

Jiří Vlachý

Diagnostika železničního spodku využitím radarové metody

Klíčová slova : *diagnostika železničního spodku, radarová metoda (georadar), permitivita, interface, geotechnický průzkum.*

Úvod

Nepříznivý stav železničního spodku, zejména nedostatečná únosnost pražcového podloží včetně zemní pláně, je jednou z hlavních příčin závad v geometrické poloze koleje (GPK), a to v odchylkách podélné výšky kolejnicových pasů a jejich vzájemné polohy.

Železniční trať je nutné považovat za vícevrstvý systém, sestávající z železničního svršku a železničního spodku. Únosný železniční spodek je základním předpokladem pro stabilitu GPK ve stanovených parametrech vyplývajících z povolené traťové rychlosti a hmotnosti na nápravu železničních vozidel. Zásadní význam má řádná úprava zemní pláně a pláně tělesa železničního spodku na únosnost stanovenou předpisem ČD-S4 a s tím úzce související stav odvodnění železničního tělesa.

Současný stav na síti ČD je takový, že v řadě případů mají tratě málo únosný železniční spodek, jako důsledek nedostatečné údržby a obnovy, které nebyly adekvátní dřívějšímu vysokému provoznímu zatížení tratí, zejména tzv. hlavních tahů. Příčiny tohoto stavu lze spatřovat především v tom, že nebylo možno z důvodu velmi omezeného časového trvání výluk provádět potřebné sanační práce zvyšující únosnost železničního spodku, nebo také nedostatkem finančních prostředků. Obnovy nebo rekonstrukce tratí spočívaly, až na výjimky, pouze v obnově nebo rekonstrukci železničního svršku. Kolejové lože bylo zpravidla zřízeno přímo na zemní pláni bez konstrukčních vrstev. Sanace a rekonstrukce železničního spodku v dnešním pojetí byly dříve prováděny jen ojediněle.

Zvyšující se požadavky na zavádění vyšších traťových rychlostí a zvyšování hmotností na nápravu, vyvolávají kromě použití technicky dokonalejších a provozně odolnějších konstrukcí železničního svršku, také potřebu rekonstrukce železničního spodku.

Ta musí být provedena tak, aby:

- nedošlo ke vzájemnému promísení materiálu konstrukčních vrstev pražcového podloží,
- nedošlo k zatlačování konstrukčních vrstev do zemní pláně,
-

Ing. Jiří Vlachý, nar. 1941.

Absolvent VŠD Žilina 1963, specializace rekonstrukce a údržba tratí.

Zaměstnání: ČD - Traťová distance, Traťová strojní stanice, Mostní obvod, TÚDC - S13.

- těleso železničního spodku bylo řádně odvodněno odvodňovacím systémem (zařízení otevřená a krytá), zachycujícím a odvádějícím povrchové a podzemní vody mimo něj.

To se nyní uplatňuje v souvislosti s modernizací nebo optimalizací tratí na koridorech, kde se odehrává největší část provozního zatížení sítě ČD rychlostmi až do 160 km/h.

Požadovaná funkčnost a trvanlivost vybudovaného odvodňovacího systému je samozřejmě podmíněna jeho následnou údržbou.

Zatímco pořizovací náklady na nový železniční svršek lze do jisté míry označit jako fixní, finanční náročnost oprav nebo rekonstrukcí železničního spodku je značně variabilní. Pro racionální použití investovaných finančních prostředků vystupuje do popředí kvalita přípravy stavby - co nejpřesnější zjištění skutečného stavu železničního spodku.

Radarová metoda jako součást geotechnického průzkumu železničního spodku

V systému diagnostiky železničního spodku, zaměřené na kontinuální zjištění jeho složení a stavu, mají nezastupitelné místo nedestruktivní geofyzikální metody.

Dopravní stavby jsou konstrukce náročné na zatěžovací podmínky. Pro tyto stavby (tedy i železniční tratě) zařazené do třetí geotechnické kategorie, se geotechnický průzkum provádí ve 3 etapách :

Předběžný průzkum:

Jeho výsledky jsou podkladem pro stanovení metodiky a rozsahu prací, které budou prováděny v rámci podrobného geotechnického průzkumu. Použití nedestruktivní radarové metody pro předběžný průzkum je možno provést kontinuálně, a tak zkvalitnit doposud obvykle prováděné místní šetření prováděné bodově, zpravidla jen podle znalostí správce tratí o místech vyskytujících se poruch v železničním spodku. Tento subjektivně pojatý průzkum, i když může být určitým vodítkem, nemůže však být dostatečný pro základní podrobnější poznání poměrů v železničním spodku v souvislých úsecích.

Na základě vyhodnocení předběžného průzkumu lze označit v železničním spodku místa s podobnou charakteristikou. Zkoumaný úsek železničního spodku se tak rozdělí na tzv. kvazihomogenní bloky a doporučí nebo určí místa, kam zaměřit průzkum podrobný. Jedná se o primární stupeň diagnostiky železničního spodku, tzv. "hrubou diagnostiku" nebo také "nepřímou metodu". Její uplatnění je proto přínosem pouze ve spojení s klasickými metodami destruktivními, kterých je používáno při průzkumu podrobném.

Chceme-li "šetřit" na takto prováděném geotechnickém průzkumu, pak můžeme dojít naopak ke značné ztrátě z titulu špatně či nepřesně stanoveného sanačního rozsahu a metody provedení, ať již pro jeho předimenzování (neúčelně vynaložené finanční prostředky) nebo naopak .

Podrobný průzkum:

Sem patří sondy, vrty, odběry vzorků zemin, laboratorní zkoušky, penetrační zkoušky, zkoušky únosnosti apod., ke zjištění fyzikálních a mechanických vlastností zemin zemní pláně a tělesa železničního spodku.

Kontrolní doplňující průzkum:

Tímto se podle případných požadavků projektanta zpřesňují výsledky podrobného průzkumu.

Výsledky geotechnického průzkumu a jeho doporučení pro opravné (sanační) práce na železničním spodku je nutné respektovat při zpracování příslušné části projektové dokumentace stavby. Spolupráce projektanta s geotechnikem by měla být samozřejmostí.

Pečlivě provedeným geotechnickým průzkumem lze minimalizovat výskyt nepředvídaných situací při stavbě samé. Na rozhodnutí a řešení změny projektu v průběhu stavby již bývá zpravidla málo času a důsledky se později projeví spíše negativně (snížení trvanlivosti stability geometrických polohy koleje).

Na základě výsledku úkolu technického rozvoje (dále jen TR) řešeného Výzkumným ústavem železničním v Praze a provozního ověření u ČD, byla pro diagnostiku železničního spodku v rámci předběžného průzkumu přijata a zavedena radarová metoda (georadar). Na řešení a provozním ověření kooperovaly ČD-TÚDC a firma G Impuls s.r.o. Praha. Byl použit radar typu SIR 10 .

Princip radarové metody

Je založena na opakovaném vysílání elektromagnetických impulzů vysoké frekvence (200-500 MHz) anténním systémem do zkoumaného prostředí (v našem případě železničního spodku) a přijímání jejich odezvy. Vlastnosti, charakterizující prostředí kterým prostupuje elektromagnetické vlnění, nazýváme permitivitou. To umožňuje zaznamenat hranice jednotlivých vrstev zemin, dutin, zvodnělých míst, tras inženýrských sítí apod.

Kontinuální záznam odrazu vysílaných impulzů při pohybující se anténě vytváří průběžný časový snímek, zobrazuje se průběžně na monitoru aparatury a současně jsou tato data ukládána na magnetickou pásku. Tento záznam se nazývá radarogram. Je prvotním výsledkem radarového měření.

Permitivita je bezrozměrná veličina. Její velikost je ovlivněna zejména množstvím mezer mezi materiálovými zrnky a obsahem vody ve vrstvách pražcového podloží. U rekonstruovaných tratí můžeme předpokládat, především pro šterkové lože, že materiál je co do druhu konstantní a obsah vody v něm zanedbatelný. V tomto smyslu je relativní permitivita také funkcí mezerovitosti, a tím nepřímo můžeme usuzovat na stupeň či rovnoměrnost zhutnění. Přibližně platí: čím nižší permitivita šterkového lože, tím nižší stupeň jeho zhutnění.

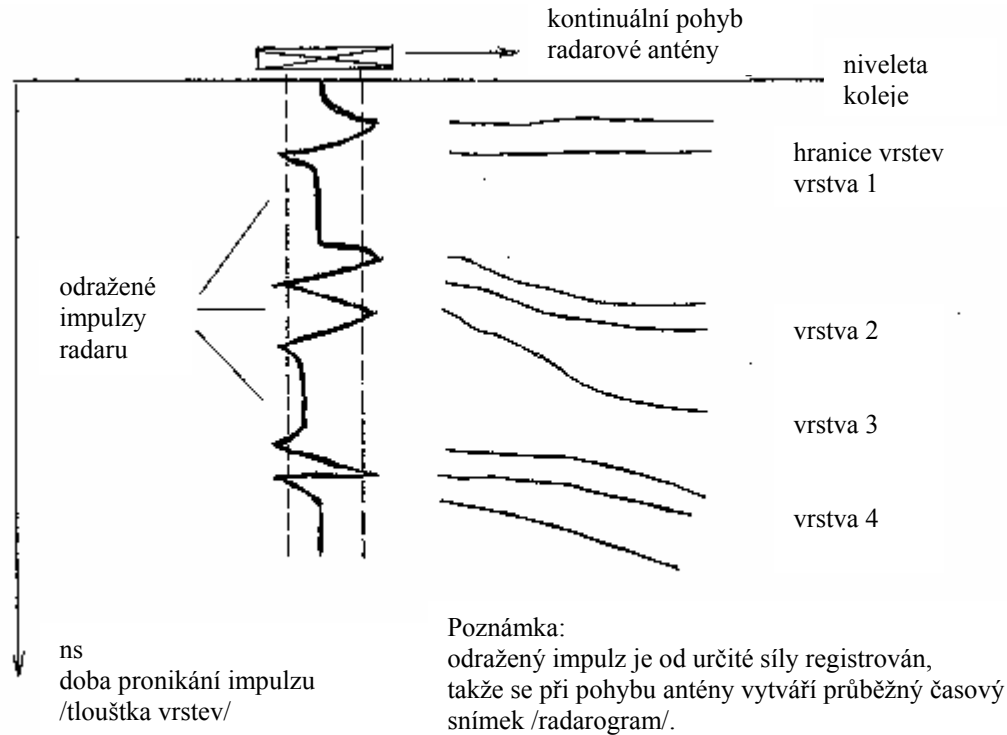
Data naměřená v terénu se převádí ze záznamové magnetické pásky do PC. Po kontrole jejich kvality mohou být bez dalších úprav uložena na CD disk pro jejich další uchování (ochrana proti poškození) a tak je možnost jejich pozdějšího využití (např. pro sledování změn v pražcovém podloží v čase).

Zpracování dat určených ke kvantitativní interpretaci spočívá v potlačení zkreslujících vlivů (např. vliv pražců) a v sečtení a zprůměrování sousedních impulzů.

Grafická úprava výsledku radarového měření spočívá v interpretaci dat pomocí příslušného softwaru do výstupního dokumentu - podélného řezu pražcovým podložím. V řezu jsou vyznačena rozhraní, a tedy tloušťky šterkového lože, konstrukčních vrstev pod

šterkovým ložem a zemní pláň. Tloušťky těchto konstrukčních vrstev jsou vyhodnoceny s přesností přibližně 5 cm.

Zjednodušené schéma principu odrazu impulzů od vrstev v pražcovém podloží je znázorněno na obr. č. 1:



Radarová metoda neumožňuje:

- určit druh materiálů zemin tělesa železničního spodku a vyhodnotit jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti,
- stanovení jejich modulu přetvárnosti a z něho odvození únosnosti zemní pláňe a příslušné konstrukční vrstvy, jak je stanoveno předpisem ČD - S4 Železniční spodek .

Uplatňování radarové metody u ČD v rámci geotechnického průzkumu tělesa železničního spodku je podrobně popsáno v “ Pokynech pro používání nedestruktivní radarové metody v diagnostice železničního spodku na tratích ČD”, vydaných ČD-DDC O13 pod č.j. 55740/96 s účinností od 1.4.1996.

Pokyny obsahují zásady použití metody, sjednocují a stanoví postupy při přípravě, vlastním provádění a vyhodnocení výsledků měření.

Pro tento způsob měření bylo pro umístění jednotlivých částí radarové aparatury použito traťového motorového vozíku typu MUV a speciálně vyrobeného přívěsného vozíku (*instalace aparatury je zřejmá z přiložené fotografie*). Rychlost a kontinuálnost měření je v tomto případě limitována překážkami v trase měření, jako jsou např. nástupiště přesypané (nadvýšené šterkové lože za hlavami pražců) a případně další překážky pro plynulou jízdu. Zejména však také konstrukcí přívěsného vozíku, který je nosičem anténního systému za tažným vozidlem. Možná rychlost měření je proto do 10 km/h a optimální krok měření 20 až 50 cm. (Krokem měření se rozumí interval vysílání elektromagnetických impulzů.) Vzhledem

k této rychlosti měření se u ČD vžil u tohoto způsobu použití georadaru název “pomalý radar”.



Využití georadaru pro komplexní diagnostiku tratí

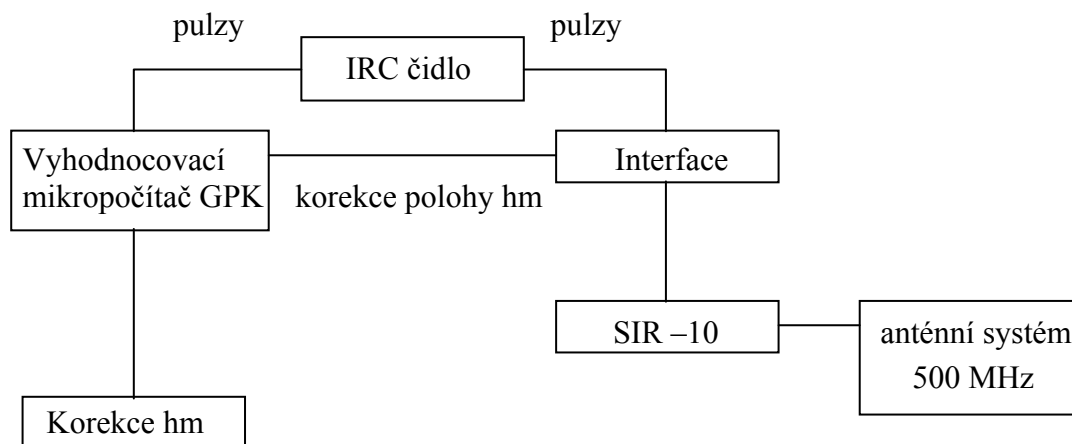
Poznatky získané s využitím “pomalého radaru” při provádění geotechnického průzkumu byly využity při řešení další části této problematiky, a to spojení diagnostiky železničního svršku prováděnou měřícím vozem pro železniční svršek se současným monitorováním železničního spodku georadarem. To umožňuje komplexní kontinuální diagnostiku železničního svršku a železničního spodku při jedné jízdě měřícího vozu.

Za tím účelem byly provedeny a provozně odzkoušeny potřebné technické úpravy na měřícím voze pro zapojení radarové aparatury a umístění anténního systému. Bylo využito přednosti používaného radarového přístroje SIR 10, což je možnost souběžné registrace více kanálů při jednom pojezdu zařazením druhé antény. Umístění antén je v tomto případě vyřešeno pomocí speciálně zhotovených závěsů pod podlahou měřícího vozu tak, aby byl v každém ohledu dodržen průjezdný profil. Použit byl anténní systém frekvence 500 MHz. Spodní hrana anténního systému je 35 cm nad temenem kolejnice. Doba instalace radarového zařízení včetně montáže antén na měřící vůz železničního svršku činí přibližně 0,5 h, je tedy velmi operativní.

Pro připojení radaru do sestavy měřícího vozu bylo pracovníky TÚDC ve Středisku měřících vozů Jaroměř vyrobeno zařízení (interface), které přenáší počítačové pulzy kilometráže měřícího vozu železničního svršku do radarového záznamu a dále korekce na skutečnou polohu hektometrovníků. Tím je zaručeno, že kilometráž radarového záznamu je stejná jako kilometráž záznamového zařízení GPK a oba výstupy v měřítku délek 1:2000 je možno mezi sebou porovnávat a stanovit lokálně identické souvislosti a změny.

Provozní zkoušky tohoto komplexního způsobu diagnostiky tratí byly prováděny mj. také na několika modernizovaných nebo optimalizovaných traťových úsecích koridorových tratí při rychlosti jízdy měřícího vozu 70 km/h.

Schéma zařazení radarové aparatury do měřicího vozu železničního svršku je znázorněno na obr. č. 2



Podle výsledku můžeme konstatovat, že při této rychlosti je možno zvolit krok měření radarem po 0,5 m . To znamená, že každých 100 bm je vysláno anténním systémem radaru 200 impulzů do železničního spodku. Při této frekvenci je zajištěna dostatečná rozlišovací schopnost radaru pro kvalitní interpretaci pořízeného záznamu. Lze vyhodnotit nehomogenity (změny) v délce od 5 m výše. V případě speciálního požadavku na vyhodnocení radarových záznamů je možné snížením maximální rychlosti při průjezdu měřeného úseku získat detailnější záznam a vyhodnotit z něj i podrobnější údaje. Hloubková rozlišovací schopnost při frekvenci anténního systému 500 MHz je do 1,50 m pod horní plochou pražců.

Pokud se měření provádí, jak se předpokládá, v celé délce traťových nebo definičních úseků je třeba zdůraznit, aby tyto úseky byly osazeny magnetickými značkami, které jsou měřicím vozem (speciálním snímačem) detekovány. Kvalita a přesnost vyhodnocení monitorování závisí na přesné registraci začátku a konce kontrolovaného úseku. Srovnávání kontrolních měření podle kilometráže pevných bodů v trati (např. mostní objekty, úroňová křížení apod.) je sice možné ale značně pracné. Dosažení požadovaného výstupu je pak časově náročné a částečně se i přesnost vyhodnocení snižuje.

Využití radaru ke kontrole provedených staveb

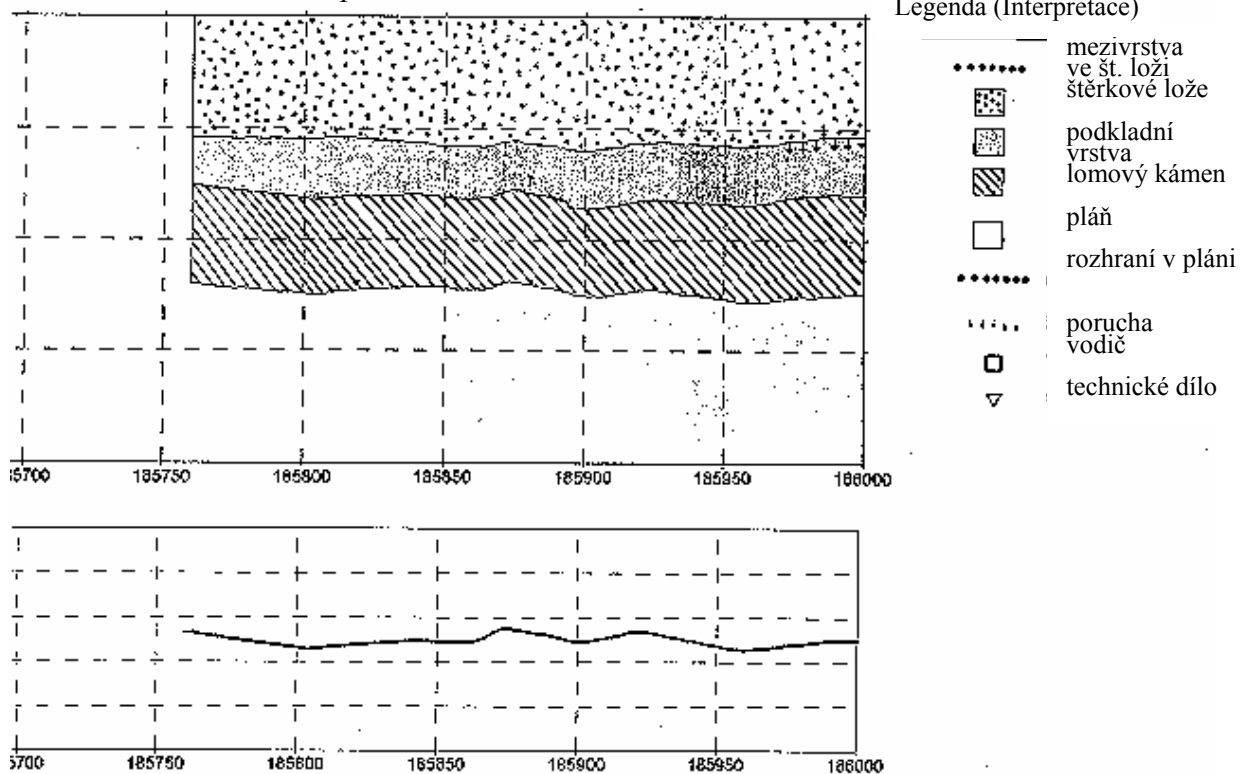
Spojení diagnostiky geometrických parametrů koleje a železničního spodku je kvalitativním přínosem pro provozní potřeby správců dopravní cesty a také investorských složek. Umožňuje rychlé a adresné zhodnocení závad v železničním spodku pro účely :

Kontroly technologické kázně při rekonstrukcích tratí

Provést porovnání údajů kvantitativní interpretace radarového měření se skutečným provedením stavby. To může odhalit nedodržení prováděcího projektu stavby, tedy závady v kvalitě provedení.

Je žádoucí, aby monitorování a vyhodnocení skutečného stavu provedené rekonstrukce na železničním spodku se stalo součástí technické dokumentace stavby podle skutečného provedení, kterou předkládá zhotovitel objednateli prací při příjemce díla. (Podobně jako je tomu u dokladů požadovaných pro železniční svršek.)

Ukázka kvantitativní interpretace:



Sledování stavu železničního spodku z hlediska časových změn po dobu záruční lhůty

Tato možnost je velmi významným přínosem pro správce trati po převzetí stavby.

V případě, že železniční spodek nebyl proveden v souladu s projektovanými parametry (např. nedostatečné hutnění technologických vrstev pražcového podloží), dochází v pražcovém podloží ke změnám (promísení vrstev, zatlačování vrstev, průnik spodní vody apod.). Ty odhalí časové monitorování radarovým měřením a počítačové odečtení rozdílů obou měření.

Radarem detekované nehomogenity se projeví v první fázi zpravidla ve změně tloušťky jednotlivých konstrukčních vrstev pražcového podloží.

Vzájemným porovnáním výsledků (vyhodnocení) měření železničního svršku a spodku současně získá správce trati další důležité informace:

- Radarové měření signalizuje poruchu (anomálii) v pražcovém podloží.

Přitom geometrická poloha koleje, vyjádřená dovolenými odchylkami parametrů koleje (dle ČSN 736360) pro dané rychlostní pásmo závady nevykazuje .

To znamená, že v tomto místě lze později očekávat závady i v geometrické poloze železničního svršku, které se budou zřejmě periodicky opakovat pokud se jejich příčina v železničním spodku neodstraní .

- Porucha je zjištěna jak v pražcovém podloží, tak i v geometrické poloze koleje (GPK).

To znamená, že vlivem poruchy v železničním spodku je již porušena i GPK. Pokud nebude příčina, tj. porucha v železničním spodku odstraněna, lze očekávat periodické opakování závad v GPK, především v podélné výšce kolejových pásů a zborcení .

Výsledky měření radarem jsou objednatelům měření předány (podle požadovaného rozsahu) v interpretované grafické formě s příslušnými závěry a doporučeními.

Vlastní měření, jeho vyhodnocení a interpretace vyžaduje příslušné přístrojové a programové vybavení a speciální znalosti a praxi v oboru geotechniky jako takové.

Pro ČD proto mohou měření a jeho interpretaci provádět jen fyzické nebo právnické osoby, které pro tuto činnost mají osvědčení vydané ČD. V současné době je toto osvědčení vydáno firmě G Impuls Praha s. r. o.

Závěr

Použití georadaru je dalším přínosem pro komplexní diagnostiku železničních tratí. Je možné ho využít i při dalších úlohách, jako např. k posuzování přechodových oblastí mezi mostní konstrukcí a tělesem železničního spodku, prozkoumání a určení pravděpodobných příčin svážlivých míst násypů, zářezů a dalších.

Literatura

- [1] Göbel, Hellmann: Georadar - nová metoda hrubé diagnostiky pro zajišťování a vyhodnocování stavu železničního spodku. Mezinárodní konference o železničním spodku, Žilina, březen 1992.
- [2] ČD-DDC Praha: Pokyny pro používání radarové metody v diagnostice železničního spodku na tratích ČD. Č.j. 55740/96-S13 z 26.2.1996.
- [3] ČD-DDC Praha: Pokyny pro použití georadaru v měřicím voze pro železniční svršek. Č.j. 60139/98-S13 z 16.11.1998.

V Olomouci, únor 1999

Lektoroval: Ing. Josef Mynář
ČD DDC O 13