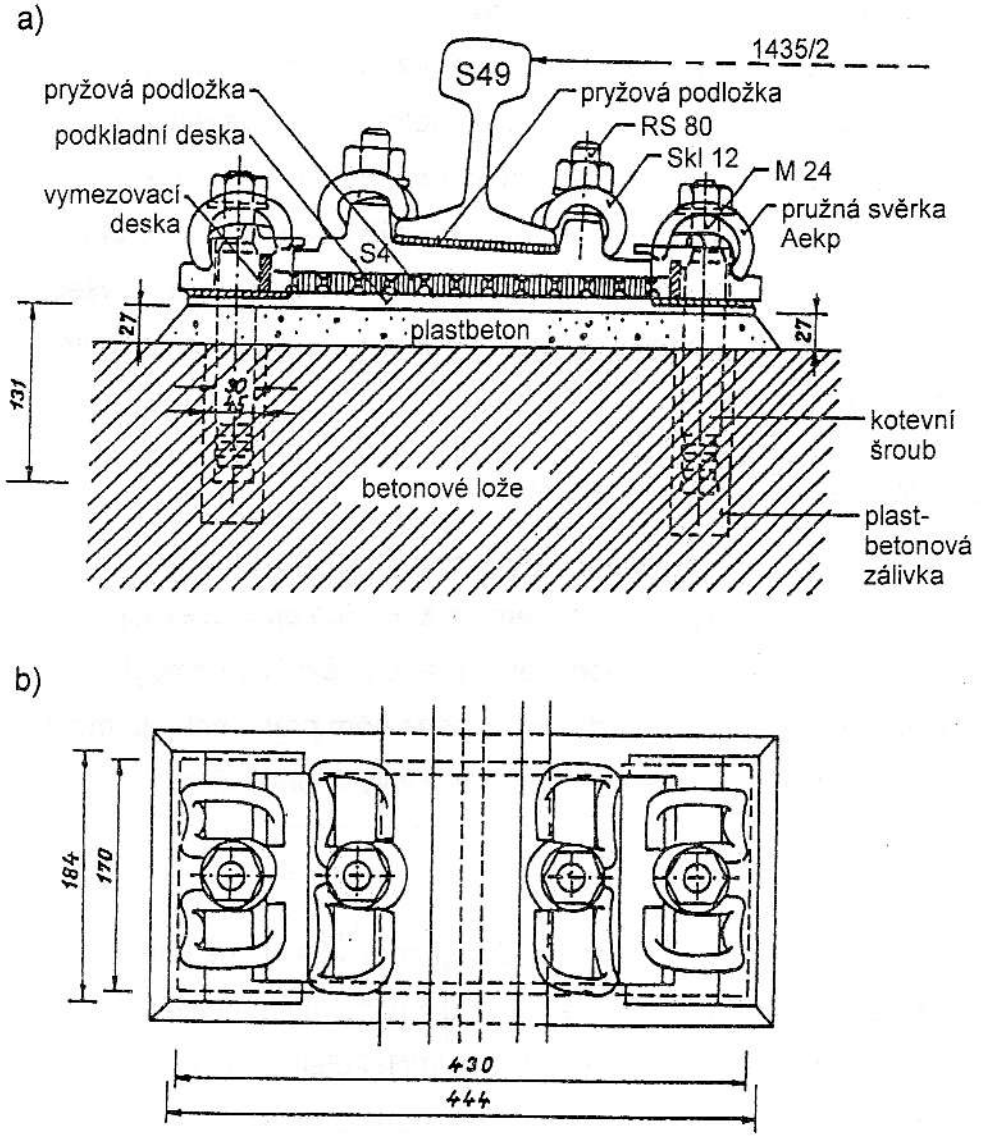


Obr. 7.7 Upevnění kolejnice pomocí pružných svěrek HR-2 – a) příčný řez, b) půdorys

Mezi betonovým ložem a podložkami pod podkladnicí je vrstva pastbetonu (plastbetonovým polštář, či „hrobeček"), která vyrovnává povolené stavební tolerance výšky betonového lože. Vrstva z plastbetonu též plní funkci elektrické izolace mezi kolejnicí a betonovým ložem. Pro vyrovnávací vrstvu z plastbetonu je předepsána tloušťka min. 15 mm a max. 40 mm.

Pro upevnění kolejnice v obloucích o poloměru menším než 600 m se užívá upevnění odvozené z konstrukce upevnění u budapešťského metra (obr. 7.8). Kolejnice je upevněna ke zkrácené žebrové klínové podkladnici S4 pomocí dvou pružných svěrek Vossloh Skl 12 a dvou svěrkových šroubů RS 80 se samojistnými maticemi, Mezi patou kolejnice a podkladnicí je vložena jednostranně rýhovaná pryžová podložka o tloušťce 5 mm. Zkrácená žebrová podkladnice je uložena na

pryžovou podložku PP2 o tloušťce 15 mm, která je umístěna na podkladní desku tvořenou ze svařence z ocelového plechu o tloušťce 12 mm a dvou bočních tvarovaných opěr. Zkrácená podkladnice a podkladní deska je upevněna k betonovému podkladu pomocí dvou pružných svěrek Vossloh Aekp a dvou kotevních šroubů M24/30 s podložkami a samojistnými maticemi. Pro změnu rozchodu ± 5 mm slouží polyamidové vymezovací vložky o tloušťce 2 ÷ 7 mm, které se vkládají mezi čela podkladnice a boční opěry podkladní desky.



Obr. 7.8 Upevnění kolejnice pomocí pružných svěrek Vossloh Skl 12 a Aekp – a) příčný řez, b) půdorys

K upevnění kolejnice v délce 25 m je užito 37 podpor (tj. na 1 km koleje 1480 podpor vzdálených od sebe 0,676 m). Mezi každou osmou a devátou podporou je z jedné strany upevněna třemi kotevními šrouby M24 konzola přívodní kolejnice. Pod konzolou je podkladní plech o tloušťce 5 mm a polyetylenová podložka o tloušťce 2 mm. Spodní část dříku kotevních šroubů je opět zalita plastbetonem v otvorech o

průměru 36 mm, vyvrtaných do betonového lože. Prostor mezi podložkou a povrchem betonového lože je opět vyplněn plastbetonovým polštářem.

Při zřizování betonového lože je předepsána tolerance ± 10 mm. Kolejnicové pásy jsou pomocí přípravku osazeny na přesnou výšku a směr. Otvory v betonovém loži pro kotevní šrouby podkladnic jsou vrtány pomocí speciálního vrtacího vozíku, který vrtá vždy čtyři otvory najednou. Poté se ke kolejnicím připevní podkladnice. Do podkladnic se zasunou kotevní šrouby, zasahující až do otvorů vyvrtaných v betonovém loži. Zbylý prostor mezi kotevním šroubem a vyvrtaným otvorem se zalije plastbetonovou zálivkou. Po jejím zatvrdnutí je zhotoven plastbetonový polštář, vyplňující prostor mezi podložkami podkladnic a povrchem betonového lože. Bezpražcové upevnění urychluje vyloučením pražců montáž koleje a spoří drobné kolejivo (v koleji je o 10 % méně podpor). Bezpražcové upevnění se užívá na všech tratích metra, uvedených do provozu od roku 1980. Poprvé bylo zkušebně použito v roce 1978 ve stanici Můstek na trati A.

7.3.4 Kolejnice uložené na podélné prahy

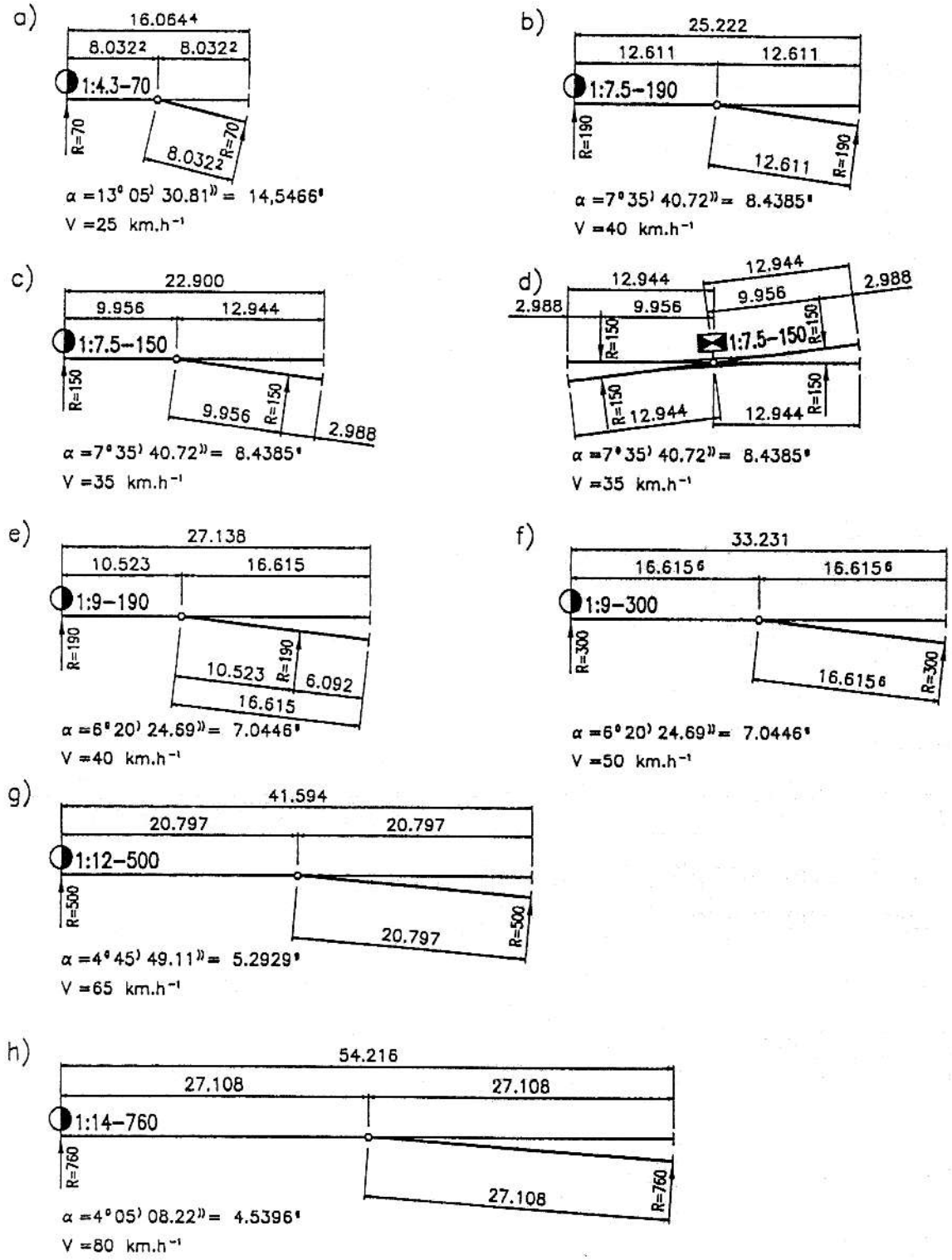
V kolejovém svršku metra se užívá též místo průběžného betonového lože armovaných podélných betonových prahů, na které se kolejnice opět upevňují prostřednictvím podkladnic. Tyto jsou k betonovému prahu upevněny pomocí kotevních šroubů, vlepených do otvorů vyvrtaných v podélném prahu nebo pomocí vrtulí zašroubovaných do hmoždinek, osazených v betonových prazích.

7.4 Výhybky

Pro kolejové rozvětvení hlavních kolejí metra se užívají zpravidla stejné konstrukce výhybek jako v železniční síti. Typ výhybky se volí podle požadované rychlosti jízdy do odbočky. U pražského metra se pro rozvětvení hlavních kolejí užívají výhybky 1:12-500 (V = 65 km.h^{-1}) a 1:14-760 (V = 80 km.h^{-1}). U transformovaných výhybek smí být užito poloměru až 190 m. Pro odbočení z hlavní koleje na spojovací tratě do vozových dep, na traťové spojky, na koleje úvraťové a pro odstavování vlaků a na vlečkách pro styk s železničními tratěmi se navrhují výhybky 1:9-190 (V = 40 km.h^{-1}), případně 1:9-300 (V = 50 km.h^{-1}). V manipulačních kolejích, tj. v kolejích v obvodu vozových dep, dílen a opraven se užívají výhybky 1:4,3-70 (V = 25 km.h^{-1}) nebo 1:7,5-150 (V = 35 km.h^{-1}). V kolejových spojkách se užívají křižovatky s úhlem

křížení 1:7,5 nebo 1:4,5. V kolejových rozvětveních je možno užít křižovatkové výhybky 1:7,5-150 (V = 35 km.h^{-1}).

Přehled užívaných typů výhybek je na obr. 7.9.



Obr. 7.9 Vytyčovací schémata výhybek, které je možné použít v síti pražského metra

Výhybky u pražského metra se do roku 1983 zásadně kladly na dřevěné pražce do štěrkového lože. V tunelech se před a za styky výhybek zřizovaly přechodové úseky štěrkového lože o proměnné tloušťce minimální délky 7,0 m. Po roce 1983 se

bezpražcové upevnění užívá i pro výhybky. Kluzné stoličky nebo podkladnice se upevňují na betonové lože pomocí kotevních šroubů vlepených do otvorů vyvrtaných v betonovém loži. Pod kluzné stoličky a podkladnice se vkládají pružné podložky a zřizuje se plastbetonový polštář. Ve zhlavích dep se i nadále užívají výhybky uložené ve štěrkovém loži. V kolejových rozvětveních se osazují námezníky, které vyznačují místa u sbíhajících se kolejí, za která nesmějí vjíždět současně dvě soupravy.

Literatura

Knihy, skripta

1. BARTÁK, Jiří, KUBÁT, Bohumil. *Dopravní stavby I. Železniční a podzemní stavby.* Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 1997. 263 stran. ISBN 80-01-01557-2.
2. FLIEGEL, Tomáš, JACURA, Martin, KOHOUTEK, Petr, TÝFA, Lukáš. Železniční tratě a stanice – cvičení. Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 2005. 106 stran. 9 příloh. ISBN 80-01-03353-8.
3. KLIMEŠ, Ferdinand et al. *Železniční stavitelství. A1.* Vydání 2. přepracované. SNTL, Praha 1978.
4. KREJČIŘÍKOVÁ, Hana, KUBÁT, Bohumil, TYC, Petr. *Železniční stavby 10.* Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 1999. 148 stran. ISBN 80-01-02070-3.
5. KREJČIŘÍKOVÁ, Hana, ŠPAČKOVÁ, Helena. *Dopravní stavby. Část: Kolejová doprava.* Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002 . 75 stran. ISBN 80-01-02444-X.
6. KREJČIŘÍKOVÁ, Hana, TYC, Petr. *Železniční stavby 20.* Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 2001. 153 stran. ISBN 80-01-02411-3.
7. KUBÁT, Bohumil et al. *Železniční stavby. Projektování.* Vydání 1. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Praha 1998. 176 stran. ISBN 80-902460-6-0.
8. KUBÁT, Bohumil, TÝFA, Lukáš. Železniční tratě a stanice. Vydání 2. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2005. 209 stran. ISBN 80-01-02782-1.
9. KUBÁT, Bohumil, PENC, Miroslav. *Městská kolejová doprava.* Vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000. 121 stran. ISBN 80-01-02117-3.
10. KUBÁT, Bohumil, TYC, Petr, KREJČIŘÍKOVÁ, Hana, *Kolejová doprava ve městě.* Vydání 2. Vydavatelství ČVUT, Praha 1998. 114 stran. ISBN 80-01-01-351-0
11. PLÁŠEK, Otto, ZVĚŘINA, Pavel, SVOBODA, Richard, MOCKOVIČIAK, Milan. Železniční stavby. Vydání 1. Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno 2004. 291 stran. ISBN 80-214-2621-7.
12. TYC, Petr, KUBÁT, Bohumil. *Železniční stavby. Vysokorychlostní tratě.* Doplňkové skriptum. Dotisk vydání 1. Vydavatelství ČVUT, Praha 1997. 64 stran. ISBN 80-01-01200-X.

13. TYC, Petr, KUBÁT, Bohumil et al. *Železniční stavby*. Dh-PRESS, Bratislava 1993.

Normy, služební předpisy a právní dokumenty.

14. ČSN 01 8500. Základní názvosloví v dopravě. 1989.
15. ČSN 73 6301. Projektování železničních drah. 1998.
16. ČSN 73 6320. Průjezdné průřezy na drahách celostátních, drahách regionálních a vlečkách normálního rozchodu. 1997.
17. ČSN 73 6360-1. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 1: Projektování. 1997. Změna č.1 – 1999.
18. ČSN 73 6360-2. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. 1997.
19. ČSN 73 6380. Železniční přejezdy a přechody. 2004.
20. ČSN 73 7508. Železniční tunely. 2002.
21. ČSN P ENV 1991-3. Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, část 3: Zatížení mostů dopravou. 1997. Změna Z1 – 2000.
22. TNŽ 73 6949. Odvodnění železničních tratí a stanic. 2002.
23. Služební předpis SŽDC S 3 „Železniční svršek". Účinnost od 1.1.2003.
24. Služební předpis SŽDC S 3/2 „Bezstyková kolej". Účinnost od 1.1.2003.
25. Služební předpis SŽDC S 4 „Železniční spodek". Účinnost od 1.7.1998.
26. Vzorové listy železničního spodku SŽDC Ž 1 až SŽDC Ž 10. Účinnost od 1.4.2002.
27. Směrnice GŘ SŽDC č.28/2005, Koncepce používání jednotlivých tvarů kolejnic a typů upevnění v kolejích železničních drah ve vlastnictví České republiky, 30.3.2006.
28. Zákon č.266/194Sb., o drahách.
29. Zákon č.103/204Sb., kterým se mění zákon č.266/1994Sb.
30. Vládní usnesení č.27/1989 z 26.1.1989 o koncepční zaměření rozvoje železniční dopravy.
31. Vyhláška MDS č.173/1995Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.
32. Vyhláška MDS č.177/1995Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah.

33. Usnesení Vlády Československé socialistické republiky ze dne 8.2.1990 č.78 o přístupu ČSSR k Evropské dohodě o mezinárodních železničních magistrálách (Dohoda AGC).
34. Sdělení MZV č.35/1995Sb., kterým se oznamuje, že dne 20.11.1994 vstoupila pro Českou republiku v platnost Evropská dohoda o nejdůležitějších trasách mezinárodní kombinované dopravy a souvisejících objektech (AGTC).
35. Vyhláška MDS č.352/2004Sb. o technické a provozní propojenosti evropského železničního systému.
36. Vyhláška MDS č.377/2006Sb. a nařízení vlády č.133/2005Sb. o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému.
37. Railway Business Scenario 20020, dokument EU.
38. Směrnice 96/48/ES o interoperabilitě transevropského vysokorychlostního železničního systému. EU 1996.
39. Směrnice 2001/16/ES o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému. EU 2001.
40. EC White Paper on Transport. EUR 2002.
41. Směrnice 2004/50/ES.
42. Vzorové listy tramvajových tratí, MV ČSR a MD ČR, Praha 1986-1994.
43. Vzorové listy výhybek tramvajových tratí, MV ČSR a MD ČR, Praha 1987-1994.
44. Katalog betonových výrobků ŽPSV a.s., Uherský Ostroh, 2006.

Články, referáty

45. KUBÁT, Bohumil, TÝFA, Lukáš. Vztah modernizace železničních tratí a výstavby vysokorychlostních tratí v České republice. In *Modernizácia železničných tratí. 12. medzinárodná konferencia „VRT". Zborník.* Vydání 1. Žilinská univerzita, Žilina 2002. 158 stran. ISBN 80-8070-013-3.
46. BACHMANN, Hans, FOEGE, Thomas. *Rheda 2000. Zkušenost a pokrok sloučeny v jednom systému.* Eisenbahningenieur 6/2000.
47. HOLZINGER, Hans, SCHREINER, Ulrike. *Pevná jízdní dráha Bögl. Generační změna v železničním svršku.* Eisenbahningenieur 9/2000.
48. MATTNER, Lothar, FREYSTEIN, Hartmut. *Vývoj, schvalování a používání pevné jízdní dráhy na novostavbách a modernizovaných tratích DB AG.* Eisenbahningenieur (53) 8/2002, str.5 - 17.

49. OBERWEILER, Günter. *Pevná jízdní dráha. Kritická bilance po 30 letech výzkumu, vývoje a zkušeností.* ETR, 2002/1-2.

50. ČIHÁK, Jan. Změna předpisu S3 „Železniční svršek". Konference Želzeniční dopravní cesta 2007. Sborník, str. 91-99, Zlín 2007.

51. NEJEZCHLEB, Mojmír. Zajištění podmínek interoperability v podmínkách železniční sítě ČR, strategie SŽDC v oblasti implementace ERTMS, 11. železniční konference „Želenice 2006". Sborník str. 117-122, Praha 2006.

52. JÍRA, Josef, TOPOL, Jindřich. Železniční infrastruktura ČR respektující požadavky interoperability transevropského železničního systému, 11. železniční konference „Železnice 2006", Sborník str. 123-127, Praha 2006.

53. JÍRA, Josef, MALINA, Ivo, TOPOL, Jindřich. Nové trendy výzkumu a spolupráce v železniční infrastruktuře, Mezinárodní konference Fakulty dopravní ČVUT v Praze, Sborník str. 79-82, Praha 2007. ISBN 978-80-01-03699-0.

54. PEJŠA, Jiří. Moderní konstrukce svršku tramvajových tratí, Konference k 10. výročí Dopravní fakulty ČVUT v Praze, Sborník str. 219-224, Praha 2003, ISBN 80-01-02741-4.