

Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce

Měření a zpracování dat (MDS)

Ondřej Příbyl

Ústav aplikované matematiky
ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

3. přednáška



Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Diskuze

- Pracujete v dopravní společnosti na začátku 20 století. Potřebujete získat data o dopravě. Jak to udělat?

Proč detekovat vozidla – jak to začalo?



Historie detekce vozidel

~1928

- Charles Adler Jr.,
 - poloautomatický, akustický detektor.
- Henry A. Haugh,
 - mechanický kontaktní detektor
 - Používal se až do 50 let
 - vývoji elektro-pneumatických detektorů

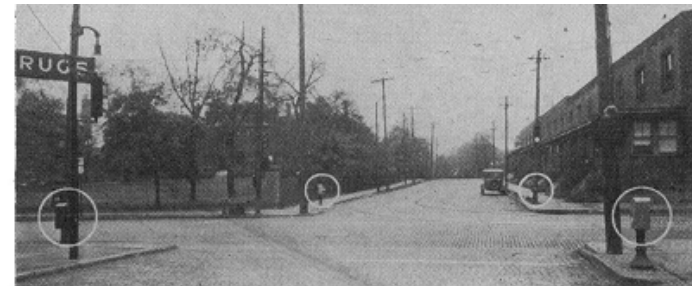


"To Obtain Signal - Stop Blow Horn,"
traffic-actuated signal light,
Charles Adler, Jr. Collection,
ca. 1920-1980

Historie detekce vozidel

- Mechanické problémy s kontaktními (mechanickými) detektory
 - Vysoké náklady na údržbu
 - Vysoké náklady na reinstalaci
- **Hledání nových technologií – bezkontaktních**
 - Zvukové detektory
 - Detektory přerušení paprsku světla
 - Geomagnetické detektory ...

~1930



Historie detekce vozidel

- Indukční smyčky se začaly používat začátkem 60.let
- U nás v průběhu 60. let, měření intenzity dopravy,
 - zpočátku pneumatická detekce,
 - následně s kombinací smyčkové detekce.
- V dnešní době
 - magnetické detekce
 - či video detekce (u bezkontaktních detektorů).

~1950

Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- **Technologické členění detektorů**
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Technologické členění detektorů

- Technologicky lze prostředky pro získávání dopravních dat rozdělit na 4 kategorie:
 - **Manuální** sčítání ... stále ještě používané ...
 - Detektory **zasahující do vozovky**
 - Detektory **nezasahující do vozovky**
 - Detektory **umístěné ve vozidle**
- V této prezentaci jsou popsány detektory zasahující do vozovky (přenosné i nepřenosné)

Rozdělení

Primární:

- Detektory na bázi elektromagnetické indukce (Indukční smyčky)
- Magnetické detektory
 - Fluxgate magnetometry
 - Magnetoindukční senzory

Další:

- Pneumatické trubkové detektory
- Piezoelektrické detektory
- Detektory s vláknovou optikou

Obsah prezentace

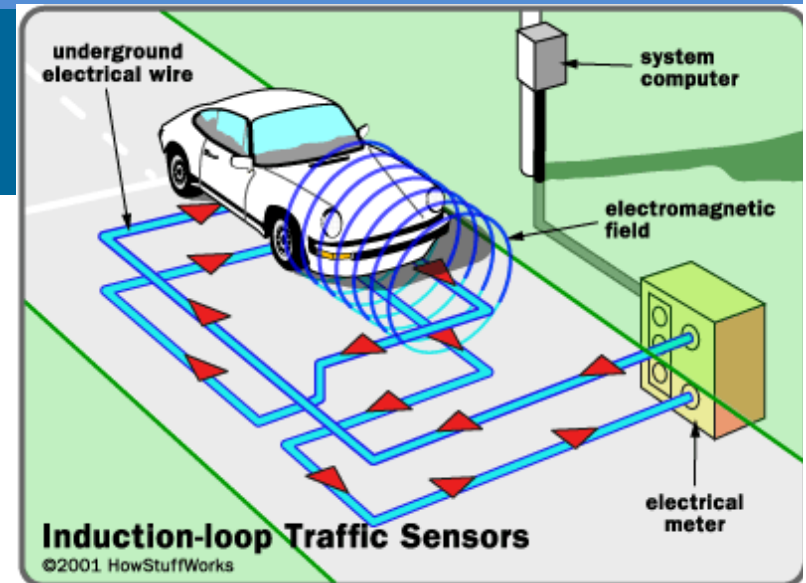
- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Indukční smyčky

Základní popis a funkce

Základní popis a funkce

- nejběžnější typ dopravního detektoru
- Smyčka tvoří indukční součást oscilátoru
- Při průjezdu nebo přítomnosti vozidla nad smyčkou se sníží její induktance – to zvýší frekvenci oscilátoru
- Pro měření intenzity, obsazenosti, přítomnosti, rychlosti vozidla (jedna smyčka nebo kombinace 2 smyček)



Indukční smyčky

Instalace



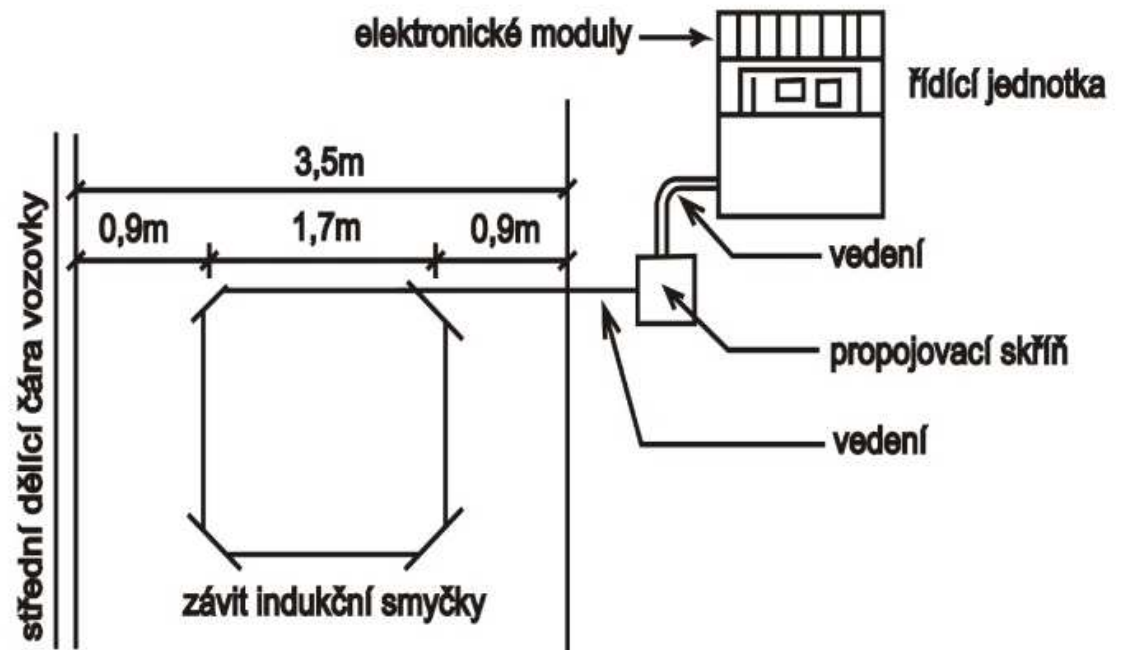
Indukční smyčky

Konstrukce



Složení detektoru

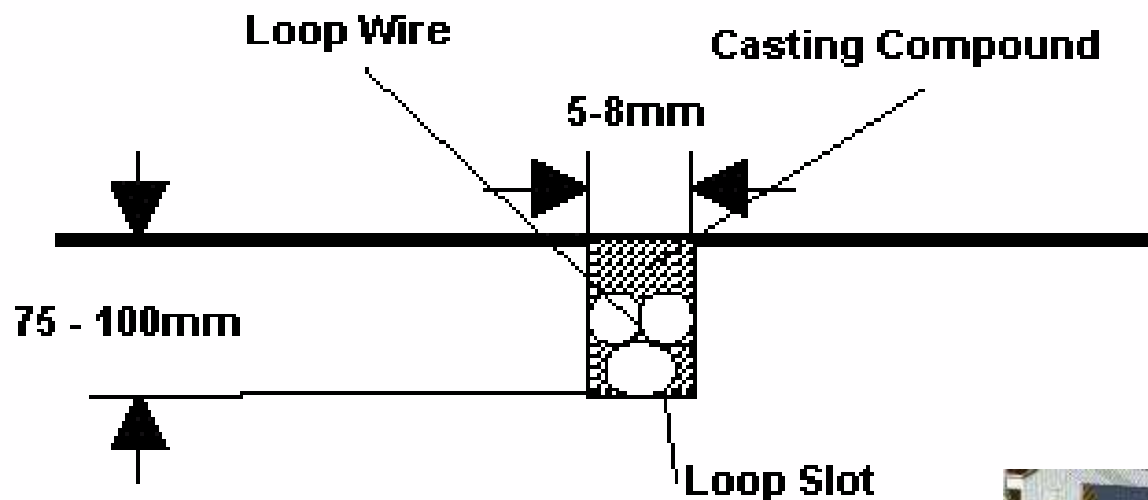
- Jeden nebo více závitů (3) izolovaného metalického vodiče
- Propojovací skříň (zesilovač)
- Řídící jednotka



Indukční smyčky

Instalace

http://www.youtube.com/watch?v=OFpnJZ_jF68



1



2



3



4

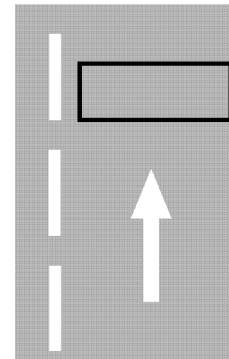
Indukční smyčky

Konstrukční parametry – tvar

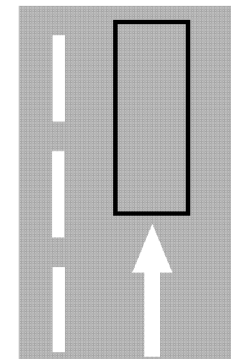
Konstrukční parametry – tvar

- a) Pravoúhlá krátká smyčka
- b) Dlouhá smyčka (pro identifikaci kolon)
- c) Šikmá smyčka (i pro detekci cyklistů, dává největší rozladění)
- d) Trapézová smyčka (málo ovlivňována vedlejším jízdním pruhem)
- e) Osmičková smyčka (pro detekci kolejových vozidel)

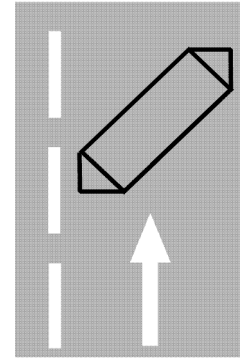
a)



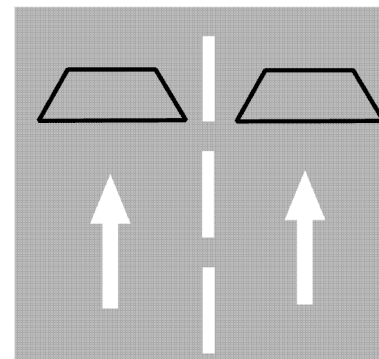
b)



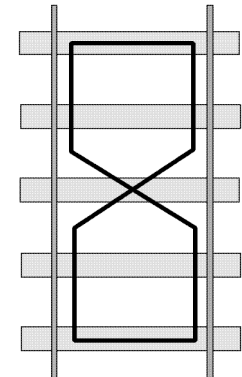
c)



d)



e)



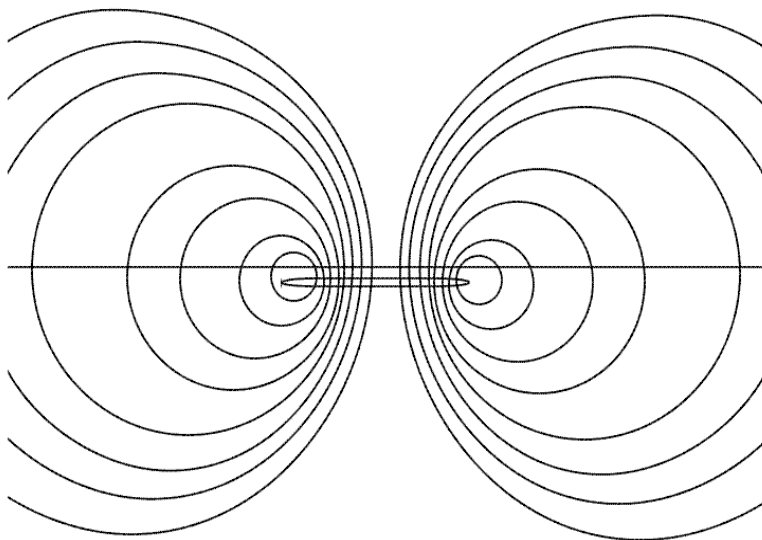
Indukční smyčky

Princip činnosti - obecně

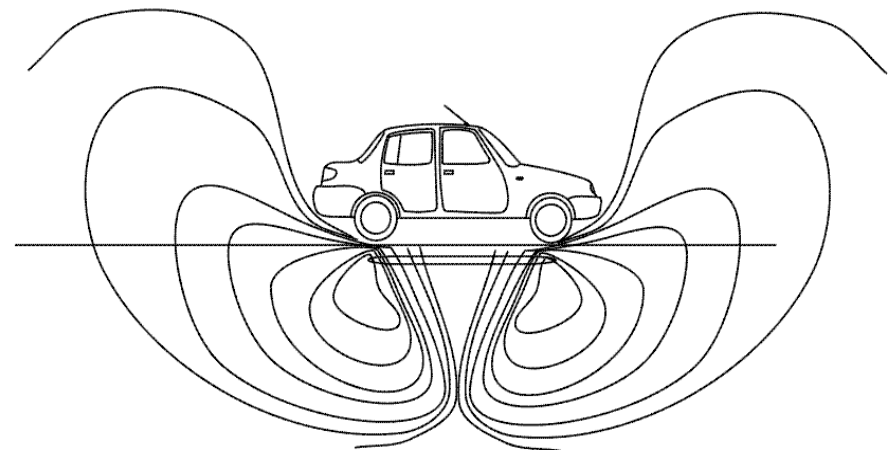
Princip činnosti – obecně

- Vlastní smyčka představuje vlastně vzduchovou cívku s indukčností L , cívka je napájena z oscilátoru 20-150 kHz.
- Tím je okolo závitů vytvořeno homogenní magnetické pole, které je narušeno přítomností kovové karoserie vozidla

Nerušené pole smyčky



Rušené pole smyčky



Indukční smyčky

Princip činnosti - detekce

Princip činnosti - detekce

- Detektory vyhodnocují jednu nebo více změn vyvolaných přítomností vozidla (tyto změny vycházejí ze změny indukčnosti cívky):
 - Změna amplitudy (přítomnost vozidla – menší amplituda),
 - posuv fáze díky přítomnosti vozidla,
 - změna kmitočtu (přítomnost vozidla – vyšší kmitočet).
- Výše uvedené změny mohou být poměrně malé a proto je nutné věnovat pozornost i ztrátám na přívodním kabelu.

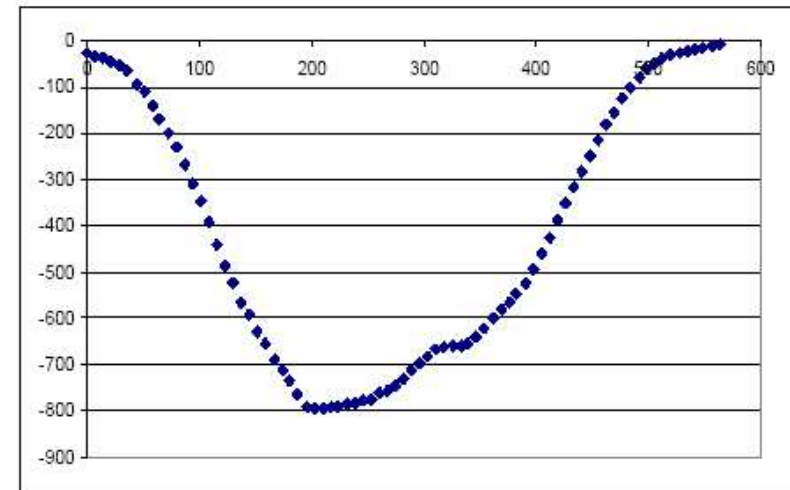
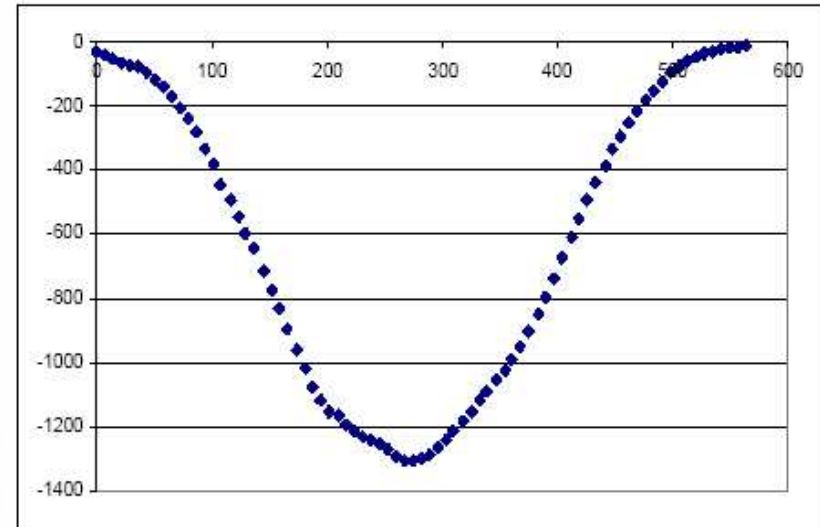
Indukční smyčky

Princip činnosti - citlivost

Citlivost (velikost rozladění) závisí na:

- Překrytí smyčky vozidlem,
- hloubce uložení: čím hlouběji, tím nižší citlivost
- délce přívodu: indukčnost přívodu v sérii s indukčností cívky
- armování vozovky: citlivost klesá o 5-50%
- materiálu vozovky, který by měl být elektricky nevodivý

Loop Detector Signatures



Indukční smyčky

Základní popis a funkce

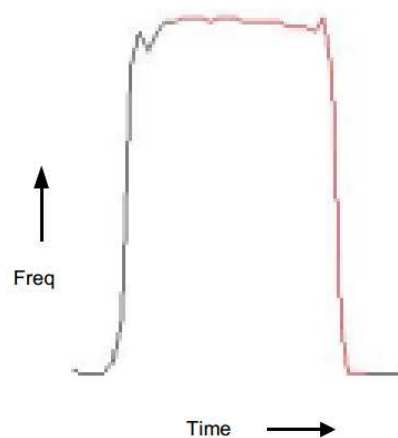
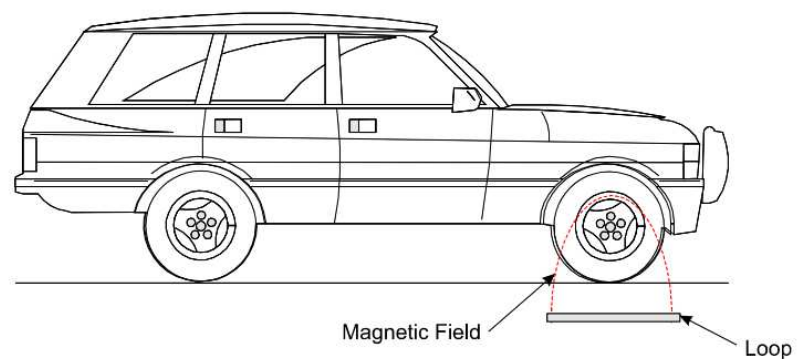
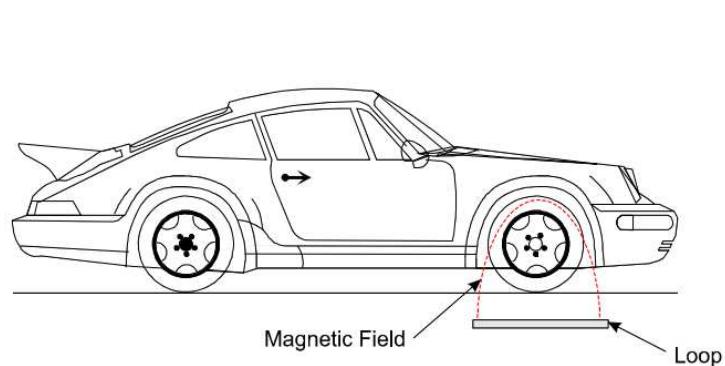


Figure 2

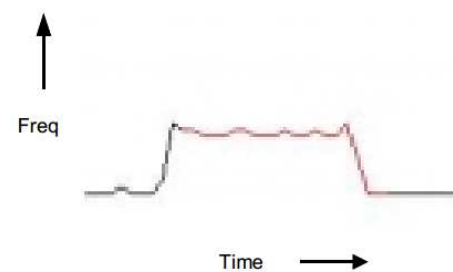


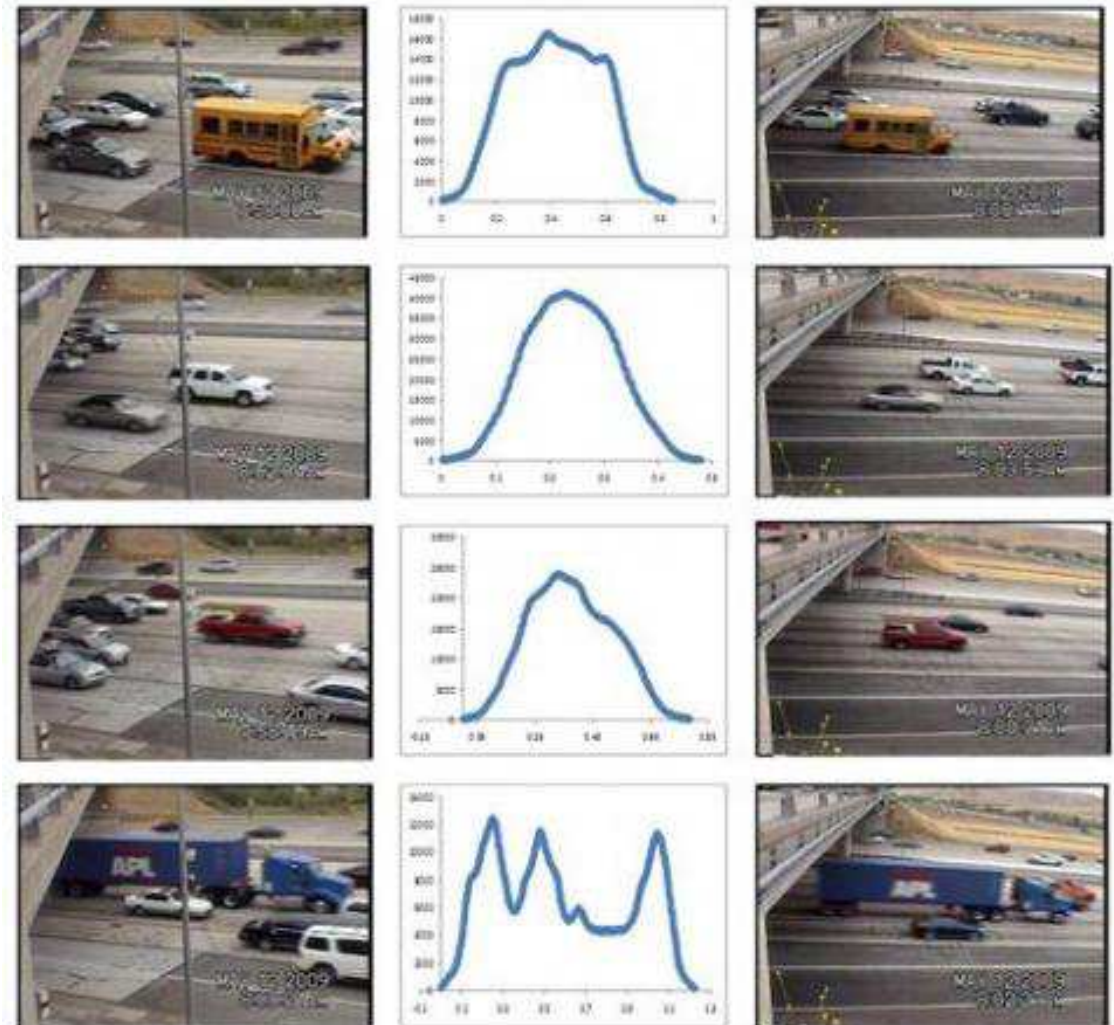
Figure 3

Indukční smyčky

Poskytovaná data

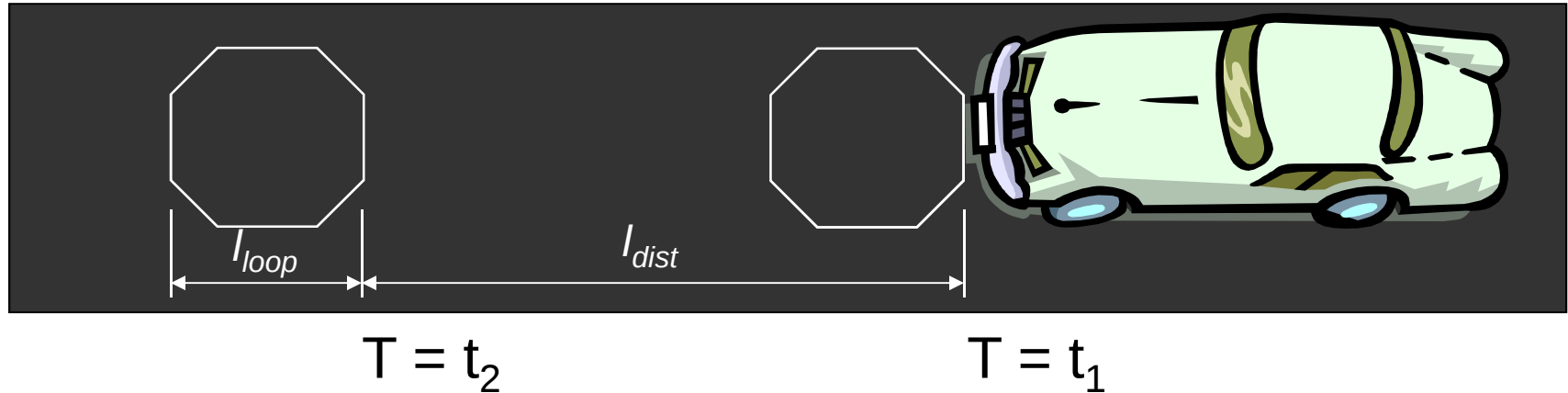
Poskytovaná data

- Intenzita [voz.h^{-1}]
- Obsazenost [%]
- Speciální funkce:
 - Rozlišování směru jízdy,
 - měření rychlosti,
 - klasifikaci vozidel



<http://clranalytics.com/projects/advanced-sensor-technologies/SBIR-REID-2009>

Dual Loop Detectors



- Dual loop measurements

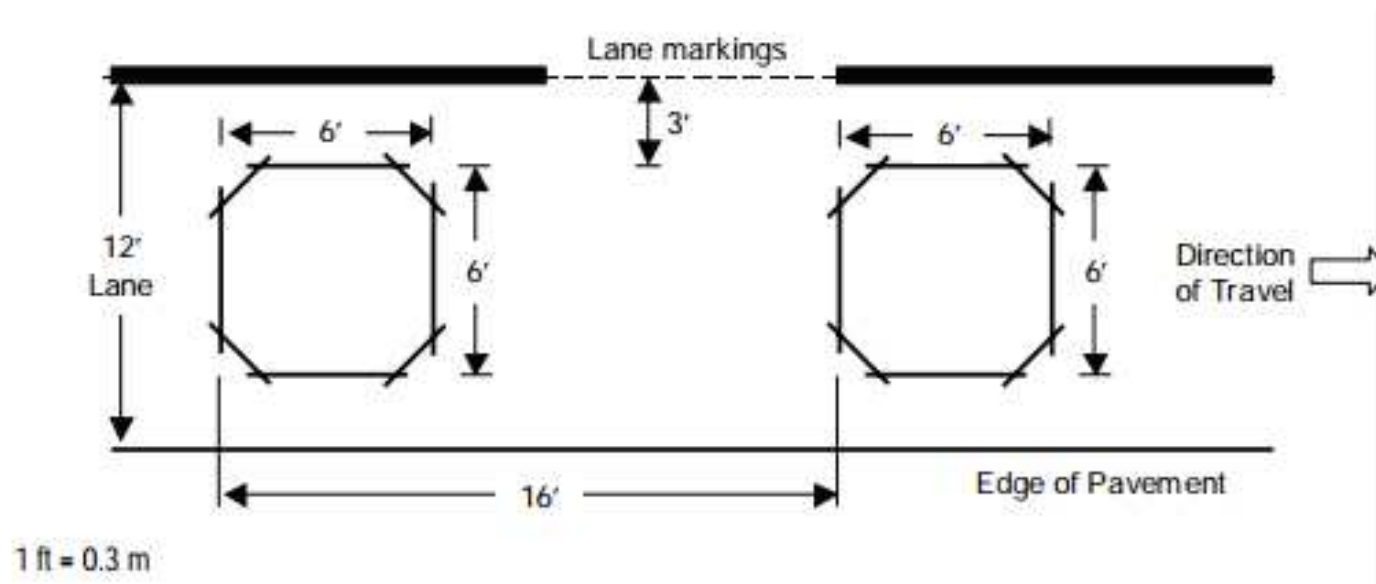
$$Speed = \frac{l_{dist}}{t_2 - t_1} \quad L_{vehicle} = \frac{Speed(ot_2 + ot_1)}{2}$$

ot_i = on-time for loop detector i

Measured vehicle lengths are used to classify vehicles into different categories, such as long and short.

Měření rychlosti indukčními smyčkami

- Diskuze:
 - Jak daleko od sebe umístit 2 smyčky pro měření rychlosti?
- Doporučení na vzdálenost
 - 16 stop = 1.8 metru



Indukční smyčky

Výhody a nevýhody

Výhody a nevýhody

- Přizpůsobitelná konstrukce
- Osvědčená a funkční technologie
- Cena zařízení
- Poskytují základní dopravní parametry
- Možnost klasifikace dat
- Nejsou ovlivněny počasím



Indukční smyčky

Výhody a nevýhody

Výhody a nevýhody

- Narušení dopravy při instalaci a údržbě
- Poruchy spjaté se špatnou kvalitou povrchů vozovek
- Pro měření rychlosti je obvykle zapotřebí více detektorů
- Opravy vozovky vyžadují často i reinstalaci detektoru
- Náchylnost k poruchám způsobeným pohybem smyčky
- Snižuje životnost vozovky
- Stálé nároky na (rutinní) údržbu

Obsah prezentace

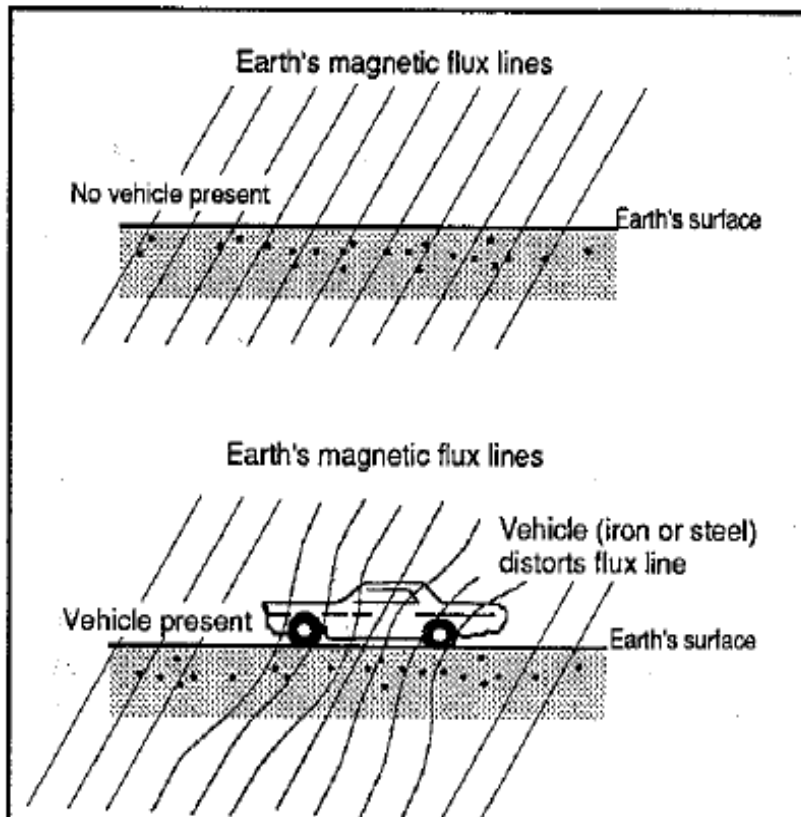
- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - **Magnetické detektory**
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Magnetické detektory

- Magnetické detektory dělíme na 2 typy:
 - **Fluxgate magnetometry** a
 - Magnetoindukční senzory
- Následuje obecný popis funkce

Magnetické detektory

Princip činnosti - obecně

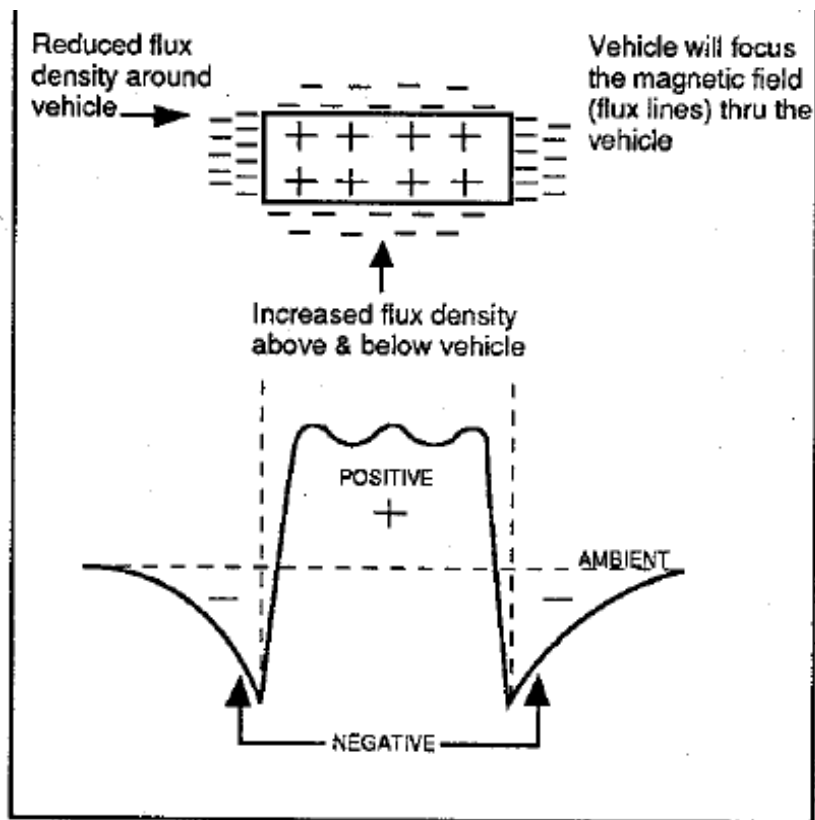


Funkce:

- měří hustotu siločar magnetického pole Země.
- kovová masa vozidla v prostoru senzoru zvýší hustotu siločar magnetického pole.
- detekuje změnu v hustotě siločar magnetického pole jako přítomnost vozidla.

Magnetické detektory

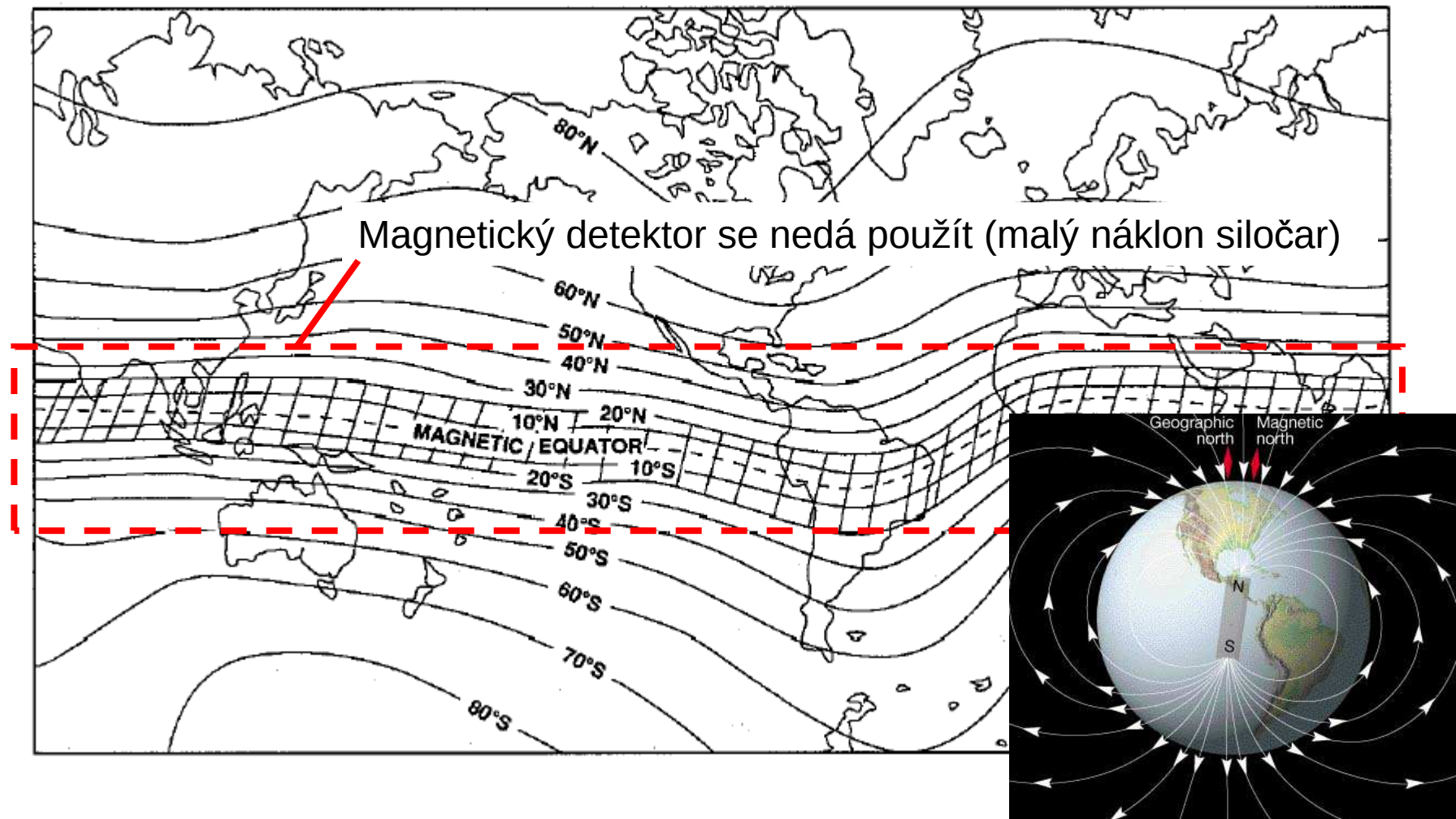
Princip činnosti - fyz. popis



- Masa kovu ve vozidle zdeformuje siločáry tak aby procházely skrze ní.
- Po stranách vozidla dochází
 - ke snížení
 - a pod/nad vozidlem
 - ke zvýšení hustoty siločar.

Magnetické detektory

Princip činnosti – sféra použití



Fluxgate magnetometry

Základní popis a funkce

Základní popis a funkce **Fluxgate magnetometru**

- alternativa ke smyčkovým detektorům.
- měří změny magnetického pole Země v případě přítomnosti vozidla v blízkosti detektoru.
- Použití: **počítání vozidel**, měření intenzity, přítomnosti, obsazenosti a rychlosti vozidla (2 detektory)

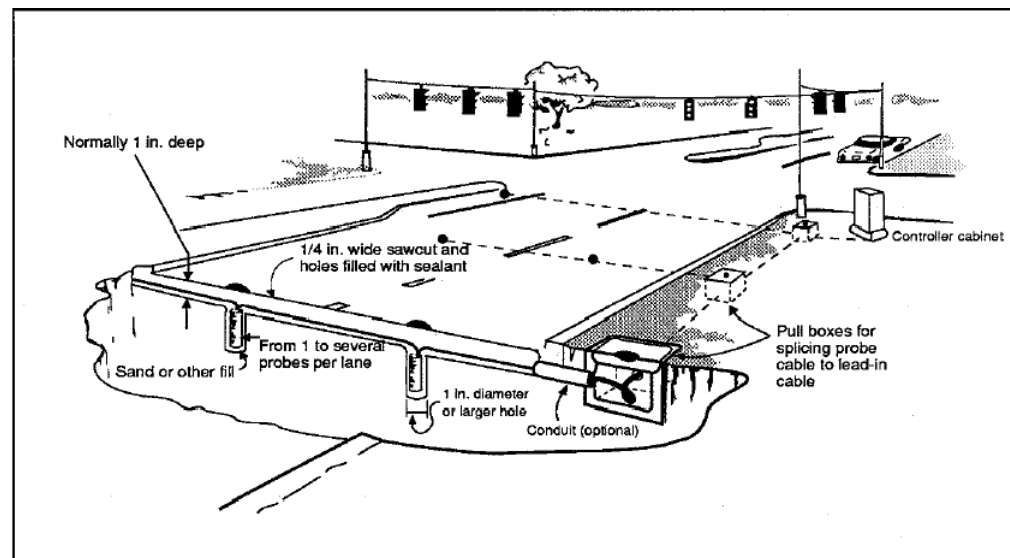


Fluxgate magnetometry

Konstrukce

Konstrukce

- Jedna nebo více válcových sond zapuštěných do vozovky
- Kabel spojující sondy s propojovacím boxem
- Propojovací box
- Řídící jednotka
- napájecí jednotka (nízké nároky)

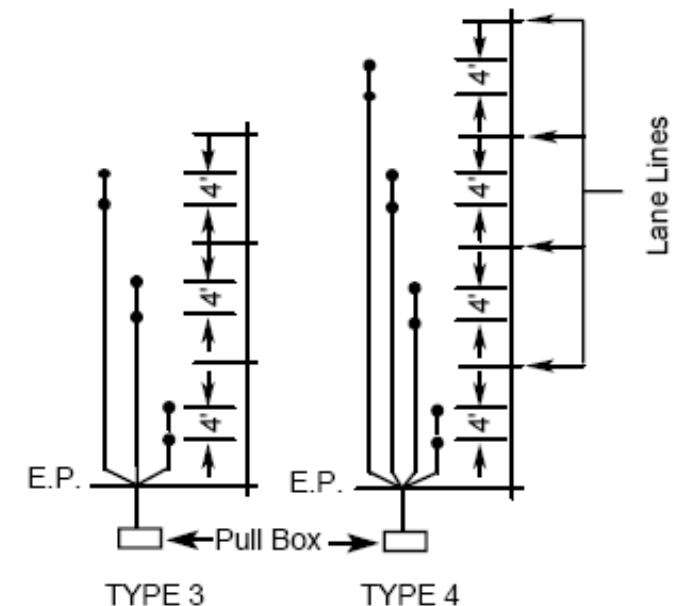
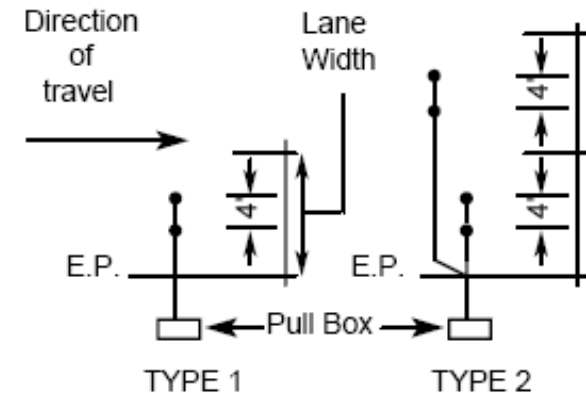
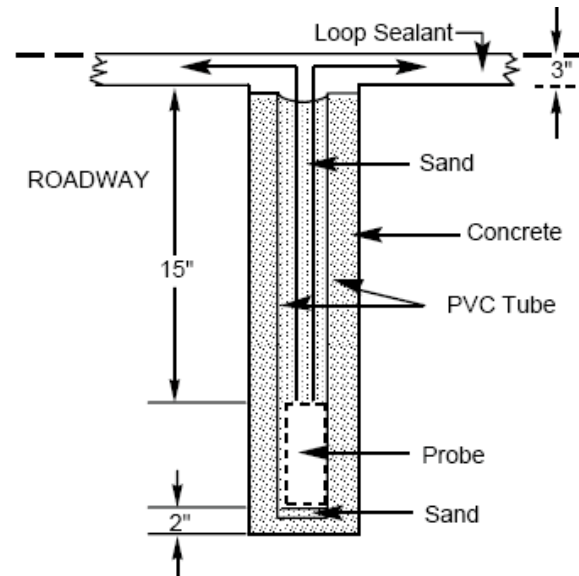


Fluxgate magnetometry

Instalace

Instalace:

- malé válcové sondy ve velikosti od 5 do 11 cm v průměru
- do navrtaných děr ve vozovce o hloubce 30 cm
- Drážka vodiče je mělká

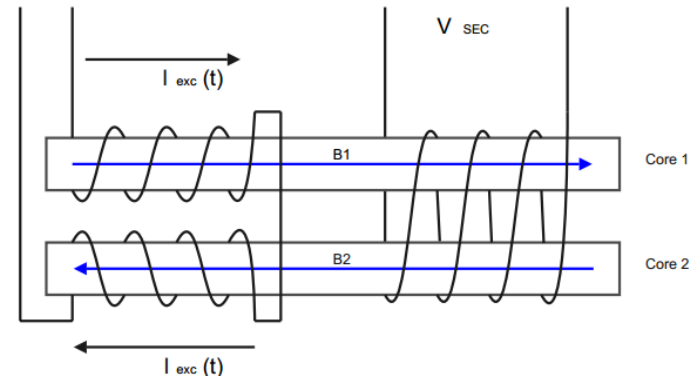


Fluxgate magnetometry

Konstrukce

Konstrukce

- Obsahuje dvě cívky,
 - primární a
 - sekundární,
- navinuté kolem běžného feromagnetického jádra s vysokou permeabilitou. (jednoho nebo dvou jader)
- Primární cívka je navinuta tak aby se její magnetické pole navzájem rušilo
- Sekundární cívka je navinuta jednosměrně
- <http://www.youtube.com/watch?v= 5d0qz umuE>



Fluxgate magnetometry

Poskytovaná data

Poskytovaná data

- Intenzita [voz.h^{-1}]
- Obsazenost [%]
- Speciální funkce:
 - Měření rychlosti,
 - Počítání vozidel
 - **Přítomnost** vozidel

Fluxgate magnetometry

Výhody a nevýhody

Výhody

- Lze použít na mostech, kde je přítomno mnoho ocelové výztuže a není dovoleno provádět velké zásahy do vozovky
- Magnetometry díky své konstrukci mají vyšší mechanickou odolnost než indukční smyčky.
- Díky malé velikosti dochází při instalaci a údržbě k menšímu ovlivnění dopravy.

Fluxgate magnetometry

Výhody a nevýhody

Výhody

- Cena detektoru, je ve srovnání s neintrusivními detektory nízká.
- Operuje v pasivním módu, bez potřeby externího napájení (stačí baterie).

Nevýhody

- Instalace vyžaduje zásah do vozovky, je nutná i uzavírka jízdního pruhu
- Některé modely mají malé zóny detekce

Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - **Magnetické detektory**
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Indukční magnetometry

Základní popis a funkce

Základní popis a funkce **indukčního magnetometru**

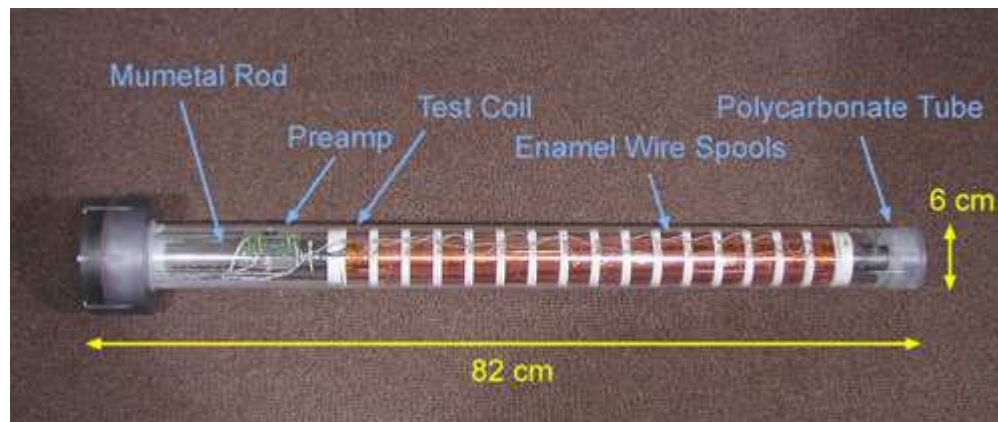
- Také „search coil magnetometers“
- Nenáročné, odolné a levné zařízení používané v oblastech s velmi nízkou teplotou a mrazy
- Malé zásahy do vozovky
- Princip činnosti spočívá v měření změny magnetického pole Země v případě pohybu vozidla v blízkosti detektoru.
- mohou být použity k, měření intenzity, přítomnosti, obsazenosti a rychlosti vozidla (2 detektory)
- poměrně nové s prvním patentem vydaným v roce 1989.

Indukční magnetometry

Konstrukce

Konstrukce

- Detektor ve tvaru projektilu s magneticky stabilním jádrem na kterém je namotáno několik vinutí v sérii, který je tunelem z nemagnetického materiálu zaveden pod vozovku.
- Propojovací kabel mezi smyčkou a řídicí jednotkou.
- Řídicí jednotka interpretující změny v elektrických vlastnostech detektoru při průjezdu vozidla, napájení



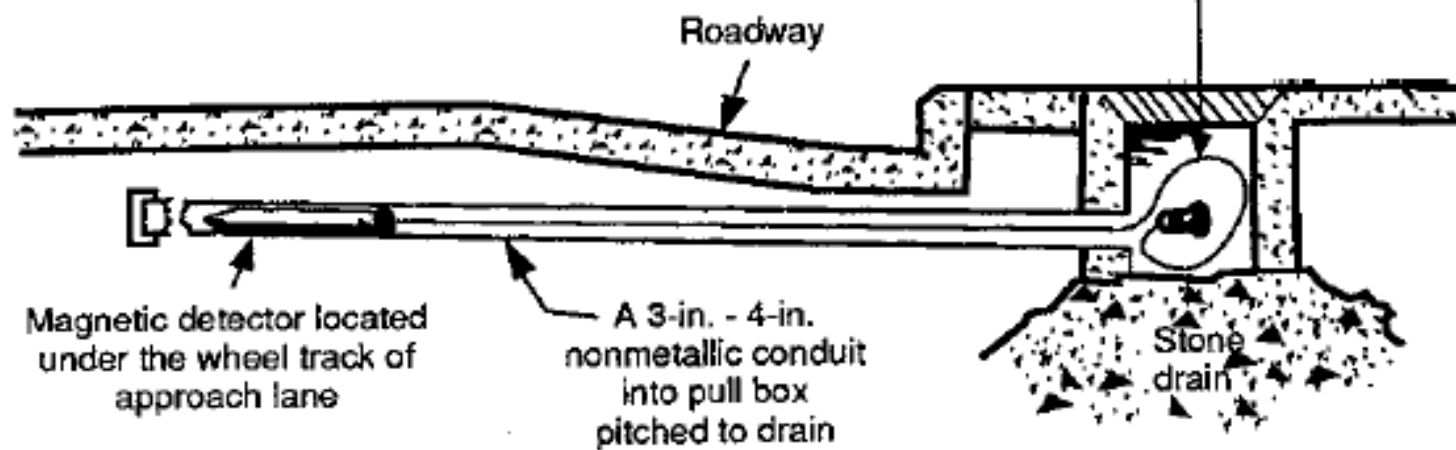
Indukční magnetometry

Instalace

Instalace

Bullet nose aids
in feeding
through conduit

20-in. long
2-in. diameter
weight - 8 lb



Indukční magnetometry

Princip činnosti - obecně

Princip činnosti:

- je schopen zaznamenávat pouze změny mag. pole Země
- Magnetická sonda měří změny elektrických vlastností vinutí v případě **průjezdu** vozidla v blízkosti detektoru.
- Pokud vozidlo projíždí prostorem senzoru tak jeho kovová masa mění hustotu siločar magnetického pole.
- Do vinutí se indukují velmi nízké napětí, které je dále zesíleno a vyhodnoceno

Magnetické detektory a mikrosmyčky

Poskytovaná data

- **Intenzita [voz.h⁻¹]**
- **Obsazenost [%]**
- **Speciální funkce:**
 - Měření rychlosti,
 - Počítání vozidel

Magnetické detektory a mikrosmyčky

Výhody a nevýhody

Výhody a nevýhody

- pasivní mód, Nízké napěťové nároky
- vyšší mechanická odolnost než indukční smyčky.
- Instalace se provádí vyvrtáním díry pod silnicí nebo velmi malé zásahy do vozovky
- Určené pouze k detekci projíždějícího vozidla, rychlost musí být vyšší než 5-10 km/h

Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - **Pneumatické detektory**
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Pneumatické detektory

Základní popis a funkce

Základní popis a funkce

- První typ dopravního aut. detektoru (1920)
- Přenosná technologie s velmi snadnou instalací
- Princip činnosti spočívá v měření změny tlaku v trubce položené na vozovce.
- Pneumatické detektory mohou být použity k měření intenzity, obsazenosti a rychlosti vozidla (2 detektory)

Pneumatické detektory

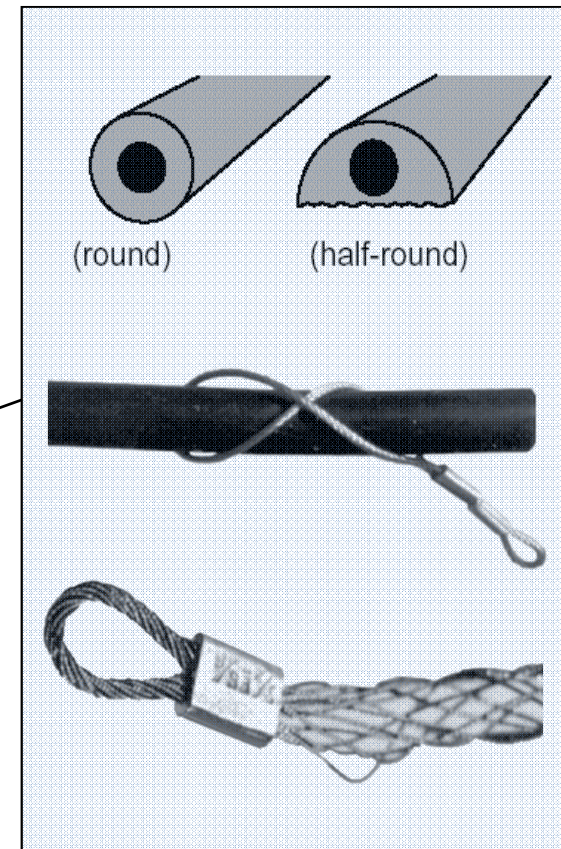
Konstrukce

Konstrukce:

- Ochranný kryt na nízko profilové pneumatické detektory při měření ve více jízdnicích pruzích (pevný ale ohebný polymerový obal)
- Propojovací kabel mezi senzorem a měřicí elektronikou
- Řídící jednotka
- Napájení

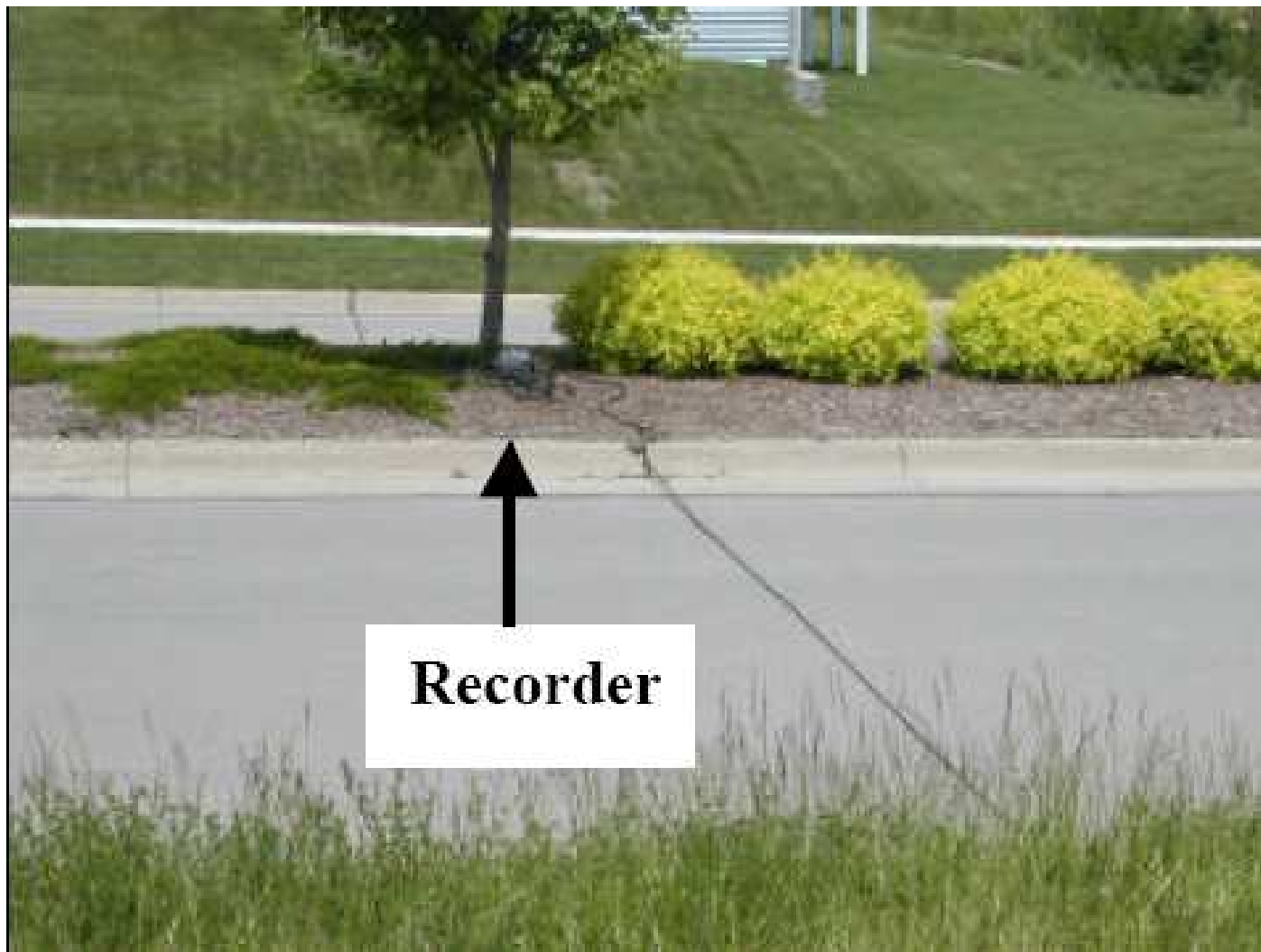
Pneumatické detektory

Schéma položení detektoru



Pneumatické detektory

Nasazení v reálu



Pneumatické detektory

Princip činnosti - obecně

Princip činnosti – obecně

- Průjezd vozidla (pneumatika) stlačí trubičku obsahující vzduch.
- Toto stlačení způsobí zvýšení tlaku v trubičce a následné sepnutí tlakového senzoru na konci trubičky.
- Nelze dobře rozpoznat stojící či pomalu se pohybující vozidla

Pneumatické detektory

Poskytovaná data

- **Intenzita [voz.h⁻¹]**
- **Obsazenost [%]**
- **Speciální funkce:**
 - Měření rychlosti (pokud budou 2 detektory)
 - Počítání vozidel/os
 - klasifikace

Pneumatické detektory

Výhody a nevýhody

- Rychlá instalace pro **dočasné** měření dopravních dat
- Nízké napěťové nároky
- Nízké náklady (cca 30 tis Kč)
- Nepřesné počítání náprav při vyšších intenzitách dopravy nebo při nízké rychlosti vozidel
- Citlivost na změny teploty, nedají se použít ve zhoršených podmínkách (sníh, déšť)
- Snadné porušení pláště způsobené koly vozidel či vandalismem

Obsah prezentace

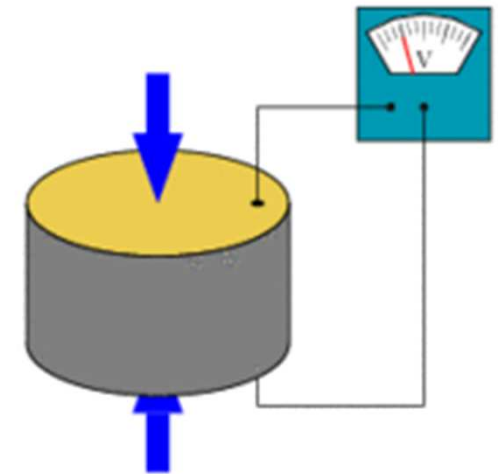
- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Piezoelektrické detektory

Základní popis a funkce

Základní popis a funkce

- Stlačení sondy je způsobeno nápravou vozidla
- Napětí generované senzorem je úměrné síle nebo váze (kola, nápravy) která působí na senzor – použití jako váha.
- Elektrické napětí je vytvářeno nábojem opačné polarity, který se objeví při stlačení na protilehlých površích piezoelektrického zařízení.
- Dle konstrukce se dělí na:
 - Piezoelektrické kabely
 - Piezoelektrické krystaly

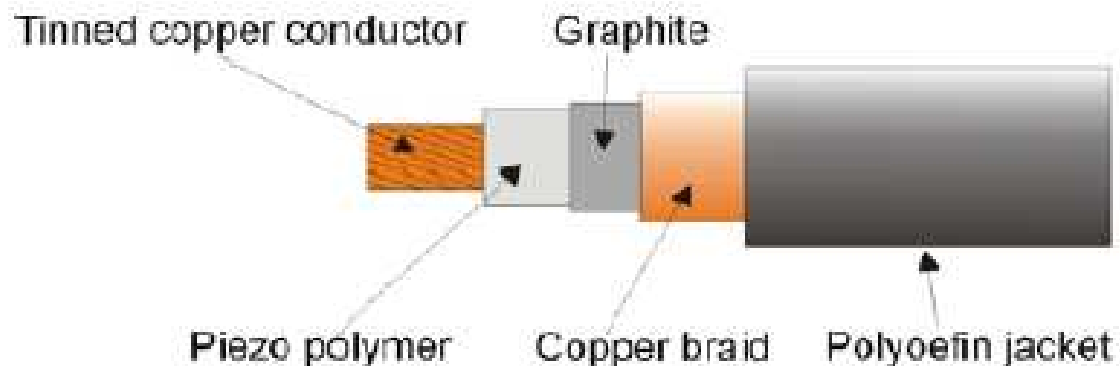


Piezelektrické detektory

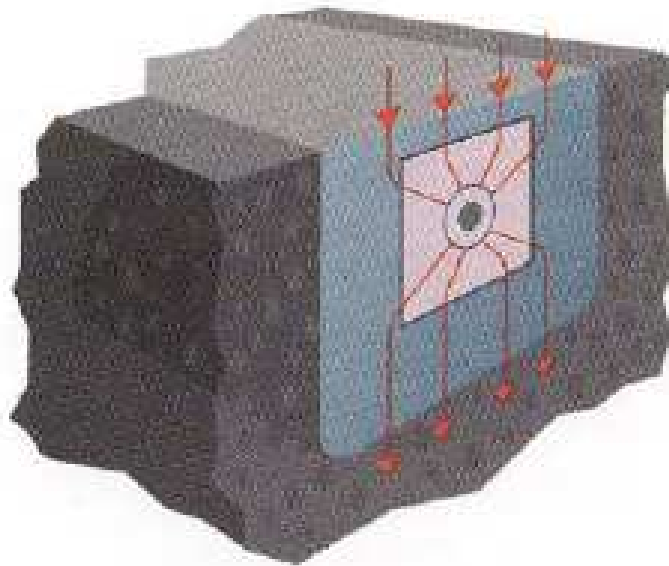
Základní popis a funkce – piezokabely

Piezokabely

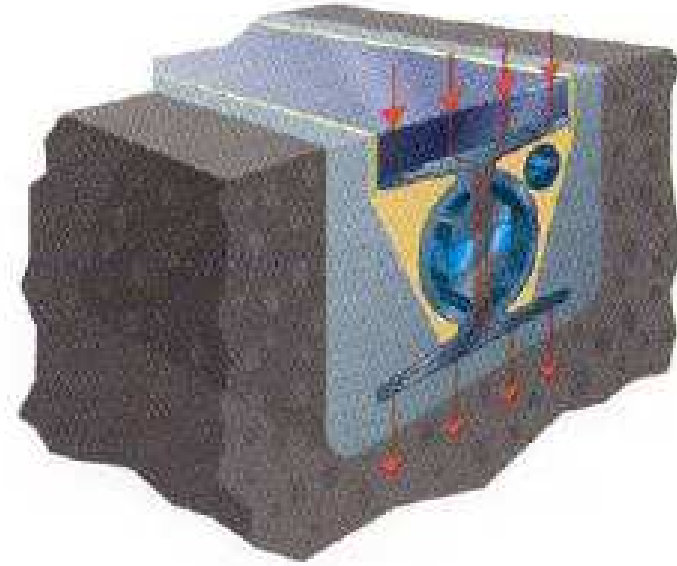
- Založené na technologii piezopolymeru.
- Vzhledově se neliší od koaxiálního kabelu, ale místo standardního vnitřního izolátoru je použit právě piezopolymer.



Rozdíl kabelů a krystalů



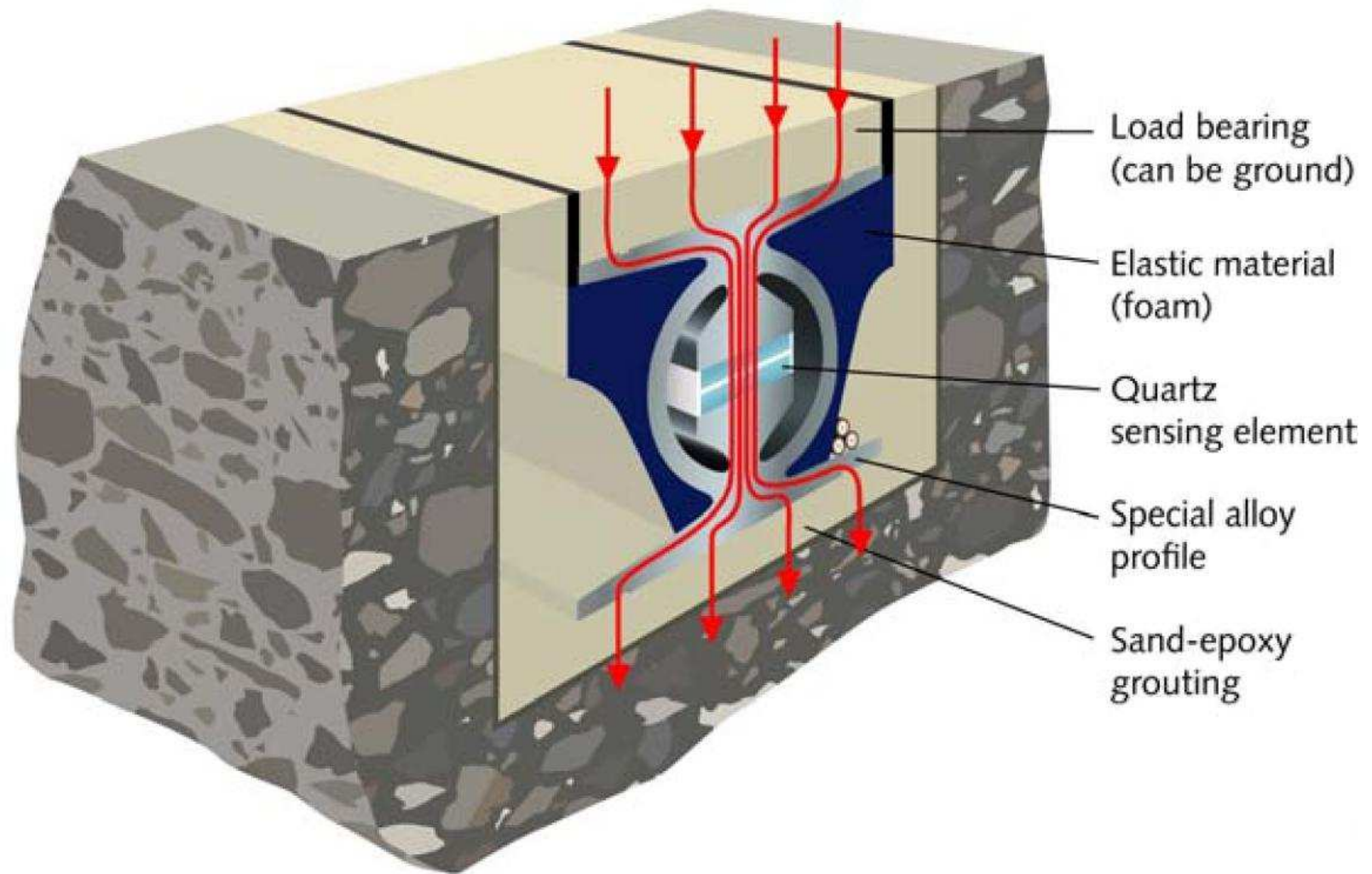
Ordinary Piezocables are sensitive to pressure from any direction



LINEAS quartz sensors are sensitive to vertical force only

Piezoelektrické detektory

krystaly



Piezoelektrické detektory

Konstrukce

Konstrukce

- Senzor položený do podélné drážky vyfrézované do vozovky
 - Propojovací kabel mezi senzorem a měřicí elektronikou
 - Řídící jednotka
 - Napájení
-
- V porovnání s indukčními smyčkami je citlivý na instalaci – zarovnaný s vozovkou

Piezoelektrické detektory

Konstrukční parametry

Instalace:

- Umísťují se do drážek vyfrézovaných do vozovky, zality epoxidem. Mohou být i přikryty vrstvou asfaltu
- Nejčastější konfigurace přenosných piezodetektorů se skládá ze 2 paralelních senzorů položených napříč vozovkou



Piezoelektrické detektory

Princip činnosti

Princip činnosti

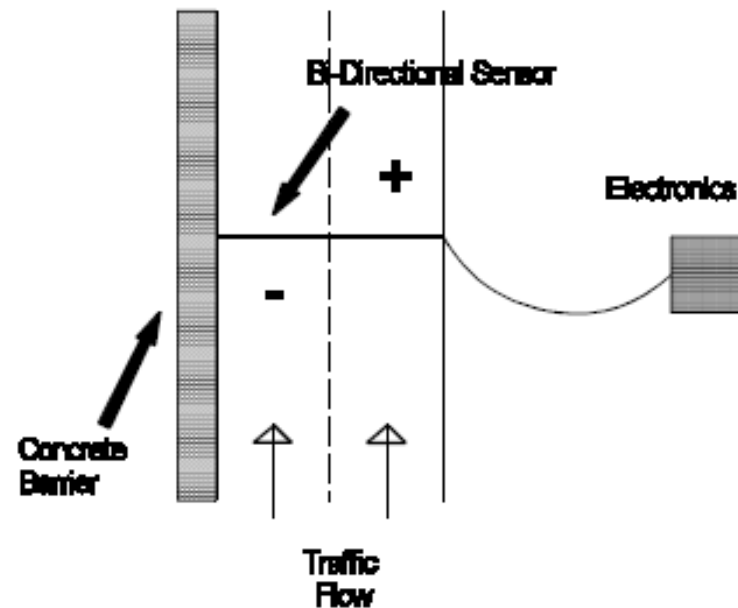
- Piezoelektrický efekt má dynamický charakter, tj. elektrický náboj se generuje pouze při změně vnějších sil působících na senzor
- min rychlost 15 km/h, piezoelektrické senzory nemohou být použity v oblastech, kde je pomalá doprava
- Některé piezoelektrické materiály jsou citlivé na teplotu – funkce v mrazivém podnebí je značně omezena

Piezoelektrické detektory

Princip činnosti - detekce

Detekce:

- Lze je použít pro detekci vozidel v různých pruzích za použití jednoho senzoru.
- Senzor musí mít opačnou polarizaci pro oba jízdní pruhy.
- Vozidla projíždějící přes bližší část senzoru produkují opačný náboj než ta, která projíždějí ve vzdálenějším pruhu



Piezoelektrické detektory

Poskytovaná data

- Intenzita [voz.h^{-1}]
- Obsazenost [%]
- Klasifikace vozidel
- Počet náprav
- **Váha vozidla**
- Rychlost a směr vozidla

Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

Detektory s vláknovou optikou

Základní popis a funkce

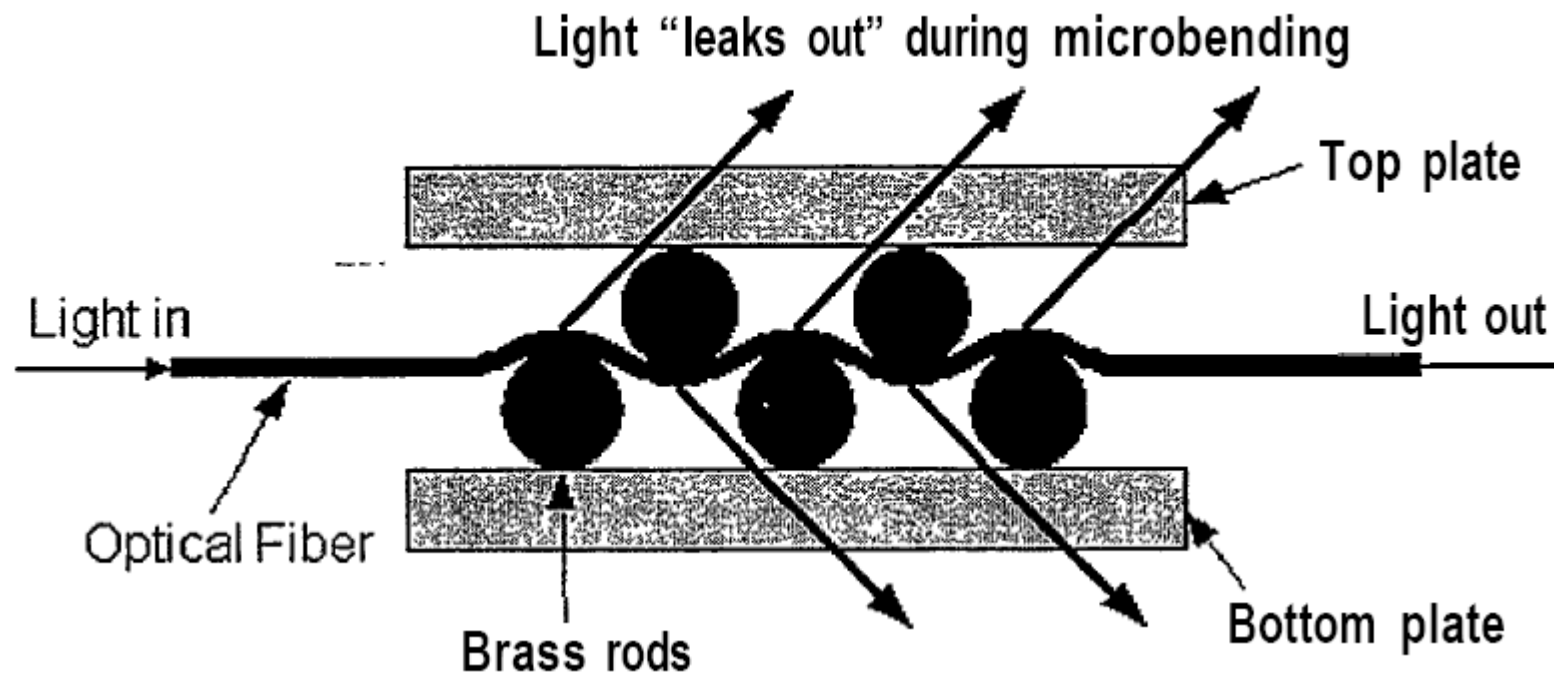
Základní popis a funkce

- Relativně nová technologie
- Používá optického kabelu položeného na kulatinách, které se při stlačení pohnou směrem k sobě, ohnou vlákno a tak dojde k emisi světla
- Intenzita světla je měřena na konci smyčky



Detektory s vláknovou optikou

Konstrukční parametry



Detektory s vláknovou optikou

Nasazení v praxi



Detektory s vláknovou optikou

Výhody a nevýhody

- Nízká cena
- Vysoká přesnost
- Imunita vůči elektromagnetické interferenci
- ...

Obsah prezentace

- Obecně o řízení a ovlivňování dopravy
 - Historie detekce vozidel
- Technologické členění detektorů
- Základní rozdělení detektorů dle konstrukce
- Detailní popis tzv. intrusivních detektorů
 - Indukční smyčky
 - Magnetické detektory
 - Pneumatické detektory
 - Piezoelektrické detektory
 - Detektory s vláknovou optikou
- Data měřená detektory

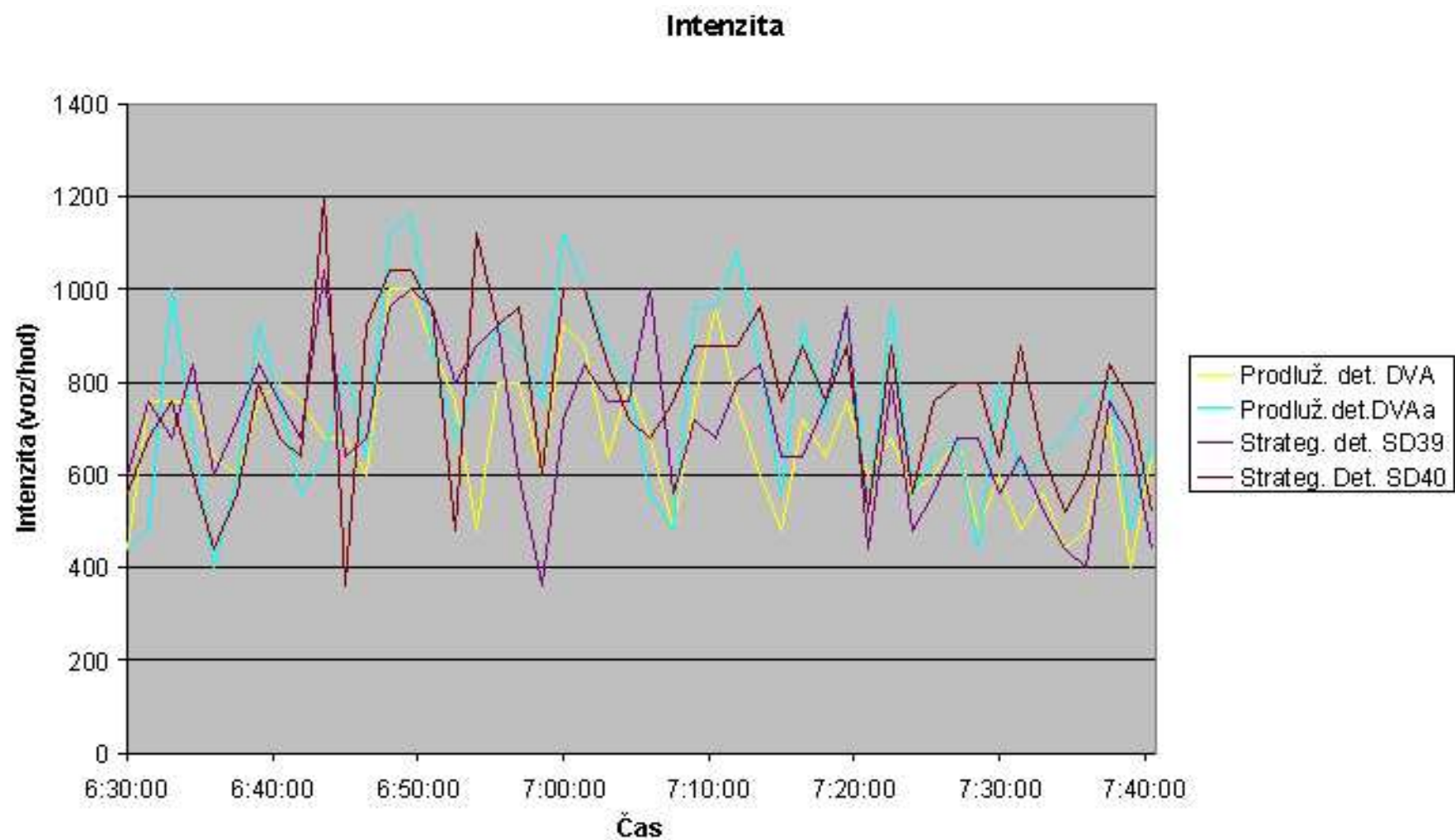
Data měřená detektory

- **Intenzita [voz.h⁻¹]**
- **Obsazenost [%]**
- **Rychlost [m/s]**
- **Váha [kg]**
- **Speciální funkce:**
 - Rozlišování směru jízdy,
 - měření rychlosti,
 - klasifikaci vozidel (nákladní/osobní). (délka)

Intenzita

- Základní parametr dopravního proudu.
- Udává počet vozidel, který projede za časový interval daným řezem komunikace [voz/Dt].
- Samostatný údaj o intenzitě dopravního proudu je vhodný pouze pro dopravní plánování a údržbu komunikací.
- Pro řízení a klasifikaci dopravy je potřeba znát minimálně jeden další údaj (rychlost, hustotu nebo obsazenost).

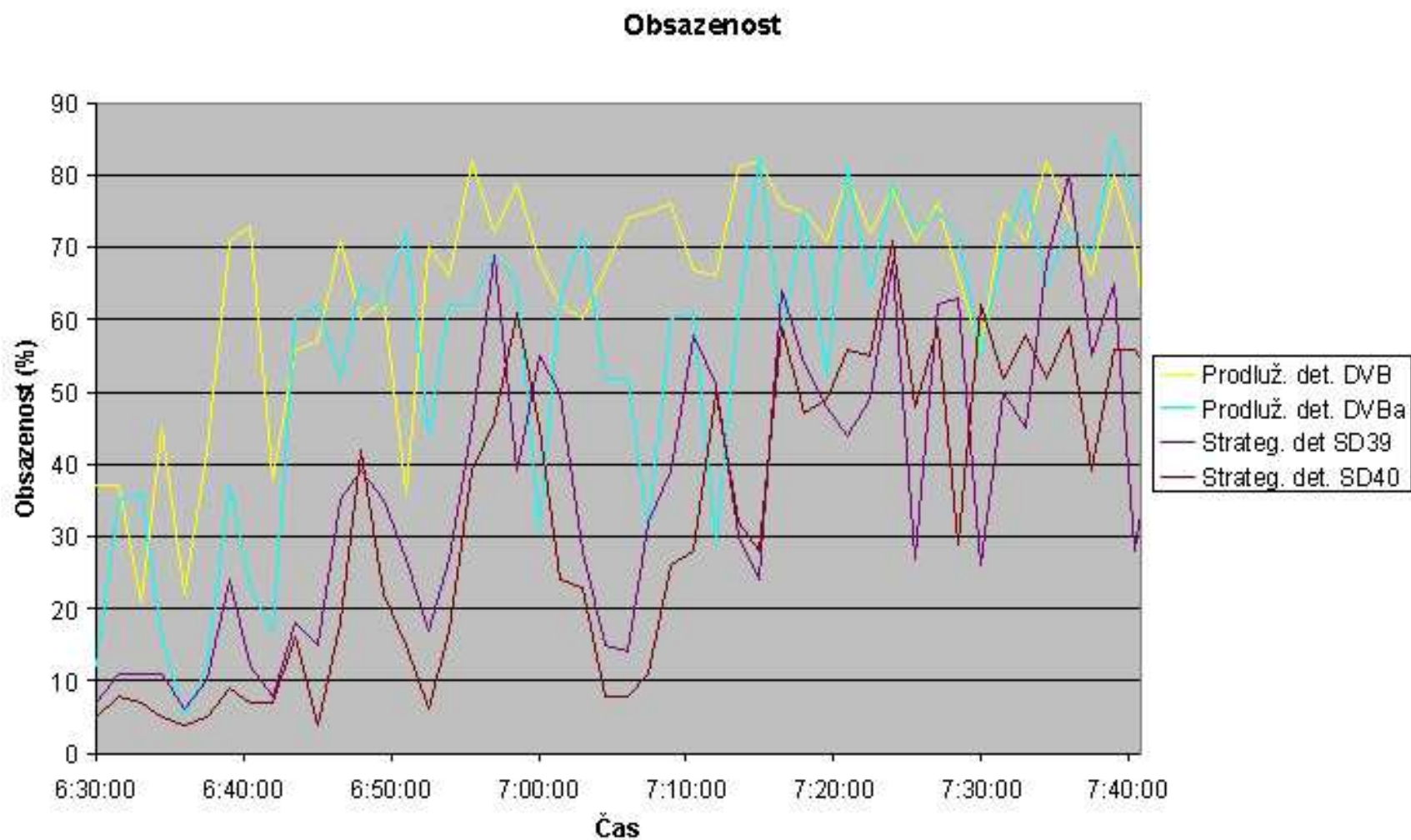
Intenzita - příklad



Obsazenost

- Vypovídá o kvalitě dopravního proudu.
- Udává se v procentech (bezrozměrná veličina)
- Počítá se jako podíl času, který vozidlo stráví nad detektorem, ku periodě vzorkování.
- Pokud je tedy perioda vzorkování 90 s a vozidla stráví nad detektorem celkem 45 s, jedná se o obsazenost 50%.
- **Z hodnoty obsazenosti lze usuzovat na tvorbu kolon.**

Obsazenost - příklad



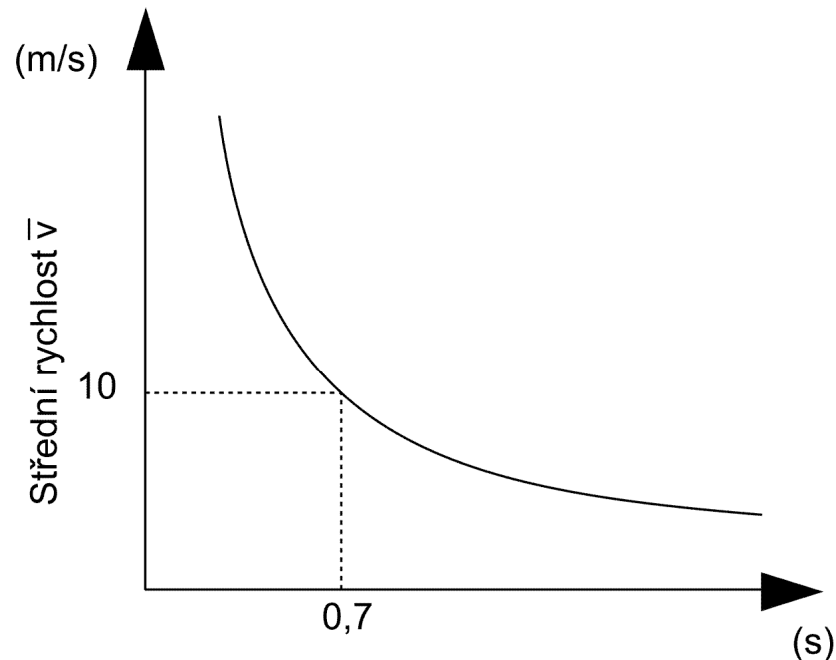
Rychlost

- Měření rychlosti má zásadní význam pro řízení a klasifikaci dopravy ve městech i na dálnicích.
- Pro řízení dopravy se využívá měření rychlosti dopravního proudu v delším časovém intervalu, např. po pěti minutách.
- **Rychlost můžeme měřit dvěma způsoby:**
 - Přibližné měření rychlosti z doby obsazenosti
 - Měření rychlosti dvěma smyčkami

Přibližné měření rychlosti z doby obsazenosti

- Velmi přibližné měření rychlosti jednou smyčkou,
- Vychází ze změřené doby obsazenosti t_{obs} , znalosti délky smyčky l_s a dále z předpokladu znalosti délky jednotkového vozidla l_v .

Podstatná nepřesnost vzniká díky složení dopravního proudu, neboť není možné věrohodně určit délku jednotkového vozidla.



Střední doba obsazenosti

Měření rychlosti dvěma smyčkami

- Jeho výhodou je přesnost, nevýhodou je nutnost instalovat dvě smyčky a použít další detektor.
- Detektory musí být velmi dobré kvality, musí být stabilní a mít rychlou reakci a vysoký kmitočet vzorkování.
- **Pro vyhodnocování se používají dvě metody:**
 - jako údaj času bere rozdíl mezi aktivací obou smyček a pro délku se volí vzdálenosti předních hran smyček. – *velké nároky na sladění obou smyček*
 - jako časový údaj zadává rozdíl středních hodnot obsazeností obou smyček a jako délkový údaj se volí středy smyček.

Reference

- <http://www.sensorsmag.com/sensors/electric-magnetic/a-new-perspective-magnetic-field-sensing-855>
- <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/01.cfm>
- Traffic Detector Video Training Course - Part 1-4
 - <http://www.youtube.com/watch?v=j3CfU-f0Jpl>
 - <http://www.youtube.com/watch?v=Q6EpYiR1Mc4>
 - http://www.youtube.com/watch?v=SFmSuVee_GI
 - <http://www.youtube.com/watch?v=siLS2LQKf2Y>
- <http://nptel.iitm.ac.in/courses/105101008/>

- Děkuji za pozornost