

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



# **Diagnostika technického stavu vozovek**

bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

Autor práce: Jan Mašek

PRAHA 2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Mašek Jan

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Diagnostika technického stavu vozovek**

Anglický název

**Road Diagnostics**

### Cíle práce

Cílem práce je popsat formou literární rešerše v současnosti používané metody a příslušné principy diagnostiky technického stavu vozovek. Jednotlivé metody budou reprezentovány ukázkou a popisem běžně dostupných používaných technologií. Důraz bude kladen zejména na zjišťování technického stavu povrchu vozovky.

### Metodika

Student vyhledá odbornou literaturu a související informační zdroje k tématu práce. Student zpracuje literární rešerši, v které zmapuje současný stav poznání v oblasti zadané problematiky. Dále se student seznámí s pokyny Technické fakulty pro vypracování a odevzdání bakalářské práce. Student bude pracovat systematicky a průběžné výsledky bude konzultovat s vedoucím práce. Student vypracuje čistopis práce a ten v řádném termínu odevzdá na sekretariátu katedry.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Literární rešerše
3. Závěr
4. Literatura

## Rozsah textové části

30-40 stran

## Klíčová slova

diagnostika, vozovka, doprava, údržba

## Doporučené zdroje informací

LAY, M. Handbook of road technology. 4th ed. New York: Spon, 2009, 933 p. ISBN 02-038-9253-4.

JEŽKOVÁ, Jaromíra, Petr MONDSCHHEIN a Eva DLOUHÁ. Dopravní stavby. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006, 151 s. ISBN 80-010-3393-7.

Šlachta, E., Moc, J., & Žalud, J. (1986). Diagnostika vozovek a metodika oprav 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit.

KREIDL, Marcel, Petr MONDSCHHEIN a Eva DLOUHÁ. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. ISBN 80-730-0158-6.

internetové zdroje a firemní literatura

## Vedoucí práce

Peterka Bohuslav, Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2012

## Termín odevzdání

duben 2014

**prof. Ing. Josef Pošta, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

Jan Mašek

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce, Ing. Bohuslavu Peterkovi, Ph.D. za poskytnutí potřebných informací pro zpracování práce, za profesionální a osobní přístup a za čas, který mi věnoval.

Děkuji též své rodině za trpělivost při vypracování této práce.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce se zabývá diagnostikováním poruch různých povrchů vozovek, běžně používaných pro stavbu silnic v České republice, ale i ve světě. Popisuje druhy vozovek podle použitých materiálů a konstrukce, nacházejících se na území České republiky. Obsahuje popis nejčastějších vad vozovek pozemních komunikací, včetně mechanismů porušení a zatřídění poruch podle technických podmínek platných v ČR. Hlavním cílem práce je shrnout dostupné a používané metody diagnostiky.

**Klíčová slova:** diagnostika, vozovka, doprava, údržba

## **Road Diagnostics**

**Summary:** This Bachelor thesis deals with diagnostics of all sorts of road surfaces that are usually used for building roads both in Czech republic and all around the world. It describes different kinds of roads in Czech republic, divided by used materials and types of construction. It contains description of most common road defects, including the mechanisms of breach and classification of defects according to technical specifications valid on Czech republic. The main purpose of this work is to sum up available and used methods of diagnostic.

**Key words:** diagnostics, roadway, traffic, maintenance

# OBSAH

ÚVOD.....	1
1. Typy vozovek v ČR.....	2
1.1 Dělení podle dopravního významu .....	2
1.1.1 Kategorie silnic a dálnic .....	3
1.2 Vozovky v ČR podle použitých materiálů.....	3
2. Základní pojmy spolehlivosti konstrukcí vozovek.....	4
2.1 Stavební stav .....	4
2.2 Dopravně technický stav .....	4
2.3 Spolehlivost vozovky .....	4
2.4 Provozní funkce vozovky.....	4
2.5 Provozní způsobilost.....	5
2.6 Únosnost.....	5
2.7 Trvanlivost .....	5
2.8 Udržovatelnost a opravitelnost.....	5
2.9 Konstrukční porucha .....	5
2.10 Povrchové poruchy.....	5
2.11 Návrhová úroveň porušení .....	5
2.12 Mechanismus porušování.....	6
3. Klasifikace poruch .....	6
3.1 Zatřídění poruch .....	7
3.2 Rozsah poruch.....	7
3.3 Druhy poruch vozovek.....	8
3.4 Mechanismy porušování asfaltových vozovek .....	9

3.4.1	Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky.....	9
3.4.2	Ztráta hmoty z krytu .....	9
3.4.3	Trhliny .....	10
3.4.4	Deformace vozovky .....	14
3.5	Přehled poruch .....	15
3.5.1	Poruchy vozovek s CB krytem .....	16
3.5.2	Poruchy netuhých vozovek.....	16
4.	Diagnostika stavu vozovek .....	17
4.1	Stálé parametry vozovek .....	18
4.2	Proměnné parametry vozovek.....	18
4.3	Sběr informací.....	18
4.4	Metody sběru poruch.....	19
4.4.1	Vizuální prohlídka .....	19
4.4.2	Měření únosnosti.....	22
4.4.3	Měření rovnosti povrchu vozovky .....	25
4.4.4	Měření drsnosti povrchu vozovky .....	29
4.4.5	Jádrové vývrty, vrtané sondy, georadar .....	32
4.5	Sběr poruch pomocí vozidla ARAN .....	33
5.	Závěr .....	35
	LITERATURA .....	36
	SEZNAMY .....	38
	Seznam zkratk .....	38
	Seznam obrázků .....	39
	Seznam tabulek .....	39
	Seznam příloh.....	40



## ÚVOD

Silniční infrastruktura je velice důležitým aspektem dobře fungujícího státu a pro její hodnocení je rozhodující stav vozovek. Stav vozovky můžeme definovat jako její provozní způsobilost a únosnost.

Tato práce se zabývá přímo problematikou diagnostiky vozovek, pro lepší uvedení do problematiky popisuje dosavadní konstrukci vozovek, včetně použitých materiálů na výstavbu a v neposlední řadě druhy poruch, vyskytujících se na vozovkách. Konstrukce a poruchy vozovek jsou popsány v TP (Technické podmínky) vydávané Ministerstvem dopravy.

Diagnostika vozovek získává v posledních letech na čím dál větší důležitosti, jelikož je v České republice většina silnic postavena a musí se zajistit sjízdnost těchto komunikací i v budoucích letech. Vlivem dopravního zatížení a ostatních nepříznivých vlivů dochází k degradaci stavu vozovky a hledá se nejvhodnější způsob k získání aktuálního stavu silniční sítě pro plánování oprav a údržbu.

## 1. Typy vozovek v ČR

Možností, podle kterých můžeme dělit vozovky do skupin existuje celá řada a nelze je obsáhnout v této práci všechny. Budeme se tedy věnovat základním rozdělením, jako je rozdělení podle způsobu porušování a přetváření. Takto vznikly dvě základní skupiny vozovek:

- **tuhé vozovky** - jejich hlavní nosnou konstrukcí je cementobetonová deska, opatřená asfaltovým krytem, nebo bez krytu; nebo může být nosná konstrukce pouze z cementobetonových desek, cementobetonová deska se porušuje trhlinou a při překročení meze pevnosti se rozpadá na bloky;
- **netuhé vozovky** - jsou definovány jako vozovky z asfaltového krytu a asfaltem stmelеныmi nebo nestmelеныmi podkladními vrstvami, které v závislosti na teplotě, obsahu asfaltu ve směsi a jeho gradaci se přetvářejí pružně a porušují se jemnou sítí trhlin. [1]

Některé vozovky ale díky své stavbě není možné zařadit do výše zmíněných skupin a tak existují doplňkové skupiny:

- **polotuhé** - kryt je tvořený z asfaltových směsí a podklad z cementem stmelеныmi materiály, s výjimkou cementového betonu;
- **paratuhé** - tedy takové, které v sobě mají zabudované spáry, jedná se o vozovky z dlaždic, tvárnic, dlažebních kostek apod. [1]

### 1.1 Dělení podle dopravního významu

Podle dopravního významu dělíme pozemní komunikace následovně:

- **Dálnice** - PK spojující důležitá centra státního, nebo mezinárodního významu, směrově rozdělená, s omezeným přístupem, vyhrazená pro provoz motorových vozidel, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než stanoví zvláštní předpis.
- **Silnice** - veřejně přístupná PK určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci. [2]

V České republice je celkem 55 747,6km silnic a dálnic, jejich zastoupení podle dopravního významu je dobře vidět v *tabulce 1*. Dálnice zastupují z celkového počtu PK pouze 1,4%, silnice zbylých 98,6%. [3]

*Tab. 1 Délka silnic a dálnic v ČR*

	dálnice	rychlostní silnice	silnice I. třídy	silnice II. třídy	silnice III. třídy	celkem
délka silnic v ČR [Km]	775,8	459,4	5 773,8	14 577,5	34 161,1	55 747,6
celkové zastoupení [%]	1,4	0,8	10,4	26,1	61,3	100

Zdroj: [http://www.rsd.cz/sdb\\_intranet/sdb/download/prehledy\\_2015\\_1\\_cr.pdf](http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2015_1_cr.pdf)

### 1.1.1 Kategorie silnic a dálnic

Kategorie určují šířkové uspořádání silniční komunikace. Jsou určeny normou ČSN 73 6101. Kategorie je určena zlomkem, kde v čitateli je označení charakteru komunikace velkým písmenem, spolu s kategorií šířkou v metrech. Ve jmenovateli se nachází návrhová rychlost v km/h. [2,4]

Označení kategorie: - Dálnice D  
 - Rychlostní silnice R  
 - Silnice S

### 1.2 Vozovky v ČR podle použitých materiálů

V ČR je nejčastějším materiálem krytů vozovek živičný kryt, následuje kryt těžký (dlážděný, cementobetonový a těžký živičný) a nejméně zastoupený je lehký živičný kryt. -viz *tab.2* [3]

V *tab. 2* nejsou zahrnuty dálnice a kryty šterkové nebo bez určení.

Tab. 2 Délka silniční sítě podle krytu vozovky

	těžký kryt	živičný střední	živičný lehký	celkem
délka silnic [km]	16 821,4	29 394,6	8 162	54 378

Zdroj: [http://www.rsd.cz/sdb\\_intranet/sdb/download/prehledy\\_2015\\_1\\_cr.pdf](http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2015_1_cr.pdf)

## 2. Základní pojmy spolehlivosti konstrukcí vozovek

Sjízdnost dálnic, silnic a místních komunikací je zajištěna, pokud jsou splněny základní podmínky pro bezpečný pohyb silničních vozidel a jiných vozidel, přizpůsobený stavebnímu stavu, dopravně technickému stavu těchto PK a povětrnostním situacím a jejich důsledkům. [2]

### 2.1 Stavební stav

Stavební stav PK zahrnuje kvalitu, stupeň opotřebení povrchu, únosnost vozovky a vybavení PK součástmi a příslušenstvím. [2]

### 2.2 Dopravně technický stav

Vyjadřuje technické znaky PK (příčné uspořádání, příčný a podélný sklon, šířka, druh vozovky, apod.) a začlenění PK do okolního terénu. [2]

### 2.3 Spolehlivost vozovky

Znamená, že vozovka dokáže plnit požadované provozní funkce v navrhnutém časovém úseku. Nejdůležitějšími charakteristikami spolehlivosti je provozní způsobilost a únosnost. Jako další charakteristiky spolehlivosti lze zmínit trvanlivost, udržovatelnost a opravitelnost vozovky. [5]

### 2.4 Provozní funkce vozovky

Provozní funkce vozovky vyjadřuje vlastnosti, které umožňují bezpečný, plynulý, rychlý, hospodárný a pohodlný provoz silničních vozidel s omezením vlivu na životní prostředí. [5]

## **2.5 Provozní způsobilost**

Vyjadřuje vlastnost povrchu vozovky. Jsou to buď okamžité měřené hodnoty protismykových vlastností, podélné a příčné nerovnosti a dopravního hluku, nebo druhem, umístěním a velikostí poruch vozovky. [5]

## **2.6 Únosnost**

Únosnost je schopnost vozovky přenášet zatížení. Je vyjádřena zatížením nápravy nebo sestavy kol a počtem opakování těchto zatížení. [5]

## **2.7 Trvanlivost**

Trvanlivost vyjadřuje schopnost povrchu vozovky odolávat účinkům zatížení a klimatických vlivů. Trvanlivost je určena předpokládanou dobou životnosti obrusné vrstvy. [5]

## **2.8 Udržovatelnost a opravitelnost**

Jsou to schopnosti vozovek setrvávat nebo zlepšovat provozní způsobilost a únosnost díky technologii údržby a oprav. [5]

## **2.9 Konstrukční porucha**

Konstrukční porucha vyjadřuje kumulované poškození opakovaným zatěžováním. Opakováním zatížení vznikají ve stmelených vrstvách vozovky trhliny. Opakovaný tlak na podloží má za následek kumulaci nepružných přetvoření a následným vývojem nevratných deformací ve stopě vozidel, narušení odvodnění silniční pláně a může vést až k destrukci vozovky. [5]

## **2.10 Povrchové poruchy**

Jsou to poruchy krytových vrstev vozovek a jejich následkem je ztráta odolnosti proti smyku a vznik nerovností. Díky tomu musí být kryt vyspraven, zvyšuje se dopravní hluk a dochází ke zhoršení jízdního pohodlí. [5]

## **2.11 Návrhová úroveň porušení**

Vyjadřuje předpokládaný vývoj porušení vozovky na konci návrhového období. Je dán přípustnou plochou výskytu konstrukčních poruch. [5]

## 2.12 Mechanismus porušování

je souhrn mechanických, fyzikálních, chemických a jiných procesů, které způsobují poškození a porušení povrchu nebo konstrukce vozovky. [6]

## 3. Klasifikace poruch

Pokud chceme vytvořit podklady pro návrh údržby a opravy, musíme poruchy vozovek třídit a stanovit jejich rozsah. Pro zatřídění poruch existují různá hlediska jako jsou příčiny vzniku poruch, z hlediska typu vozovky, z hlediska místa vzniku poruchy, nebo z hlediska možnosti její opravy. Rozhodující je jak porucha ovlivňuje provozní způsobilost vozovky.[7]

Parametry vozovky a její stav ovlivňují v zásadě:

- bezpečnost silničního provozu,
- rychlost, plynulost, hospodárnost a komfort silničního provozu,
- další porušování konstrukce vozovky.

Špatný technický stav komunikace vede ke zvýšení finančních nákladů:

- ztrátami při dopravních nehodách,
- ztrátami hospodárnosti silničního provozu (ztráty času, zvýšené náklady na provoz a zhoršení komfortu jízdy),
- provádění údržby a oprav. [6]

Hlavní účel pro zatřídění poruch je v získání co nejefektivnější metody odstranění nebo předcházení vývoje poruch. Vychází se především z těchto bodů:

- dopravní význam PK,
- zatřídění poruch,
- plošného rozsahu poruch,
- posouzení různých technologií údržby a oprav z ekonomického hlediska.[6]

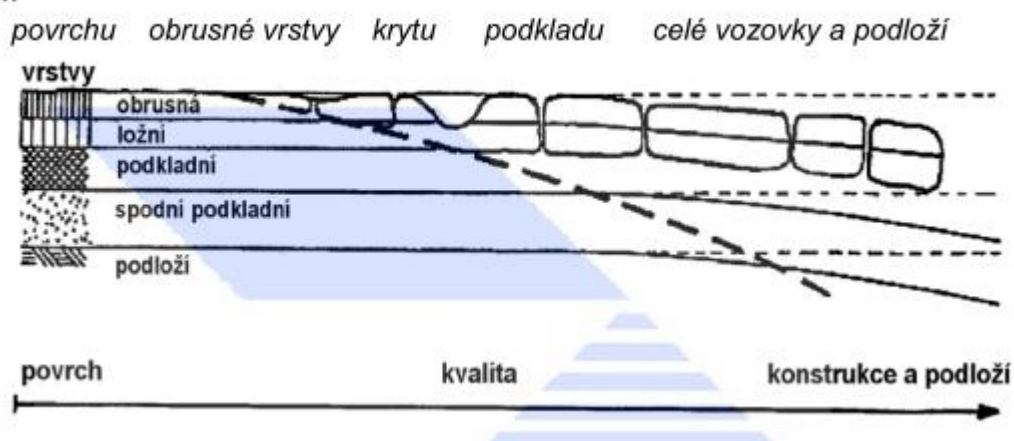
### 3.1 Zatřídění poruch

Zatřídění poruch se provádí: -z hlediska údržby a opravy,  
- podle významu porušování konstrukce.

Jestliže porucha vznikne na povrchu vozovky, šíří se do všech směrů obrusné vrstvy a pokud dojde ke včasné opravě nebo omezení vzniku, prodlouží se životnost. Jestliže nedojde ke včasnému odstranění, dochází k namáhání obrusné vrstvy a porucha se šíří do dalších vrstev konstrukce a následně i do podloží.

Poruchy mohou vzniknout i v podloží a zemním tělese, hovoříme o nejzávažnější poruše a musí následovat oprava celé konstrukce. Zatřídění poruch je znázorněno na *obr. 1*.

#### Porušení:



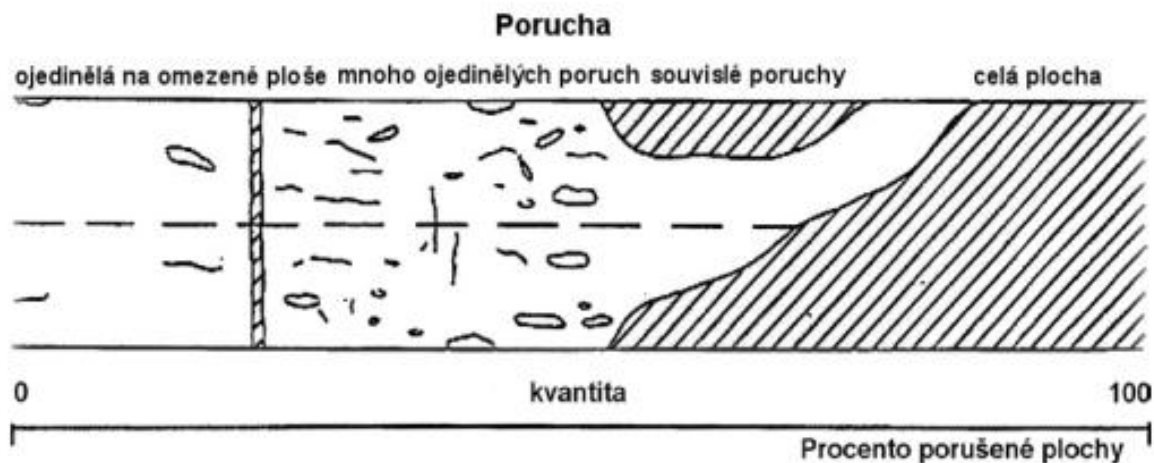
*Obr. 1* Zatřídění poruch postihující povrch až celou konstrukci vozovky

Zdroj: [6]

### 3.2 Rozsah poruch

Rozsah poruch vyjadřuje plochu zasaženou poruchami a jejich následný vývoj.

Šíření poruch do plochy vozovky od ojedinělých poruch až k celoplošným poruchám, je znázorněno na *obr. 2*. [6]



Obr. 2 Šíření poruch do plochy vozovky

Zdroj: [6]

### 3.3 Druhy poruch vozovek

Poruchy vozovek rozlišujeme podle mnoha hledisek, jako je rozlišení podle typu vozovky, podle příčiny vzniku poškození, apod.

Tato hlediska se ale liší nejvíce, pokud porovnáváme porušení tuhých a netuhých vozovek, proto rozeznáváme dvě hlavní skupiny porušení vozovek podle konstrukce:

- poruchy na **asfaltových** vozovkách,
- poruchy na **cementobetonových** vozovkách.[8]

Pro oba typy platí důležitá klasifikace podle místa vzniku poruchy:

- **povrchové**, způsobené jevy, které se odehrávají na povrchu vozovky (např. od dopravního zatížení, klimatickými vlivy), nebo vlastnostmi použitých materiálů krytu;
- **konstrukční**, většinou způsobené nadměrným namáháním a únavou materiálů;
- v **podloží**, způsobené změnami stavu podloží vlivem vody, teplot a jiných nepříznivých vlivů
- **porušení mechanickým nebo chemicko-fyzikálním poškozením.**

V jednom druhu poruchy můžeme nalézt více typů poruch. [8]



### 3.4 Mechanismy porušování asfaltových vozovek

Hmoty, které se používají pro stavbu vozovek, podléhají poškozování a porušování, jako každý materiál. Dochází k tomu díky teplotním změnám, různým klimatickým jevům a zatížení provozem. Obrusná vrstva vozovek těmto vlivům čelí nejvíce, ale porušování lze omezit vhodným výběrem materiálu a snížit porušování na minimum. Nelze mu však úplně zabránit, vždy je třeba počítat s údržbou a opravou vozovky.

K porušování a poškozování celé konstrukce vozovky vedou různé mechanismy porušení, ty závisí na návrhu vozovky, použitých materiálech, dodržení technologických postupů, apod.

Mechanismy porušení způsobující poruchy povrchu jsou dále popsány. [6]

#### 3.4.1 Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky

Ztráta protismykových vlastností souvisí se snížením součinitele tření. Smykové tření je důležité pro získání odporu při relativním pohybu povrchu pneumatiky vůči povrchu vozovky při akceleraci, brzdění a změně směru vozidla. Pokud je materiál vozovky dostatečně pevný a ostrý, můžeme očekávat lepší a trvanlivější součinitel tření. Vizualně se vada projevuje lesklým hladkým povrchem.[6,8]

Existují dva případy, kdy nastane ztráta protismykových vlastností:

- **ztráta makrotextury** povrchu vozovky - při níž dojde k zatlačení vystupujících zrn kameniva do povrchu a vznikne hladká plocha;
- **ztráta mikrotextury** povrchu vozovky - dochází k obroušení zrn kameniva vystupujících z vozovky vlivem dotyku s pneumatikami

Oba jevy vedou ke ztrátě protismykových vlastností, který se zjišťuje měřením součinitelů podélného ( $f_p$ ) a bočního tření ( $f_b$ ). [6]

#### 3.4.2 Ztráta hmoty z krytu

Vzniká působením zatížení, mechanickými účinky vozidel, stárnutím asfaltu, odplavováním, či vysáváním částecek a uvolněním obroušeného kameniva a asfaltové malty z povrchu krytu. V pozdějším období dochází i k uvolňování větších zrn. Postupně tak ubývá hmota z obrusné vrstvy. Na pohled se závada pozná podle otevřené struktury povrchu vozovky. Otevřený povrch obrusné vrstvy vede k rychlé degradaci kameniva

a pojiva ve směsi. Na destrukci povrchu vozovky se podílí mechanické účinky vozidel, klimatické činitele a opakované promrzání a solení povrchu vozovky. Pokud se problém neošetří včas, dojde ke vzniku výtluků ve vozovce.[6,8]

Postupným porušováním dochází k těmto stádiím porušení:

- ztráta tmelu (povrchová degradace, vypírání povrchu),
- vylamování hrubého kameniva (hloubková koroze),
- výtluky. [8]

### **3.4.3 Trhliny**

Trhliny vznikají většinou na vozovce v důsledku smršťování vrstev stmelených cementem, díky nedostatečné únosnosti vozovky, nebo kontrakci jednotlivých vrstev krytu.

Podle směru se rozlišují trhliny:

- příčné (směřují kolmo k ose vozovky),
- podélné (jsou rovnoběžné s osou vozovky),
- síťové,
- nepravidelné.

Šířka trhlín se pohybuje v řádu několika milimetrů až centimetrů, podle hloubky a šířky rozlišujeme mikrotrhliny a makrotrhliny. [8,9]

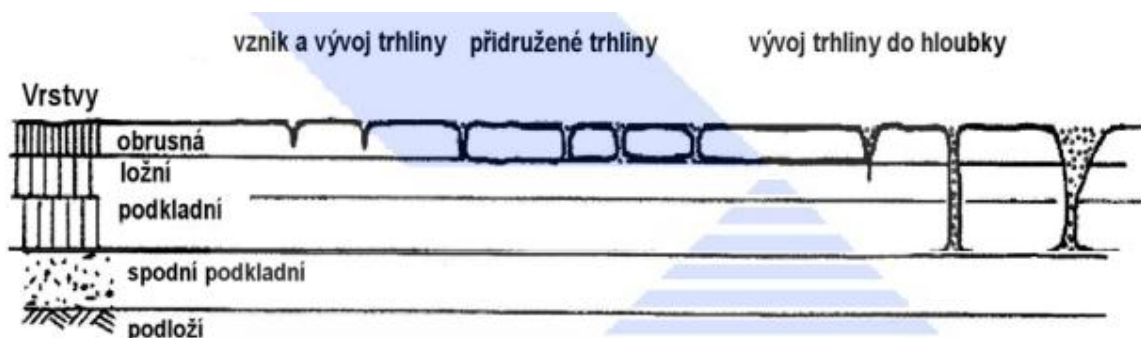
#### **3.4.3.1 Mrazové trhliny**

Při velmi nízkých teplotách, nebo při rychlém poklesu teploty dochází ke smršťování povrchu vozovky. Následkem toho vzniká smršťovací trhlina, která se dále rozšiřuje a oslabuje obrusnou vrstvu vozovky. Opakováním tohoto jevu dochází k prohlubování trhliny, která způsobí postup i do dalších vrstev vozovky, nebo dojde k oddělení jednotlivých vrstev.[6]

Rozdělení do stádií porušení vlivem příčné trhliny:

- úzká trhlina části šířky vozovky,
- úzká trhlina přes celou šířku vozovky,
- větvení trhliny nebo vytváření přidružených trhlinek,
- prohlubování a vznik široké trhliny s olamováním hran a případně vývojem přidružených trhlín.

Vývoj a vznik trhlín je znázorněn na *obr. 3*.



*Obr. 3* Znázornění vzniku a vývoje trhlín

Zdroj: [6]

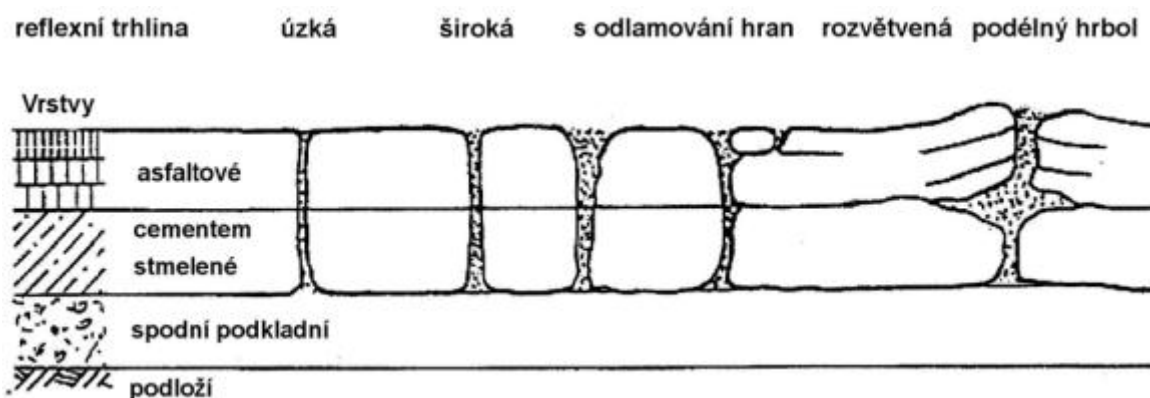
#### 3.4.3.2 Reflexní trhliny

V ČR byly pro stavbu komunikací často využívány stmelené podkladní vrstvy, což jsou materiály smíchané s cementem, popílkem nebo struskou. Výhoda těchto směsí je v jejich pevnosti. Bohužel kromě vysoké pevnosti mají nevýhodu v křehkosti. Postupem času je nahradilo MZK.

Nevýhoda plynoucí z křehkosti je vytváření reflexních trhlín, které vznikají díky teplotním změnám a smršťování. Uvedené jevy vedou k tahovému namáhání, díky kterému křehké podkladní vrstvy snadno prasknou. Trhliny se tvoří po celé délce vozovky a posléze mohou narušit i asfaltový kryt. Rozšiřování trhlín pokračuje v závislosti na okolnostech, dochází k zanášení trhlín pískem a nečistotami a k pronikání vody. - viz. *obr. 4*. Vzdálenost mezi trhlínami se pohybuje okolo 3 až 30 m, v závislosti na pevnosti betonu nebo stmeleného podkladu. [6]

Výše popsané vlivy způsobují následující poškození:

- úzká trhлина,
- široká trhлина,
- odlamování hran trhlín,
- narušení spojení mezi vrstvami, vznik podružných trhlín, jako trhlín mozaikových,
- vytváření hrbolu vyplněním trhlín, při teplotních změnách



Obr. 4 Znárodnění vývoje reflexních trhlín

Zdroj: [6]

### 3.4.3.3 Mozaikové trhliny

Jsou to trhliny ve tvaru sítí různé velikosti a vznikají většinou v obrusné vrstvě vozovky. Vývoj těchto trhlín má progresivní charakter a posledním stádiem je až rozpad obrusné vrstvy a vznik výtluků. [9]

Porucha je většinou způsobena zvýšeným stárnutím asfaltu, nebo nekvalitní směsí asfaltu. V návaznosti na dopravním zatížení a nízké teploty vznikají v nejvíce namáhaném průřezu trhlínky, do kterých se následně dostává voda a pod tlakem od pojíždějících vozidel se dostává až na spojení s vrstvou ložní a narušuje zde spojení. Trhliny se tvoří nejčastěji na okraji jízdní stopy. Porucha také může vzniknout, pokud nejsou vrstvy spojeny už od výstavby (např. pokud je další vrstva vozovky kladena na znečištěný nebo mokrá podklad). [6]

Stádia vývoje mozaikové trhliny:

- krátké, nepatrné nepravidelné trhlinky,
- větvení trhlín do stop vozidel i mimo ně, vznikají rozvětvené trhliny,
- větvení trhlíny do stop i mimo ně, vznik rozvětvené trhlíny,
- spojování trhlínek v síť trhlín,
- plošné zvětšování a zahušťování sítě trhlín,
- postupná eroze a vylamování částí vrstvy mezi trhlinami,
- vznik výtluků mezi trhlinami. [6]

#### **3.4.3.4 Síťové trhliny**

Častým a opakovaným zatěžováním v místě nejvyššího namáhání dochází u asfaltových vrstev na spodním líci k narušení vzájemného spojení mezi zrny a ke vzniku trhliny. Trhlina se šíří do délky a k povrchu vozovky, kterého dosáhne a vozovkou se do konstrukce a do podloží dostane voda. Podloží díky vodě ztratí únosnost a vozovka je následně zatlačována do podloží a vzniká nevratná deformace vozovky. Trhliny tvoří síť, ale ne tak hustou jako trhliny mozaikovitě, mohou však z mozaikovitých trhlín vzniknout.[6]

Vývoj síťových trhlín vypadá asi takto:

- podélná trhlina ve stopě vozidel,
- rozšiřování trhlíny,
- trhlina se prodlužuje a větví,
- vznik síťových trhlín,
- plošné deformace,
- prolomení vozovky. [6]

K úplnému odstranění poruch je třeba zásah do všech konstrukčních vrstev vozovky a díky tomu jsou finanční náklady na sanaci jedny z nejvyšších. [6]

#### **3.4.3.5 Porušení pracovních spár**

Na spojení postupně pokládáných obrusných vrstev vzniká oslabení průřezu spojením pokládáných pásů, jelikož první vrstva se u volného kraje řádně nezhutní

(směs uniká do strany od hutnicího stroje). Druhá vrstva na spoji rychleji chladne a nehtní se také optimálně. [6]

Vznikají přímočaré trhliny, které se postupně rozšiřují, prohlubují, nastane vydrolování materiálu a vznikají výtlučky. Těmito trhlinami prochází voda do podloží a může snížit jeho únosnost.

Těmto poruchám lze předcházet dodržením technologických postupů. [9]

#### **3.4.4 Deformace vozovky**

Deformace vozovky nastávají při kumulaci nevratných přetvoření v asfaltových vrstvách, v nestmelených vrstvách vozovky a v podloží, vlivem objemových změn v podloží, zemním tělese včetně podloží násypu nebo poruch zemního tělesa. [6]

##### **3.4.4.1 Trvalé deformace krytu**

Deformace, ke kterým dochází za velmi vysokých teplot povrchu na základě vlastností asfaltu, díky nepružnému přetváření.

Na vzniku trvalé deformace se kromě vysoké teploty podílí:

- pomalá doprava, nebo stání,
- zatížení soustředěné do stejného místa na vozovce (jízdni stopa),
- velký počet zatížení [6]

##### **3.4.4.2 Deformace snížením povrchu vozovky**

Tato deformace má mnoho příčin, jako jsou:

- dohutnění vrstev vozovky, podloží, nebo zemního tělesa při nedostatečném zhutnění při výstavbě,
- porušení zemního tělesa,
- namáhání podloží opakovanými průjezdy vozidel,
- ztráty únosnosti vnikáním vody do podkladních vrstev,
- sesednutí a dohutnění zásypů dodatečných konstrukcí ve vozovce (inženýrské sítě),
- odplavením části zemního tělesa, nebo podloží. [6]

### 3.4.4.3 Hrboly

Hrboly jsou charakterizovány zvedáním povrchu vozovky nebo její části, vznikají:

- na povrchu vozovky,
- v obrusné vrstvě,
- v konstrukci vozovky,
- objemovými změnami. [6]

## 3.5 Přehled poruch

Jednotlivé typy poruch jsou přehledně zatříděny do tabulek, podle materiálu krytu. Jsou řazeny podle mechanismů porušování a kvalitativního vývoje. Každá porucha má přiděleno číslo, které přísluší katalogovému listu poruchy, podle kterého se provádí identifikace a následná oprava. [10]

Katalogový list poruchy obsahuje údaje podle jednotného uspořádání uvedeného v TP62:

- **číslo katalogového listu** - číslo, které může být užíváno namísto názvu poruchy, je dodrženo číslování podle tabulky poruch,
- **název poruchy** - slovní označení poruchy,
- **skupina** - označení skupiny poruch,
- **obrázek** - charakteristická fotografie poruchy,
- **kresba** - zvýrazněný příčný řez poruchou nebo axonometrický pohled s detailem,
- **popis poruchy** - slovní popis vzhledu poruchy,
- **obdobné poruchy** - číslo a název podobně vyhlížející, ale odlišné poruchy,
- **parametr poruchy** - vyjádření charakteristiky poruchy (délka, průměr, plocha atd.) tak, jak se zaznamenává do formuláře nebo uloží do počítače při sběru údajů,
- **závažnost poruchy** - hodnocení závažnosti poruchy ve čtyřech stupních, podle *tab.3*,
- **nejčastější příčina vzniku** - popis vnějších a vnitřních podmínek vzniku poruchy,
- **možný vývoj** - charakterizuje další vývojová stádia poruchy,
- **konstrukční a technické zásady údržby a oprav** - stručný popis použitelných technologií údržby a oprav poruch,
- **případné další fotografie** s popisem upřesňující vzhled, vývoj, výskyt případně i údržbu poruch. [11]

Ukázka katalogového listu poruchy se nachází v *Příloze 1*.

*Tab. 3 Závažnost poruch*

Závažnost poruchy	Stupeň poruchy
málo závažná	1
středně závažná	2
závažná	3
velmi závažná	4

*Zdroj: [11]*

Měření proměnných parametrů PK provádí organizace pomocí měřicích zařízení, která mají oprávnění k měření parametrů vozovek podle TP 207 a plní ustanovení části II/3 MP SJ-PK. Poruchy vozovek zatřídí kvalifikované a zkušené osoby.

### **3.5.1 Poruchy vozovek s CB krytem**

Všechny typy poruch CB krytu jsou shrnuty v tabulce - viz *Příloha 2*, kde čísla poruch odpovídají příslušným katalogovým listům.[11]

### **3.5.2 Poruchy netuhých vozovek**

Typy poruch netuhých vozovek jsou uvedeny v TP 82 z roku 2010. Jsou seřazeny do skupin podle mechanismu porušení. - viz. *Příloha 3*. [12]



#### 4. Diagnostika stavu vozovek

Diagnostický průzkum vozovek patří do systému plánování a provádění údržby a oprav PK, pro který platí TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. [13]

Diagnostika stavu PK prováděná kontrolou vybraných proměnných kvalitativních parametrů vozovky je důležitým zdrojem informací pro následné řídicí procesy o údržbě a opravě silnic a dálnic.

K získání co nejlepších výsledků z diagnostiky musíme postupovat následovně:

- vytvoření systému sběru, ukládání a vyhodnocování dat,
- mít k dispozici měřicí zařízení pro hromadný sběr dat,
- vytvořit dostatečný objem informací o silnicích,
- vytvořit soubor výpočetních programů pro zpracování dat,
- vypracovat metodiku pro klasifikaci stavu PK nebo jejich úseků,
- vypracovat řídicí a rozhodovací modely. [14]

Diagnostickým průzkumem rozumíme soubor činností, které obsahují identifikaci konstrukčních vrstev vozovky, zjištění její únosnosti, vypátrání a inventarizaci poruch, zjištění důvodu poruch a následné předání zjištěných informací k vypracování návrhu údržby a oprav. [13]

Data z diagnostického průzkumu se používají k plánování oprav a údržby a využívá je systém hospodaření s vozovkou (SHV), který se dále dělí na dvě úrovně:

- síťová úroveň,
- projektová úroveň. [13]

**Síťová úroveň** obsahuje cyklicky opakující se proces hledající a posuzující síť PK, které nesplňují provozní způsobilost, nebo se na nich vyskytují poruchy. Navrhuje úseky, které neprošly kontrolou k provedení údržby nebo opravy. [15]

**Projektová úroveň** navrhuje optimální návrh technologie údržby nebo opravy, u úseků které byly vybrány v předchozí úrovni a zpracovává dokumentaci pro zadání stavby.[15]

Rozlišujeme několik parametrů, na kterých závisí posuzování stavu vozovky, jsou to:

- stálé parametry vozovek,
- proměnné parametry vozovek.

#### **4.1 Stálé parametry vozovek**

Stálé, neboli konstantní parametry vozovek jsou parametry, které se nemění bez naší vůle.

Patří sem tyto základní parametry:

- rozměrové údaje (šířka vozovky, tloušťky konstrukčních vrstev),
- příčné a podélné sklony povrchu,
- směrové a výškové oblouky,
- systém odvodnění konstrukce vozovky,
- návrhová rychlost, atd. [14]

Stálé parametry vozovek jsou z velké části uloženy v silniční databance, kterou spravuje (ŘSD) a spadá pod ní Informační systém o silniční a dálniční síti České republiky (ISSDS ČR).

#### **4.2 Proměnné parametry vozovek**

Proměnné parametry vozovek jsou takové, které se mění bez našeho zásahu. Změny způsobuje především stárnutí materiálů, klimatické vlivy a působení silničního provozu. Proměnné parametry jsou současně dopravně provozními parametry vozovky.

Hlavní proměnné parametry vozovek jsou:

- únosnost,
- kluzkost povrchu (součinitel tření),
- rovnost povrchu,
- stav poruch. [14]

#### **4.3 Sběr informací**

Údaje o dopravně provozních parametrech vozovky jsou získávány přímo v terénu zařízeními a přístroji pro hromadný sběr dat. Údaje jsou následně vyhodnocovány a ukládány do silniční databanky. [14]

Správné zatřídění poruch je hlavním předpokladem pro správný návrh údržby a opravy. Dalším předpokladem je stanovení rozsahu poruch, plošného výskytu poruch nebo jejich četnosti. Tyto činnosti probíhají v rámci sběru poruch vozovky.[12]

#### **4.4 Metody sběru poruch**

##### **4.4.1 Vizuální prohlídka**

Sběr poruch lze provádět několika způsoby:

- vizuální prohlídkou se záznamem a) do formulářů graficky nebo do tabulky  
b) do počítače
- video/foto záznamem s vysokým rozlišením a lokalizací záběru

**Vizuální prohlídka se záznamem poruch do formulářů** se provádí pěší pochůzkou po zkoumané komunikaci s denním výkonem asi 5 - 8 km. Data se zakreslují do formuláře - viz. Příloha 4, nebo se zapisují do tabulky - viz. příloha 5. Do formulářů se zapisuje v měřítku. [12]

**Vizuální prohlídka se záznamem do počítače**, provádí se přímo z pomalu se pohybujícího automobilu a sběr poruch funguje poloautomaticky. Provádí se za pomoci přenosného počítače a denní výkonnost dosahuje v závislosti na kvantitě poruch 40 - 80 km. Uplatnění metody je dobře vidět v *Tab.4*. Poruchy se zaznamenávají do staničení, přičemž automobil je napojený na přenosný počítač a zaznamenává ujetou vzdálenost podle tachometru auta. [12]

Tab. 4 Užití metod vizuálních prohlídek na různých úrovních komunikací

metoda sběru		pozemní komunikace						
		D,R	S I.třídy	S II.třídy	S III.třídy	RMK, MK sběrné	MK obslužné	Účelové
ruční	graficky	P-	P	P	P	P-	P	S/P+
	tabulka	-	-	S	S	-	S	S/P
	záznam do počítače	-	S/P	S+/P+	S+/P+	S/P	S+/P+	S/P
automatický	video/foto sběr	S+/P+	S+/P+	S/P+	S/P-	S+/P+	S/P-	-
	LRIS	S+/P+	S+/P+	S/P+	S/P-	S+/P+	S/P-	-

Legenda:

úroveň SHV: S...síťová

vhodnost pro použití: + vhodné

P...projektová

bez znaménka použitelné

- nevhodné

Zdroj: [12]

**Sběr prováděný videozáznamem, případně fotozáznamem s vysokorychlostní závěrkou s vysokým rozlišením** prováděný z automobilu vybaveného technologií je velice rychlý. Za den může dosáhnout tato metoda výkonu až 500 km. Nevýhodou je následné ruční zpracování videozáznamu pro další použití. Používá se na silnicích s velkou intenzitou dopravy, tedy na silnicích nejvyšší úrovně. - viz. Tab. 4

Princip této metody spočívá v digitálním zobrazení povrchu vozovky, pořízené jednou nebo dvěma kamerami s vysokým rozlišením. Kamery jsou umístěné kolmo na vozovku. Systém kamer je doplněn systémem osvětlení, které kompenzuje změnu jasu snímaného obrazu (střídání světla a stínu) a umožňuje snímání vozovky v tunelech nebo dokonce v noci.

Kamerový systém je spojený s přesným měřičem ujeté vzdálenosti a se systémem GPS, díky tomu lze určit polohu snímků s přesností na 10cm.

Vyhodnocení probíhá buď automaticky, nebo poloautomaticky v závislosti na požadavcích objednatele. Program obvykle vyhodnocuje počet, druh a délku trhlin s přesností na 1 mm.

Při zpracování poruch vozovky operátorem je obvykle používán společně se snímky kolmého pohledu na vozovku také záznam vozovky z pohledu řidiče. Tento systém rovněž zajišťuje kontrolu kvality práce jednotlivých operátorů.

Výhoda této metody spočívá v její přesnosti a rychlosti. Pokud jsou měření opakována, můžeme získat model poškození a předpovědět následný vývoj poruch na PK.

Princip fungování je vidět na *obr. 5*. [12]

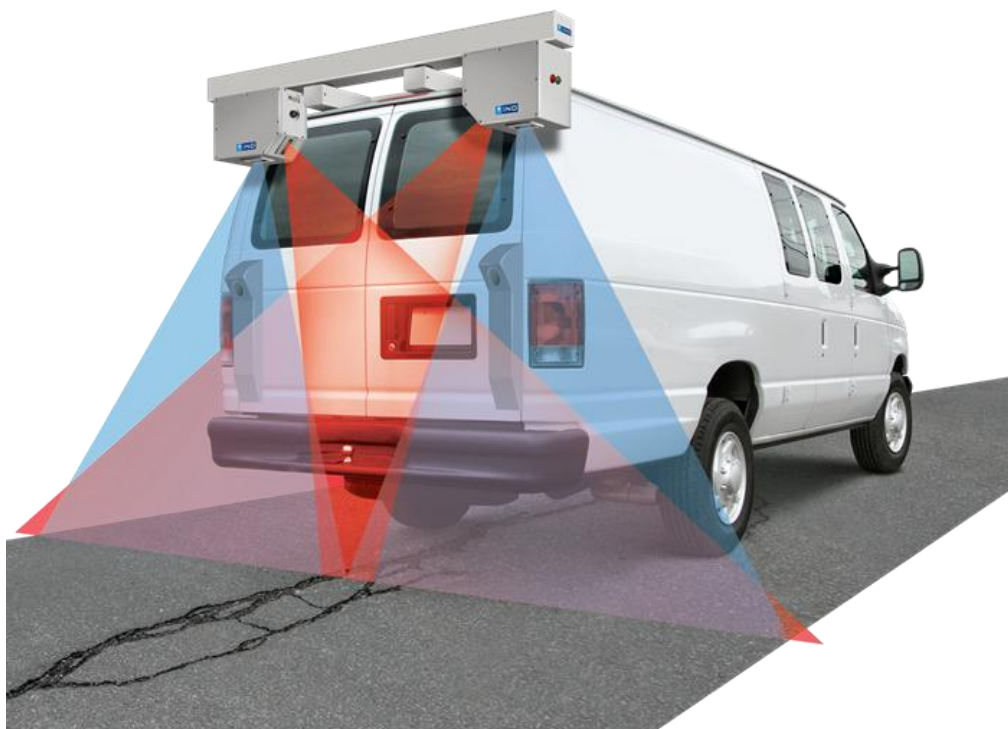


*Obr. 5* Sběr dat prováděný videozáznamem

Zdroj: [http://www.viageos.cz/tech\\_udaje.asp](http://www.viageos.cz/tech_udaje.asp)

**Sběr poruch pomocí laserového zobrazovacího systému.** Moderní metoda nacházející uplatnění zejména na nejvytíženějších silnicích. - viz. tab. 4 Umožňuje sbírat data za jízdy a vytvářet tak 3D modely příčného řezu celé vozovky.

Laserový zobrazovací systém tvoří kombinace dvou vysokorychlostních liniových skenovacích kamer s vysokým rozlišením a výkonných laserových projektorů. Systém zobrazuje kontinuálně povrch vozovky v šířce 4 m v rozlišení 0,5 - 1 mm až do rychlosti 100 km/h. Je snímáno 28 000 linií za 1s a každá linie, dlouhá 4 metry má 8192 pixelů. - viz. *obr. 6*.



*Obr. 6: Princip fungování laserového zobrazovacího systému*

*Zdroj: [http://www.ino.ca/en/examples/laser-road-imaging-system-\(Iris\)/](http://www.ino.ca/en/examples/laser-road-imaging-system-(Iris)/)*

Získaná data představují 3D model povrchu vozovky, díky přesnosti lze určit trhliny, vodorovné dopravní značení, vyjeté koleje, makrotexturu, vysprávkky, výtluky a další typy poruch vozovky.

Vzhledem k vysoké rozlišovací schopnosti tento systém představuje dosud nejlepší dosažitelnou úroveň ve sběru poruch a povrchových vlastností vozovky. [12]

#### **4.4.2 Měření únosnosti**

Měření únosnosti se provádí zatěžovacími zkouškami, při kterých se měří průhyb, průhybový profil, nebo vlivová čára. Měření se provádí statickým, nebo dynamickým zatěžováním. Nejčastěji se provádí dynamické zkoušky tlumeným rázem zařízeními FWD (Falling Weight Deflectometer) - viz *Obr. 7.* [8]



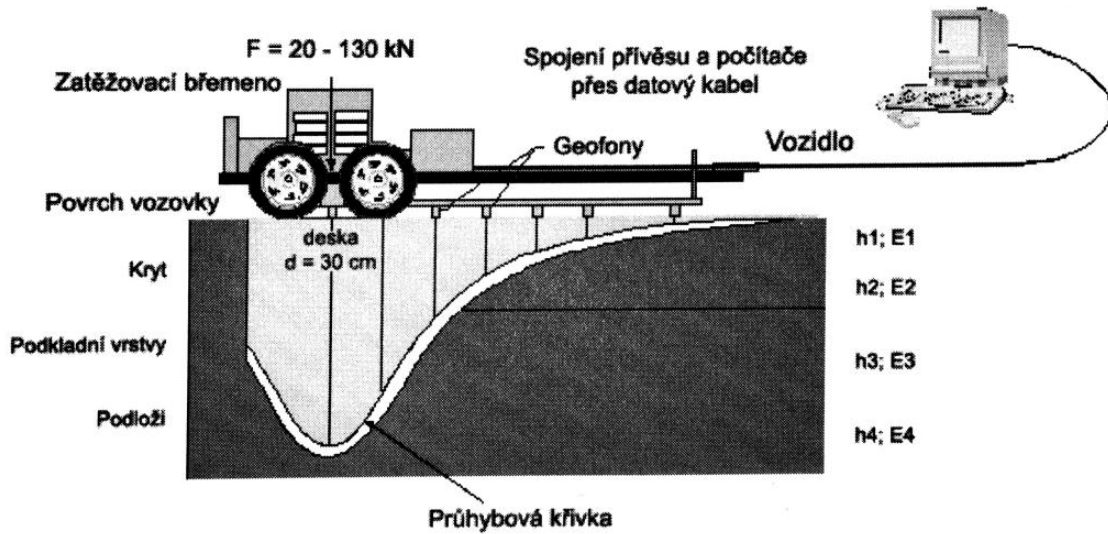
*Obr. 7 Příklad rázového zatěžovacího zařízení (FWD)*

*Zdroj: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/07040/003.cfm>*

Princip tohoto zařízení je ve vyvolání zatížení vozovky rázným pulzem, který je vyvolán pádem břemene přes tlumící vrstvu na kruhovou zatěžovací desku o průměru 300mm. Doba působení rázového pulzu na vozovku je cca 25ms, což odpovídá zatížení vozidla pohybující se rychlostí 50 - 60 km/h. Zatěžování vozovky můžeme měnit změnou hmotnosti břemene, nebo změnou výšky pádu.

Vlivem rázového pulzu dojde ke svislé deformaci povrchu vozovky. - viz. *obr. 8*. Tato deformace je největší pod zatěžovací deskou a se vzdáleností se snižuje. [13]

## ZAŘÍZENÍM - FWD



Obr. 8 Princip měření únosnosti rázovým zatěžovacím zařízením (FWD)

Zdroj: [13]

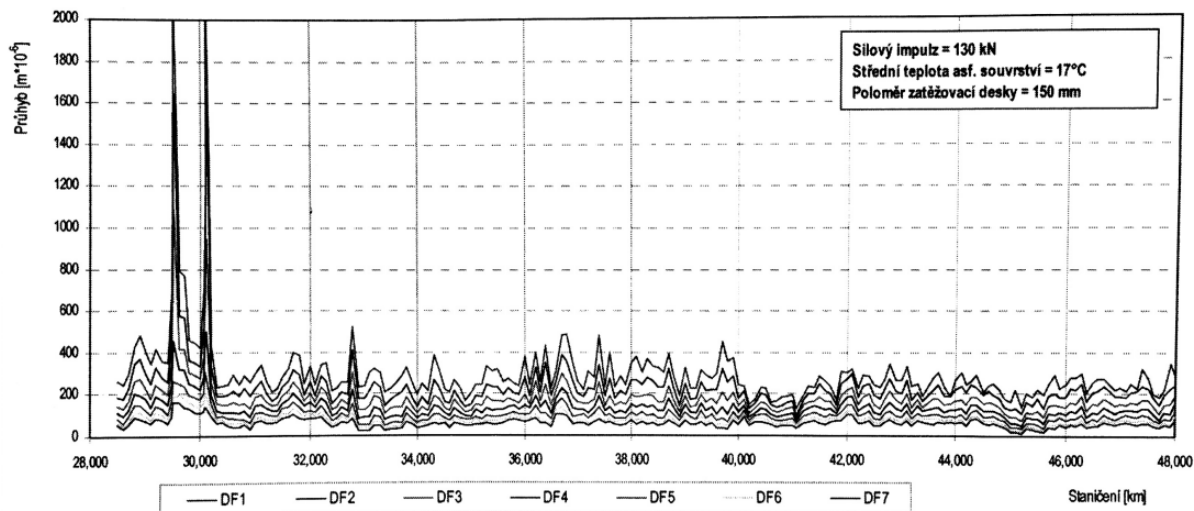
Vyhodnocení dat je prováděno pomocí výpočetních programů, které provádí vyhodnocení iteračními postupy tak, že v každém kroku iterace jsou stanoveny moduly pružnosti jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky a podloží.

Následně se vypočte průhybová čára z rázových modelů pružnosti na základě napětí a deformace daného vrstveného konstrukčního systému. Vypočtená průhybová čára se porovná s průhybovou čárou zjištěnou na základě měření. Rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou průhybovou čárou musí být menší než 5%. [13]

Výstup z výpočetních modelů je znázorněn na obr. 9.



## PRŮBĚH ZJIŠTĚNÝCH PRŮHYBŮ



Obr. 9 Grafické znázornění naměřených a vypočtených dat

Zdroj: [13]

Výsledkem výpočetních programů jsou moduly pružnosti jednotlivých vrstev vozovky a modul pružnosti podloží, zbytková životnost a tloušťka potřebného zesílení. [13]

### 4.4.3 Měření rovnosti povrchu vozovky

Pro měření podélných a příčných nerovností vozovky používáme řadu přístrojů a zařízení, které se rozdělují do těchto skupin:

- přímé měření nerovností (souprava na nivelování, lať dlouhá dva a čtyři metry, profilometrické statické nebo pohyblivé zařízení s možností vytvořit grafický záznam povrchu vozovky),
- bezkontaktní měření (měření pomocí laserových paprsků, ultrazvuku, apod.),
- odezvové přístroje a zařízení (měření svislých účinků odpružené hmoty)

#### 4.4.3.1 Měření latí

Podstatou měření latí je určování maximálních dvouamplitud nerovností pod latí.

K měření používáme dřevěnou nebo kovovou (duralovou) lať dlouhou dva metry. Lať musí být dostatečně tuhá. Šířka spodní plochy latě nesmí být větší než 0,18 m.

Měřicí klín, který se zasouvá pod lať, má sklon 1 : 10, což se rovná jednomu milimetru výšky na 10mm délky. Klín musí být z materiálu odolného proti oděru a jeho šířka má být od 25 do 35 mm. Délka by neměla být větší než 300 mm.

Hodnoty nerovnosti se odečítají na klínu v místě kde jde nejvíce zasunout pod lať.

Měření se vyhodnotí porovnáním maximálních dovolených hodnot a hodnot naměřených. [8]

#### **4.4.3.2 Měření technickou nivelací**

Pro měření je potřeba použít nivelační přístroj, který umožní odečítat výšky s přesností na jeden milimetr. Jednotlivé body v měření můžou být od sebe vzdáleny maximálně 100 mm. [8]

#### **4.4.3.3 Měření stacionárním profilografem**

Jedná se o zařízení složené z měřicího rámu nebo lišty, které se klade kolmo k ose vozovky. Cílem je vynesení grafického průběhu profilu. Měřicí zařízení je tak dlouhé, aby umožnilo měřit pruh široký 3,5 m. Snímací zařízení má citlivost 0,5 mm.

Měření se provádí od pravého okraje jízdního pruhu ke středu jízdního pásu. Snímací zařízení registruje body kontinuálně, nebo po 20 mm. Standardně se posouvá přístroj po 10m. [8]

#### **4.4.3.4 Měření dynamickým profilografem**

Dynamický profilograf umožňuje získávání informací při jízdě vozidla, na kterém je umístěn. Umožňuje měření při rychlosti až 90 km/h.

Hlavní měřicí části profilografu:

- lišta se snímači,
- ultrasonické nebo laserové snímače,
- elektronický měřič délek,
- gyroskop (pro definování vodorovné roviny),
- registrační zařízení a počítač pro sběr naměřených údajů.

Zařízení je buď jako samostatná soustava, nebo je namontované na multifunkčních vozidlech typu ARAN. Pro představu, jak profilograf vypadá, je přiložen *Obr. 10*. [8]



*Obr. 10 Dynamický profilograf na vozidle*

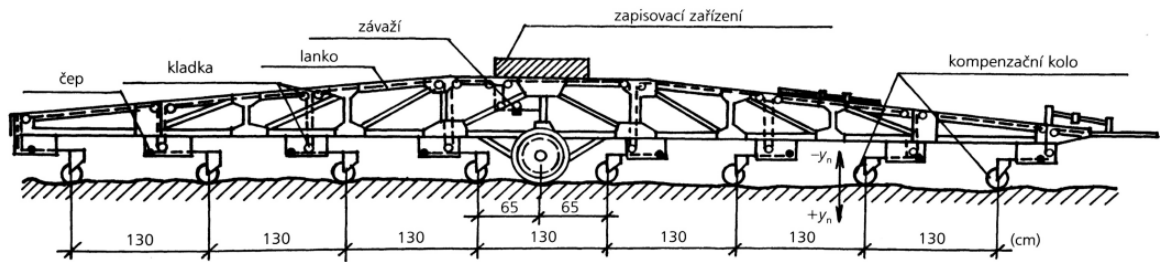
*Zdroj: <http://www.cdb.sk/files/documents/cestna-databanka/profiligraph/profil.jpg>*

Na nosníku který má většinou délku 2,5 m, jsou nainstalovány laserové nebo ultrazvukové snímače, které snímají s určenou frekvencí vozovku. Polohu nosníku registruje inerciální jednotka se dvěma gyroskopy a třemi akcelerátory. Vzdálenost dráhy ujeté vozidlem se měří odometrem. [8]

Měření profilů se vyhodnocuje v krocích 1 až 100 m, na využití pro SHV se k měření používá krok 20 m. Délka měřeného úseku je omezená velikostí záznamového zařízení a z hlediska následného zpracování a ukládání údajů. [8]

#### **4.4.3.5 Měření nerovností viagrafem**

Viagraf je profilometrický přístroj, který se pohybuje po vozovce na soustavě kol. Soustava kol vytváří základnu, od které se měří svislé vzdálenosti na povrchu vozovky. Existuje vahadlový viagraf (planograf) a kompenzační viagraf - viz *Obr. 11*. Viagraf umožňuje měření jen při nízkých rychlostech (maximálně 4 km/h). [8]



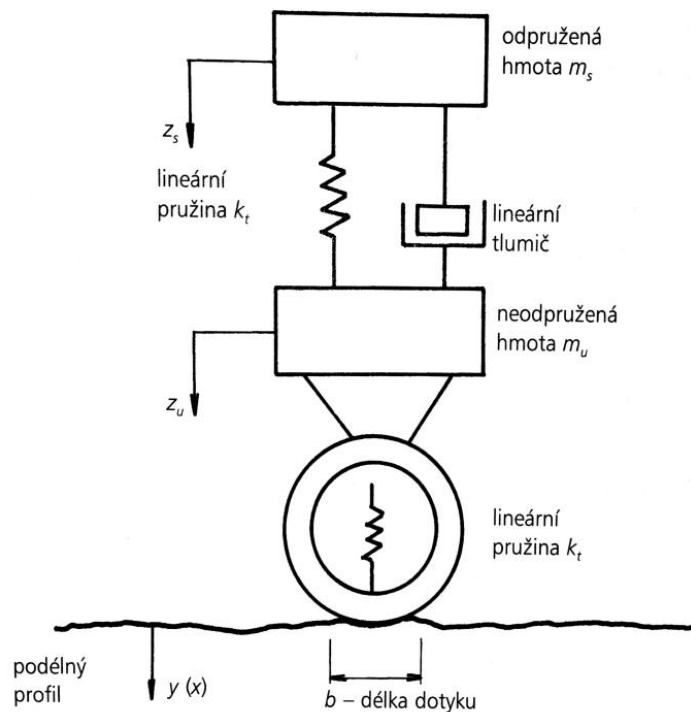
Obr. 11 Schéma kompenzačního viagrafu

Zdroj: [8]

#### 4.4.3.6 Odezvová zařízení

Měří se odezva vozidla na nerovnostech povrchu vozovky. Zjišťuje se měřením svislé výchylky kola nebo svislého zrychlení odpružené hmoty při jízdě. Měření se provádí při určité rychlosti, která závisí na výškovém a směrovém vedení trasy.

Reprezentativní hodnotou rovnosti vozovky je mezinárodní index nerovnosti (IRI). IRI je stanoveno jízdou referenčního odezвовého systému - viz obr. 12 při rychlosti 80 km/h po podélných nerovnostech. Referenční model je v podstatě model čtvrtiny vozidla. [8]



Obr. 12: Schéma referenčního odezвовého systému

Zdroj: [8]

#### 4.4.4 Měření drsnosti povrchu vozovky

Drsnost povrchu vozovky je funkcí tzv. geometrické drsnosti, to je uspořádání, velikost a tvar prohlubinek a výstupků v povrchu vozovky vytvořených jednotlivými zrny kameniva.

Drsnost povrchu je funkcí vyjádřenou součinitelem tření.

Metody měření používané pro určení vlastností vozovek se dělí na:

- **přímé metody** (třecí síly se měří přímo na zkoušeném povrchu),
- **nepřímé metody** (měří se charakteristiky povrchu, pro které se odvodila závislost na součiniteli tření a kvalitě povrchu).

##### **Přímé metody:**

- zjišťování součinitele tření pomocí laboratorních a přenosných zařízení
- dynamometrické přívěsy
- automobil jako přístroj

##### **Nepřímé metody:**

- vysypání povrchu pískem
- stereofotogrametrické měření povrchu
- mechanické, nebo optické snímání povrchu
- zjišťování drsnosti povrchu pomocí laseru nebo ultrazvuku

Součinitel podélného tření ( $f_p$ ) vyjadřuje vztah (4.1) mezi normální a tangenciální silou při smykovém tření pneumatiky o povrch vozovky v podélném směru.

$$f_p = \frac{T}{N} \quad (4.1)$$

T - tangenciální síla [N]

N - normálová (svislá) síla působící na kolo [N]

Součinitel bočního tření ( $f_B$ ) vyjadřuje vztah (4.2) mezi boční a tangenciální silou při tření pneumatiky o povrch vozovky v bočním směru.

$$f_B = \frac{B}{N} \quad (4.2)$$

B - boční síla [N]

N - normálová (svislá) síla [N]

### **Nejčastěji používané postupy měření protismykových vlastností:**

#### **4.4.4.1 Měření hloubky makrotextury pískem**

Zkouška slouží ke zjištění hloubky makrotextury povrchu vozovky na základě měření průměrné hloubky prohlubinek a výstupků povrchu vozovky.

Průměrná hloubka makrotextury se spočítá na základě velikosti plochy, jejíž prohlubinky se beze zbytku vyplní daným množstvím písku. [8]

#### **4.4.4.2 Měření hloubky makrotextury mikroprofilografem**

Podstatou zkoušky je změření pěti nejvyšších výstupků a pěti nejnižších prohlubinek a spočítá se průměrná hloubka makrotextury. K měření se používá mikroprofilograf.

Principem je, že se povrchu vozovky dotýká v přímé dráze jehla na délce 140 mm s četností minimálně 40 bodů na 10 mm. Zjištěné výšky dotyků jehly se zapisují a následně se spočítá výsledná hodnota. [8]

#### **4.4.4.3 Měření součinitele tření kyvadlem RRL**

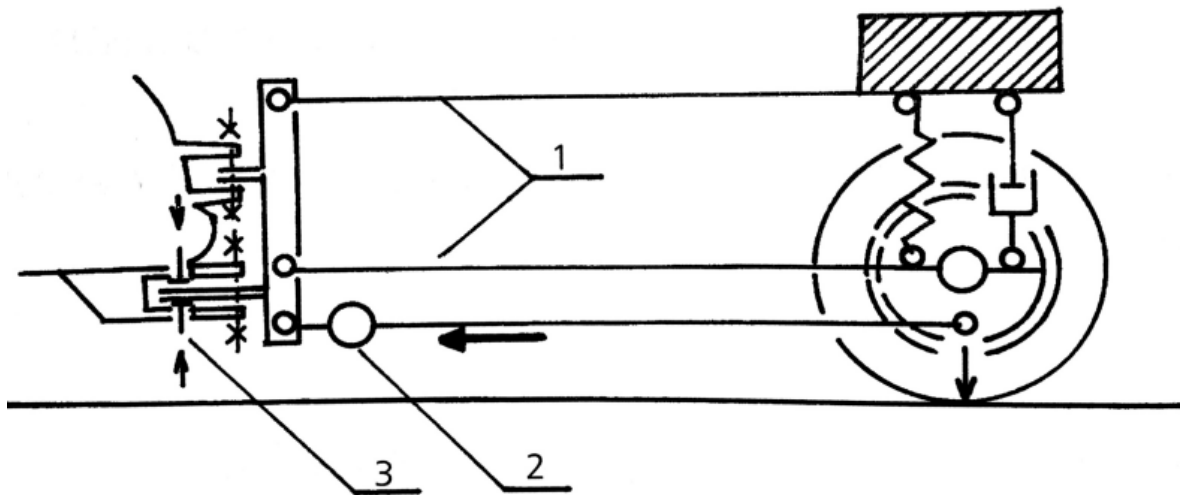
Kyvadlo RRL je přenosné zařízení ke zjišťování součinitele tření na povrchu vozovky.

Součinitel tření se získává ze ztráty kinetické energie při tření gumového elementu po mokřém povrchu za přesně stanovených podmínek.

Na každém měřeném místě se uskuteční pět měření v bodech vzdálených od sebe pět metrů ve směru jízdy vozidel.[8]

#### 4.4.4.4 Měření součinitele podélného tření dynamometrickým přívěsem

Součinitel podélného tření  $f_p$  (4.1) zjišťujeme dynamometrickým přívěsem ze svislého zatížení působícího na měřicím kole a síly potřebné k táhnutí zablokovaného kola přívěsu po mokřém povrchu vozovky. Měření musí probíhat za přesně stanovených podmínek, jako je například zatížení na měřicí kolo musí být 3200 N, přesné rozměry přívěsu a huštění radiální pneumatiky bez dezénu. Dynamometrický přívěs je vyobrazen na obr. 13.



Obr. 13 Dynamometrický přívěs

Popis obrázku:

1 - závěsy (paralelogram)

2 - snímač síly

3 - brzda

Zdroj: [8]

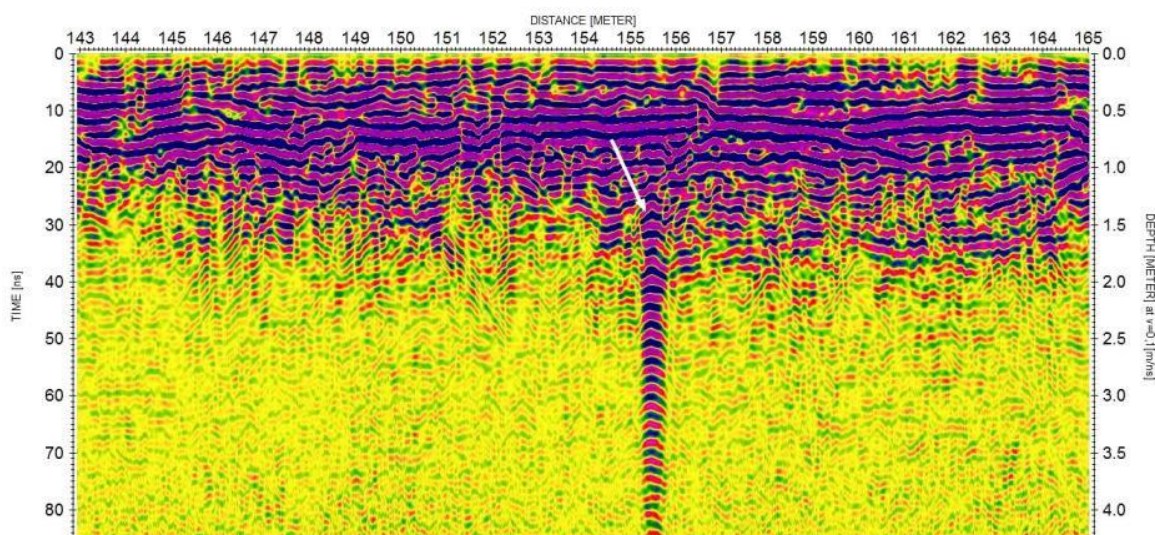
Měření se provádí při rychlostech 20, 40, 60, 80, 100, případně 120 km/h a měřený úsek se volí tak aby umožnil provádět měření při všech rychlostech. [8]

#### 4.4.5 Jádrové výtvy, vrtané sondy, georadar

Odběr jádrových vrtů se provádí pro stanovení:

- skladby stmelené a částečně stmelené části konstrukce vozovky,
- stanovení tloušťky a stavu jednotlivých stmelených a částečně stmelených vrstev,
- získání dostatečného množství materiálu pro jeho laboratorní zkoumání.

V současnosti se při odběru jádrových vrtů také kontroluje skladba vozovky kontinuálním měřením georadarem - GPR (Ground Penetrating Radar). Stanoví se tak tloušťka konstrukčních vrstev a zjistí se anomálie v tloušťkách a druhu konstrukčních vrstev. - viz *obr.14*



*Obr. 14 Výstup z měření georadarem*

*Zdroj: <http://georadar.rtg-tengler.cz/mesta-obce>*

Vrtané a kopané hloubkové sondy slouží k získání informací o nestmelených vrstvách konstrukce vozovky a podloží. Také slouží k posouzení vodního režimu podloží. Hloubka těchto sond se odvozuje od předpokládané tloušťky konstrukce vozovky. [13]

##### 4.4.5.1 Georadar

Georadar (GPR) pracuje na principu odražených elektromagnetických vln v materiálu vozovky a rychlosti jejich šíření. Do podloží jsou vysílány vlny s velmi vysokou frekvencí v rozsahu  $10^8$  -  $10^9$  Hz, které jsou následně odrazeny zpět k zařízení



na povrchu. V centrální jednotce následně dojde k vyhodnocení navracených vln podle časové prodlevy.

GPR dokáže identifikovat jednotlivé vrstvy konstrukce vozovky a nehomogenity, nacházející se pod povrchem - viz obr. 14. [17]

#### 4.5 Sběr poruch pomocí vozidla ARAN

Vozidlo ARAN (Automatic Road ANalyzer) - obr. 15 je specifické zařízení ke sběru informací o vozovkách. Vyrábí jej Kanadská společnost Fugro Roadware.



*Obr. 15 Ukázka zařízení ARAN*

*Zdroj: [https://www.arkansashighways.com/planning\\_research/pavement\\_management/ARAN%20FRONT%20QUARTER.JPG](https://www.arkansashighways.com/planning_research/pavement_management/ARAN%20FRONT%20QUARTER.JPG)*

Toto vozidlo je nejpoužívanějším systémem pro komplexní silniční diagnostiku na světě. Tato vozidla splňují všechny náročné certifikační a homologační mezinárodní předpisy v USA a EU. [16]

Vozidlo je schopno měřit více jak 15 různých údajů o vozovce, kterou pojíždí.

Výhody vozidla:

- Okamžité zjištění technického stavu silnic,
- Kontrola provedené údržby a opravy,
- Kontrola stavu před koncem záruky,
- Podklady pro rozhodování o včasné opravě (predikce vývoje),
- Jednotný postup - možnost srovnání celého kraje nebo celé republiky.[16]

Systémy montované běžně na vozidlo:

- vysokorychlostní kamery s vysokým rozlišením,
- GPS,
- dynamický profilograf,
- laserový zobrazovací systém,
- georadar,
- reflektometr
- LiDAR (metoda dálkového průzkumu měření vzdálenosti na základě výpočtu rychlosti odraženého pulsu laserového paprsku od snímaného objektu.). [18]

Zařízení ARAN spojuje většinu zařízení pro diagnostiku vozovek v jeden ucelený systém a zlepšuje efektivitu sběru informací. [18]

## 5. Závěr

Základním tématem této bakalářské práce bylo popsání používaných metod a principů diagnostiky technického stavu vozovek. Diagnostika vozovek se v posledních letech dostává do popředí zájmu, díky požadavku na úsporu materiálů a energie při údržbě a opravě pozemních komunikací. Vznikají různé systémy pro hospodaření s vozovkami a tyto systémy vyžadují dostatečný objem aktuálních informací pro plánování údržby a opravy.

S diagnostikou technického stavu vozovek úzce souvisí znalost poruch, mechanismus jejich vzniku a znalost jednotlivých konstrukcí vozovek. Proto práce obsahuje také třídění poruch podle jejich vzniku a následného šíření. Pochopením mechanismu vzniku a šíření poruch získáváme lepší představu o tom, jaké technologie použít k následné diagnostice stavu vozovky, aby jsme získali co nejlepší data, se kterými můžeme dále pracovat.

Ministerstvo dopravy České republiky vydalo v roce 2010 přepracované technické podmínky, které se mimo jiné věnují tématu mechanismu vzniku poruch, sběru informací a zařazováním poruch do katalogových listů podle mechanismu porušení. Podle katalogových listů lze poruchu jednoduše určit a následně navrhnout optimální postup při jejím odstranění.

Diagnostika vozovek, jejich technického stavu a stálých parametrů také slouží pro doplňování silniční databanky, kterou spravuje Ředitelství silnic a dálnic České republiky. Informační systém o silniční a dálniční síti České republiky využívá mnoho institucí a slouží jako podklad pro plánování údržby a oprav, proto je nezbytně nutné tento systém plnit novými a aktualizovanými daty.

Díky vyvíjejícím se technologiím ve všech odvětvích mohou vznikat sofistikovaná řešení v oblasti diagnostiky vozovek, jako jsou specializovaná vozidla pro sběr a vyhodnocení poruch. Vývoj hlavně v oblasti informačních technologií umožnil sběr mnohem většího a přesnějšího objemu dat, což v minulosti nebylo možné.

Diagnostika vozovek má do budoucna obrovský význam, jelikož přináší rychlý způsob zjištění kvality komunikace pro následné plánování údržby a opravy. Lze také využít při přebírání komunikace nové, zrekonstruované, nebo komunikace před koncem záruční doby a zjistit, zda je komunikace ve stavu, v jakém by měla být podle návrhu.

## LITERATURA

1. KAUN, Miroslav a Jindřich VOLF. *Navrhování vozovek: Doplnková skripta pro stud. fak. stavební*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 59 s. ISBN 80-01-00635-2.
2. AULEHLA, Marek. *Konstrukční cvičení pro 3. a 4. ročník SPŠ stavebních studijní zaměření dopravní stavitelství*. Vyd. 1. Praha: SPŠ stavební, 2003, 195 s., 2 příl. ISBN 80-86641-08-2.
3. Ředitelství silnic a dálnic ČR – Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR. *Ředitelství silnic a dálnic ČR*. [online]. 1.1.2015 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://www.rsd.cz/sdb\\_intranet/sdb/download/prehledy\\_2015\\_1\\_cr.pdf](http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2015_1_cr.pdf)
4. VOLF, Jiří. *Silniční stavby - projekt: Jindřich Volf*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992, 296 s. ISBN 80-01-00763-4.
5. TP 170. *NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ*. Brno: Ministerstvo dopravy České republiky, listopad 2004.
6. TP 82. *Katalog poruch netuhých vozovek*. Brno: PavEx® Consulting, s.r.o., 2010.
7. KAUN, Miroslav a František LUXEMBURK. *Silnice a dálnice: (Stavba)*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1996, 243 s. ISBN 80-01-01410-x.
8. *VOZOVKY Obnova, zesilování a rekonstrukce*. Bratislava: Jaga group, spol.s.r.o., 2004, 196s. ISBN 80-8076-005-5.
9. doc, Ing. Bohumil Klobouček, CSc.. *Údržba a obnova vozovek*. Praha: ČVUT, 1982, 86s.
10. NEKULA Leoš. *Školení technických norem a předpisů STEPS 3 - Údržba a opravy vozovek, povrchové vlastnosti vozovek*. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2010, 92s.
11. TP 62. *Katalog poruch s cementobetonovým krytem*. Brno: PavEx® Consulting, s.r.o., 2010.
12. TP 82. *Katalog poruch netuhých vozovek*. Brno: PavEx® Consulting, s.r.o., 2010.
13. NEUVIRT Václav. *Školení technických norem a předpisů STEPS 5 - Navrhování vozovek, Provádění diagnostického průzkumu pozemních komunikací*. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2010, 48s.

14. ŠLACHTA, Emil, Vítězslav ŽALSKÝ a Josef MOC. *Diagnostika vozovek a metodika oprav*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 198 s.
15. TP 87. *Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek*. Brno: PavEx ® Consulting, s.r.o., 2010.
16. Tiskové prohlášení diagnostické vozidlo ARAN – VARS.cz. VARS. [online]. 2015 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.vars.cz/tiskove-prohlaseni-diagnosticke-vozidlo-aran>
17. VARNAVINA, Aleksandra V., Aleksey K. KHAMZIN, Evgeniy V. TORGASHOV, Lesley H. SNEED, Brandon T. GOODWIN a Neil L. ANDERSON. Data acquisition and processing parameters for concrete bridge deck condition assessment using ground-coupled ground penetrating radar: Some considerations. *Journal of Applied Geophysics* [online]. 2015, vol. 114, s. 123-133 [cit. 2015-04-04]. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2015.01.011. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926985115000282>
18. ARAN- Survey Subsystems. *Fugro Roadware*. [online]. 2015 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: [http://www.roadware.com/products/survey\\_equipment/aran\\_subsystems/](http://www.roadware.com/products/survey_equipment/aran_subsystems/)

## SEZNAMY

### Seznam zkratek

ARAN	Automatic Road ANalyzer
CB	cementobeton
FWD	falling weight deflectometer (dynamický deflektometr)
GPR	Ground Penetrating Radar (georadar)
GPS	Global Positioning System
IRI	International Roughness Index (mezinárodní index nerovnosti vozovky)
ISSDS ČR	Informační systém o silniční a dálniční síti České republiky
LiDAR	Light Detection And Ranging
LRIS	Laser road imaging system
MZK	mechanicky zpevněné kamenivo
PK	pozemní komunikace
ŘSD	ředitelství silnic a dálnic
SHV	systém hospodaření s vozovkou
TP	technické podmínky

### **Seznam obrázků**

- Obr. 1           Zatřídění poruch postihující povrch až celou konstrukci vozovky
- Obr. 2           Šíření poruch do plochy vozovky
- Obr. 3           Znázornění vzniku a vývoje trhlin
- Obr. 4           Znázornění vývoje reflexních trhlin
- Obr. 5           Sběr dat prováděný videozáznamem
- Obr. 6           Princip fungování laserového zobrazovacího systému
- Obr. 7           Příklad rázového zatěžovacího zařízení (FWD)
- Obr. 8           Princip měření únosnosti rázovým zatěžovacím zařízením (FWD)
- Obr. 9           Grafické znázornění naměřených a vypočtených dat
- Obr. 10          Dynamický profilograf na vozidle
- Obr. 11          Schéma kompenzačního viagrafu
- Obr. 12          Schéma referenčního odezvového systému
- Obr. 13          Dynamometrický přívěs
- Obr. 14          Výstup z měření georadarem
- Obr. 15          Ukázka zařízení ARAN

### **Seznam tabulek**

- Tabulka 1       Délka silnic a dálnic v ČR
- Tabulka 2       Délka silniční sítě podle krytu vozovky
- Tabulka 3       Závažnost poruch
- Tabulka 4       Užití metod vizuálních prohlídek na různých úrovních komunikací

## **Seznam příloh**

- |           |  |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Ukázka katalogového listu poruchy                              |
| Příloha 2 | Tabulka s přehledem poruch CB krytu                            |
| Příloha 3 | Tabulka s přehledem poruch netuhých vozovek                    |
| Příloha 4 | Příklad formuláře pro grafický záznam poruch při pěší pochůzce |
| Příloha 5 | Příklad formuláře pro číselný záznam poruch při pěší pochůzce  |



## Plošný rozpad povrchu

Skupina poruch 1

Poruchy povrchu

Obrázek:



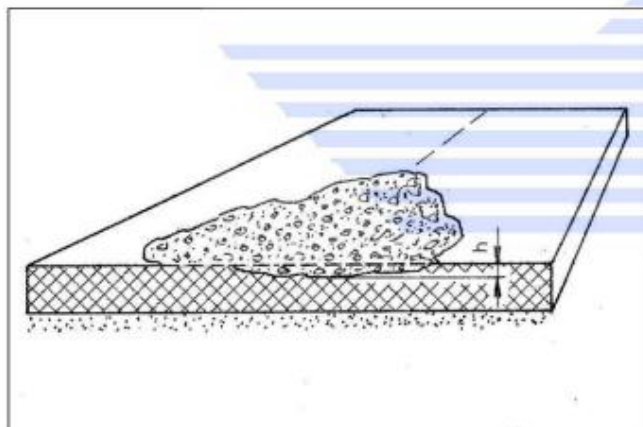
Popis poruchy:

Pokračování koroze povrchu. Další uvolňování a vydrolování hrubé frakce kameniva doprovázené rozpadem malty, spojitě porušení betonu do hloubky 5 cm a větší, někdy s trhlinami vzniklými následkem ztráty únosnosti desky. Plocha několik dm<sup>2</sup> až m<sup>2</sup>.

Obdobné poruchy:

Koroze povrchu (13), která je však méně intenzivní; povrch narušený požárem (16)

Kresba:



Parametr poruchy:

Plocha (m<sup>2</sup>), hloubka (mm)

Závažnost poruchy:

Stupeň závažnosti 3 až 4

Velmi závažná porucha ohrožující bezpečnost dopravy.

Nejčastější příčina vzniku:

Málo odolný a nedostatečně mrazuvzdorný beton (neprovzdušněný beton nebo špatně zpracovaný a ošetřovaný beton); neprovedená oprava koroze povrchu cementobetonového krytu.

Možný vývoj:

Pokračující rozpad betonu na povrchu a vznik netěsných spár na styku s plošnou vysprávkou; celkový rozpad a ztráta únosnosti desky.

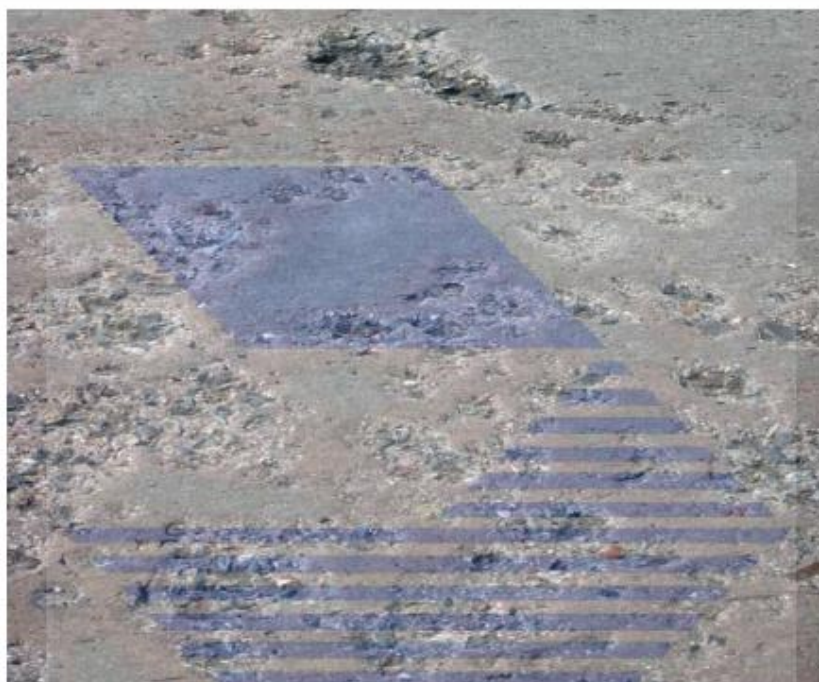
## Plošný rozpad povrchu

### Konstrukční a technické zásady údržby/opravy:

Postup jako u poruchy 13.

V závažnějších případech se provede výměna celých desek.

### Další obrázky:



Zdroj: [11]

## Příloha 2 Tabulka s přehledem poruch CB krytu

Skupina poruch	Kat. list	Název poruchy
1 Poruchy povrchu	10	Jamka
	11	Výtluk
	12	Mapové trhlinky
	13	Koroze povrchu
	14	Plošný rozpad povrchu
	15	Ohlazení povrchu
	16	Povrch narušený požárem
	18-19	<i>Rezerva</i>
2 Poruchy na spárách bez destrukcí	20	Nefunkční nebo chybějící těsnění podélné spáry
	21	Nefunkční nebo chybějící těsnění příčné spáry
	22	Rozestoupená podélná spára
	23	Rozestoupená příčná spára
	24	Těsná příčná spára
	25	Vzájemný horizontální posun betonových pruhů
	26-29	<i>Rezerva</i>
3 Poruchy na spárách s destrukcemi	30	Rozpad betonu na podélné spáře
	31	Rozpad betonu na příčné spáře
	32	Oprýskaná hrana desky
	33	Ulomená hrana desky
	34	Rozdrcený roh na styku desek
	35-39	<i>Rezerva</i>
4 Trhliny	40	Podélná trhlina
	41	Oblouková trhlina
	42	Příčná trhlina
	43	Šikmá trhlina
	44	Nepřavidelná trhlina
	45	Ulomený roh desky
	46	Podélné trhliny vícečetné, v přibližně konstantních vzdálenostech
	47	Trhlina nad kluzným trnem
	48	Trhlina nad kotvou
	49	Trhlina podél konců kotev nebo kluzných trnů
5 Deformace nivelety	50	Rozlomená deska
	51	Pumpování desky
	52	Vertikální posun desek na příčné spáře (schůdky)
	53	Vertikální posun na podélné spáře
	54	Střechovitý zdvih desek
	55	Pokles desek
	56	Vystřelení desky
	57	Nerovnosti na styku cementobetonového a asfaltového krytu
	58	Zvlnění cementobetonového krytu
	59	<i>Rezerva</i>
6 Jiné poruchy	60	Poruchy způsobené alkalicko-křemičitou reakcí kameniva v betonu
	61	Porucha odvodnění
	62	Provizorní vysrávka / porucha vysrávky
	63-69	<i>Rezerva</i>

Zdroj: [11]

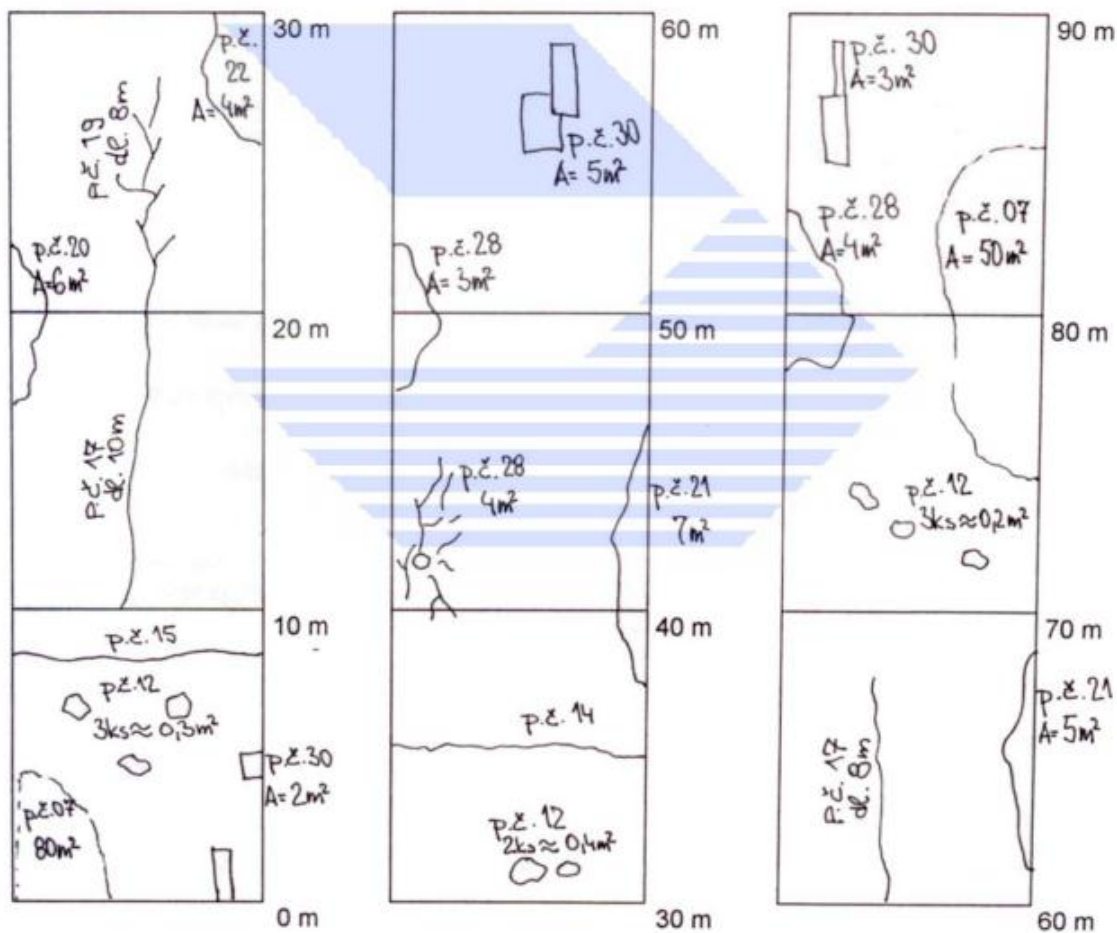
### Příloha 3 Tabulka s přehledem poruch netuhých vozovek

Skupina poruch	Kat. list	Název poruchy
1 Poruchy povrchu	10	Jamka
	11	Výtluk
	12	Mapové trhlinky
	13	Koroze povrchu
	14	Plošný rozpad povrchu
	15	Ohlazení povrchu
	16	Povrch narušený požárem
	18-19	<i>Rezerva</i>
2 Poruchy na spárách bez destrukcí	20	Nefunkční nebo chybějící těsnění podélné spáry
	21	Nefunkční nebo chybějící těsnění příčné spáry
	22	Rozestoupená podélná spára
	23	Rozestoupená příčná spára
	24	Těsná příčná spára
	25	Vzájemný horizontální posun betonových pruhů
	26-29	<i>Rezerva</i>
3 Poruchy na spárách s destrukcemi	30	Rozpad betonu na podélné spáře
	31	Rozpad betonu na příčné spáře
	32	Oprýskaná hrana desky
	33	Ulomená hrana desky
	34	Rozdrcený roh na styku desek
	35-39	<i>Rezerva</i>
4 Trhliny	40	Podélná trhlina
	41	Oblouková trhlina
	42	Příčná trhlina
	43	Šikmá trhlina
	44	Nepřavidelná trhlina
	45	Ulomený roh desky
	46	Podélné trhliny vícečetné, v přibližně konstantních vzdálenostech
	47	Trhlina nad kluzným trnem
	48	Trhlina nad kotvou
	49	Trhlina podél konců kotev nebo kluzných trnů
5 Deformace nivelety	50	Rozlomená deska
	51	Pumpování desky

Zdroj: [12]

## Příloha 4 Příklad formuláře pro grafický záznam poruch při pěší pochůzce

Číslo silnice: II/379	Název lokality/okres: JEDOVNICE / BLAŽSKO	Datum: 13.3.95	Strana: 01
Číslo úseku uzlového lokalizačního systému: 2441A8 - 2441A9		Celkem listů: - 16 -	
Název firmy (osoby) provádějící sběr: JAH NOVÁK			
Staničení začátku měření /km/ 0,000	Staničení konce měření /km/ 1,421	Délka měření /km/ 1,421	Směr měř. 1
		Měř. pruh 11	
Šířka zpevněné části vozovky /m/ 9,50	Šířka chodníku /m/ /	levý /	pravý /
		Šířka zpevněné krajnice /m/ 0,5	levá 0,5 pravá 0,5
Druh povrchu vozovky: A,B			
nezp. krajnice:		chodníku: /	



Zdroj: [12]

**Příloha 5 Příklad formuláře pro číselný záznam poruch při pěší pochůzce**

Číslo silnice: III/37728	Název lokality/okres: RYCHTÁŘOV / BLAHSKO	Datum: 16.3.95	
Číslo úseku uzlového lokalizačního systému:		Název firmy (osoby) provádějící sběr: IVA KOVAŘOVA	
Staničení začátku měření /km/ 6,000	Staničení konce měření /km/ 10,850	Délka měř. /km/ 4,850	Směr měř. STOUP. STANIC. CELA VOZOVKA
Šířka zpevněné části vozovky /m/ 6,00	Šířka chodníku /m/ /	levý /	pravý /
Druh povrchu vozovky PMA		Šířka zpevněné krajnice /m/ /	levá /
			pravá /
Druh povrchu vozovky		Poznámky	
1. Trhliny < 5 mm	10; 8,5; 5; 8; 15; 40; 9; 40; 12; 40; 60	STANIČENÍ V LINIOVÉM SYSTÉMU	
	247,5	6,25 km SESUV SVAHU 6,58 km	
2. Trhliny > 5 mm (m <sup>2</sup> )	7,5; 3; 6		
	16,5		
3. Síťové trhliny (m <sup>2</sup> )	20; 10; 6; 4; 3; 4		
	47,0		
4. Ztráta pojiva (m <sup>2</sup> )	25; 50; 25; 10; 50; 70; 50		
	280,0		
5. Výtluky (m <sup>2</sup> )	0,3; 0,4; 0,2; 1; 4,5; 0,6; 5		
	9,0		
6. Deformace > 2cm (m <sup>2</sup> )	20; 45; 20; 15; 4; 20; 30; 50		
	174,0		
7. Vyjeté koleje (m <sup>2</sup> )	/		
8. Pocení povrchu (m <sup>2</sup> )	80; 50		
	130,0		
9. Ztráta drsnosti (m <sup>2</sup> )	/		
<b>Odvodnění</b>			
10. Oprava obrubníku (m)	/		
11. Údržba krajnice (m)	7760	ZAROSTLÝ TĚTKOP PO ODOLU STRANÁCH	
12. Údržba příkopu (m)	2500		
Závažné poruchy A/N	Snížená únosnost A/N	Problémy s krytem A/N	Špatné odvodnění A/N
Hodnocení: NEKVALITNÍ KRYT (PMA), ZALITÍ TRHLIN TŘI SESUVU SVAHU + VYROVNÁNÍ DEFORMACE, ÚDRŽBA TĚTKOPU			
Odhadovaná zbytková životnost /roky/ 2	Potřeba měření únosnosti A/N		

A / N = ano / ne ..... nehodící se škrtně

Zdroj: [12]