

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

DISERTAČNÍ PRÁCE

2021

Lukáš JAN HRABÁNEK

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

KOMPARAČNÍ ANALÝZA HOSPODÁRNOSTI A
BEZPEČNOSTI ORGANIZACE PRACOVNÍCH MÍST
NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Disertační práce

LUKÁŠ JAN HRABÁNEK

2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ: LUKÁŠ JAN HRABÁNEK

PODPIS:

DATUM:

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval mému školiteli doc. Ing. Miroslavu Růžičkovi, CSc. za vedení této disertační práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům z katedry vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty ČZU v Praze, neboť mi poskytli nezbytnou odbornou pomoc a podmínky pro studium. Rád bych také poděkoval vedoucímu a členům katedry fyziky ČZU v Praze, neboť s jejich laskavým svolením bylo možné umístit rám pro fólie dopravního značení na střeše budovy fakulty.

Nemohu ani zapomenout na své rodiče, kteří mi vždy poskytli velkou podporu. Velké díky patří i mým drahým kolegům z Ředitelství silnic a dálnic (dále pouze ŘSD), neboť mi někteří pomáhali s touto prací nejen po odborné stránce, ale mohl jsem se na ně obrátit i pro mě v těžkých osobních životních situacích. Jmenovitě bych chtěl poděkovat Ing. Vlastě Michkové, Ing. Michalu Caudrovi, Ing. Tomáši Kučerovi, Ing. Vlastimilovi Mrštíkovi a Mgr. Václavu Mrázovi, Ph.D.

Dále děkuji za připomínky a cenné rady Ing. Radce Matuszkové (VUT Brno) a Ing. Dagmar Kočárkové, Ph. D. (ČVUT v Praze, Dopravní fakulta).

Obzvláště bych chtěl poděkovat panu Michalu Prášilovi, který pracuje na ŘSD od roku 1986. Netušil jsem, že při nástupu na ŘSD v roce 2015 jsem v jeho osobě potkal svůj profesní osud. Musím říct, že díky němu jsem mohl odborně růst a bez něj bych toho mnoho nepoznal. Velmi si cením jeho času, který mi doposud věnoval a stále věnuje. Mentorství je totiž v dnešní době neocenitelná věc. Rozvinul mé technické myšlení a naučil mě věci studovat do nejhlubšího detailu.

Abstrakt

Disertační práce je rozdělena do dvou základních částí, a to na problematiku spotřeby energie (paliva) v dopravních uzavírkách na dálnicích a na zkoušení retroreflexních materiálů při jejich vystavení povětrnostním vlivům. Zjištěné závěry z pohledu spotřeby energie na jízdu vozidla v uzavírkách neprokázaly přímou závislost na intenzitě dopravy. Nelze tedy prokázat, že se zvyšující se intenzitou dopravy klesá spotřeba energie vozidla. I při srovnatelné intenzitě dopravy v uzavírce bude spotřeba energie vozidla kromě jiného ovlivňována vždy konkrétním uspořádáním uzavírky (organizací dopravy), tj. např. kapacitním připojením ostatních vozidel z prostoru křižovatek nebo místy pro vjezd a výjezd vozidla stavby. Závěry druhé části práce představují posouzení faktoru přispívajícího ke zlepšení bezpečnosti v oblasti pracovního místa (uzavírky). Tímto faktorem je dobrá viditelnost dopravního značení, které lze docílit, mimo jiné také správnou volbou a užitím fólie dopravního značení s odpovídající výkonností nebo kombinacemi fólií, které budou působit na účastníka silničního provozu jako celek a budou co nejvíce zachovávat stejnou viditelnost jak ve dne, tak i v noci, a to i za zhoršených povětrnostních podmínek (mlha, déšť, námraza, sníh), tj. budou odrážet světlo (retroreflexe) k řidiči stejným nebo podobným způsobem. Zjištěné závěry z pohledu vystavení vzorků povětrnostním vlivům prokazují, že zkoumané retroreflexní materiály výrazně převyšují svými hodnotami minimální požadavky dané normou s výjimkou modrého vzorku 3M 3200, které od počátku expozice vykazuje hraniční hodnoty od 1,1 do 1,5 $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Klíčová slova: spotřeba paliva, intenzita dopravy, pracovní místo, dopravní značení, retroreflexní materiál.

Abstract

The dissertation thesis is divided into two basic parts, namely the issue of energy consumption in traffic closures of highways and the testing of retroreflective materials in their exposure to weather conditions. The findings from the point of view of energy consumption for driving the vehicle in the closures did not show a direct dependence on traffic intensity. It cannot therefore be shown that the vehicle's energy consumption decreases with increasing traffic intensity. Even with comparable traffic intensity at the stop, the energy consumption of the vehicle will always be influenced, among other things, by the specific arrangement of the stop (traffic organization), i. e. capacity connection of other vehicles from interstions or places for entry and exit of construction vehicles. The conclusions of the sond part represent an assessment of the factor contributing to the improvement of workplace safety (closures). This factor is the good visibility of traffic signs, which can be achieved, among other things, by the right choice and use of traffic sign foil with appropriate performance or combinations of foils, which will affect the road user as a whole and maintain the same visibility as much as possible both during the day and at the night, even in worsened weather conditions (fog, rain, icing, snow), i. e. they will reflect light (retroreflection) to the driver in the same or similar way. The findings from the point of view of exposure of the samples to weathering show that the examined retroreflective materials significantly exceed the minimum requirements of the standard, with the exception of the blue sample 3M 3200, which from the beginning of exposure shows limit values from 1.1 to 1.5 cd lx⁻¹ m⁻².

Key words: fuel consumption, intensity of traffic, workplace, traffic signs, foils.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Přehled o současném stavu poznání	2
2.1	Spotřeba energie v dopravě	2
2.2	Počet vozidel v silniční dopravě	3
2.3	Intenzita dopravy na dálnicích	4
2.4	Pracovní místa na dálnicích	4
2.4.1	Dopravní režimy na dálnicích	7
2.4.2	Rozdělení dopravně zatížených úseků dálnic	8
2.5	Dopravní značení	11
2.5.1	Viditelnost, zřetelnost a čitelnost dopravních značek	11
2.5.2	Barevnost dopravní značky	13
2.5.3	Věk řidiče	13
2.5.4	Jas dopravních značek a okolního prostředí	15
2.5.5	Retroreflexe dopravních značek	16
2.5.6	Základní úhly v oblasti retroreflexe dopravních značek	18
2.5.7	Světlomety vozidel	19
2.5.8	Životnost retroreflexních materiálů	20
2.5.9	Faktory ovlivňující retroreflexi povrchu	21
2.5.10	Problematika rosení retroreflexních materiálů	22
2.5.11	Osvětlování retroreflexního povrchu	29

3.	Vědecké hypotézy a cíle.....	30
4.	Materiály a metody.....	32
4.1	Část Energetika – materiály a metody měření paliva v uzavírkách.....	32
4.2	Uzavírka dálnice D 5 v km 14–20 vlevo.....	34
4.3	Uzavírka dálnice D10 v km 6–11 vpravo	36
4.4	Uzavírka dálnice D10 v km 3, 43 – 9,9 vlevo.....	37
4.5	Uzavírka dálnice D10 v km 14–21 vpravo	38
4.6	Uzavírka dálnice D11 v km 39–42 vpravo (most přes Labe)	40
4.7	Část Bezpečnost – materiály a metody měření retroreflexe	42
5.	Výsledky a diskuse.....	45
5.1	Dálnice D5 v km 14–20 vlevo	46
5.2	Dálnice D10 v km 6–11 vpravo	50
5.3	Uzavírka dálnice D10 v km 3, 43 – 9,9 vlevo.....	53
5.4	Uzavírka dálnice D10 v km 14-21 vpravo.....	55
5.5	Uzavírka dálnice D11 v km 39–42 vpravo (most přes Labe)	56
5.7	Hypotéza č. 1.....	58
5.8	Hypotéza č. 2.....	62
5.9	Hypotéza č. 3.....	64
5.10	Hypotéza č. 4.....	70
5.10.1	Hodnota úbytku retroreflexe závisí na barvě fólie.....	72
5.10.2	Hodnota úbytku retroreflexe závisí na třídě fólie	73

5.10.3 Hodnota úbytku retroreflexe v souvislosti s normou	74
6. Závěr a přínos pro využití v praxi	76
7. POUŽITÁ LITERATURA.....	80
8. SEZNAM PŘÍLOH	89

Seznam obrázků

OBR. 1: STRUKTURA KONEČNÉ SPOTŘEBY ENERGIE V ČR (1990–2014)	2
OBR. 2: STUPEŇ MOTORIZACE 2015	3
OBR. 3: INTENZITY DOPRAVY 1994–2020 (ROK 1994, UVEDENÍ DO PROVOZU 100 %)	4
OBR. 4: KRÁTKODOBÉ PRACOVNÍ MÍSTO	5
OBR. 5: DLOUHODOBÉ PRACOVNÍ MÍSTO	5
OBR. 6: JEDNOTLIVÉ FÁZE ČTENÍ DOPRAVNÍ ZNAČKY	11
OBR. 7: PODÍL OSOB STARŠÍCH 65 LET PRO OBDOBÍ 1970–2040	14
OBR. 8: MNOŽSTVÍ SVĚTLA PRO ADEKVÁTNÍ REAKCI NA DOPRAVNÍ ZNAČENÍ	14
OBR. 9: JAS V SOUVISLOSTI S DOBOU ČTENÍ ZNAČKY	15
OBR. 10: TŘI DRUHY ODRAZU SVĚTLA	16
OBR. 11: VÝVOJ KONSTRUKCÍ FOLIÍ	17
OBR. 12: JAS ZNAČEK PO PRAVÉ STRANĚ	18
OBR. 13: SROVNÁNÍ OSVĚTLENÍ ZNAČEK V ROCE 1997 A 2011	19
OBR. 14: ZKUŠEBNÍ VZORKY FOLIÍ (FINSKO, 2004)	20
OBR. 15: ÚBYTEK RETROREFLEXE V ZÁVISLOSTI NA TYPU FÓLIE	22
OBR. 16: PROTIROSNÁ FÓLIE – NAD 0 °C (VLEVO), POD 0 °C (VPRAVO)	28
OBR. 17: ZNAČKY S VNĚJŠÍM OSVĚTLENÍM NA D1 V ROCE 2016	29
OBR. 18: MĚŘÍCÍ VOZIDLO ŠKODA OCTAVIA	32
OBR. 19: VZORKY FOLIÍ NA JIŽNÍ STRANĚ BUDOVY ČZU	43
OBR. 20: MĚŘIČ RETROREFLEXE ZENTHER 6060	44
OBR. 21: DÁLNICE D5 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR PRAHA)	46
OBR. 22: DÁLNICE D5 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR PLZEŇ)	49
OBR. 23: DÁLNICE D10 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR ML. BOLESLAV)	51
OBR. 24: DÁLNICE D10 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR PRAHA)	52
OBR. 25: DÁLNICE D10 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR PRAHA)	54

OBR. 26: DÁLNIČE D10 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR ML. BOLES LAV).....	55
OBR. 27: DÁLNIČE D11 PRAVÝ PROVIZORNÍ PRUH (SMĚR HRADEC KRÁLOVÉ).....	57
OBR. 28: SPOTŘEBA ENERIE V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ DOPRAVY	61
OBR. 29: SPOTŘEBA ENERIE V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ DOPRAVY	61
OBR. 30: SPOTŘEBA ENERIE V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ DOPRAVY	63
OBR. 31: SPOTŘEBA ENERIE V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ DOPRAVY	64
OBR. 32: HODNOTY RETROREFLEXE – BÍLÝ VZOREK	65
OBR. 33: HODNOTY RETROREFLEXE – ČERVENÝ VZOREK	67
OBR. 34: HODNOTY RETROREFLEXE – MODRÝ VZOREK.....	68
OBR. 35: KRABICOVÝ DIAGRAM	73
OBR. 36: KRABICOVÝ DIAGRAM	74
OBR. 37: BODOVÝ DIAGRAM.....	75

Seznam tabulek

TAB. 1: MINIMÁLNÍ POŽADOVANÝ JAS SVISLÝCH DOPRAVNÍCH ZNAČEK V NOCI.....	15
TAB. 2: SLEDOVANÉ UZAVÍRKY V KATEGORII A A B1	34
TAB. 3: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE NA D5 (SMĚR PRAHA).....	48
TAB. 4: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE NA D5 (SMĚR PLZEŇ).....	50
TAB.: 5 POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE (SMĚR ML. BOLESLAV).....	51
TAB. 6: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE (SMĚR PRAHA).....	53
TAB. 7: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE (SMĚR PRAHA).....	54
TAB. 8: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE (SMĚR ML. BOLESLAV).....	56
TAB. 9: POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN V UZAVÍRCE (SMĚR HRADEC KRÁLOVÉ).....	57
TAB. 10: REÁLNÉ ČETNOSTI	58
TAB. 11: OČEKÁVANÉ ČETNOSTI.....	59
TAB. 12: TESTOVACÍ KRITÉRIUM.....	60
TAB. 13: REÁLNÉ ČETNOSTI	62
TAB. 14: OČEKÁVANÉ ČETNOSTI.....	62
TAB. 15: TESTOVACÍ KRITÉRIUM.....	62
TAB. 16: VYPOČTENÉ HODNOTY PRO BÍLÝ VZOREK T – TEST	66
TAB. 17: VYPOČTENÉ HODNOTY PRO ČERVENÝ VZOREK T-TEST	67
TAB. 18: VYPOČTENÉ HODNOTY PRO MODRÝ VZOREK T – TEST.....	69
TAB. 19: CELKOVÉ VYHODNOCENÍ FÓLIÍ V OBDOBÍ 1. 8. 2017 – 1. 12. 2019	70
TAB. 20: CHARAKTERISTIKA SOUBORU DAT.....	72
TAB. 21: ÚBYTEK RETROREFLEXE (%) DLE BARVY FÓLIE	72
TAB. 22: ÚBYTEK RETROREFLEXE (%) DLE TŘÍDY FÓLIE.....	73
TAB. 23: MODEL PRO ÚBYTEK RETROREFLEXE	74

1. Úvod

Práce vychází z požadavků na zvyšování bezpečnosti a plynulosti dopravy, což je obzvláště důležité v oblasti pracovních míst, kde dochází k častým změnám vedení dopravy. V oblasti dlouhodobých pracovních míst se vždy v rámci návrhu opravy řeší počet a šířka provizorních jízdních pruhů, systém vedení dopravy, připojení vozidel z mimoúrovňových křižovatek na hlavní trasu dálnice a vlastní zabezpečení uzavírky spočívajícím v návrhu přechodného svislého a vodorovného značení, dalších bezpečnostních prvků jako jsou dočasná svodidla pro oddělení protisměrných jízdních pruhů, popř. prvky dočasných telematických zařízení (provizorní kamerový dohled, BT detektory, měření úsekové rychlosti, mobilní systém varování před kolonou, informační vozíky LED).

Správná organizace pracovních míst má důležitý vliv na spotřebu energie (paliva) i dojezdové časy a samozřejmě také nezanedbatelný vliv na bezpečnost provozu z pohledu možné tvorby dopravních kongescí. Nicméně nedostatečná plynulost dopravy v oblasti pracovního místa způsobená např. právě dopravní kongescí vede k neefektivnímu využívání lidské práce a času z pohledu celospolečenského přínosu a rozvoje.

Jedním z klíčových aspektů z pohledu bezpečnosti provozu je správná viditelnost dopravního značení, a to pro poskytování relevantních dopravních informací.

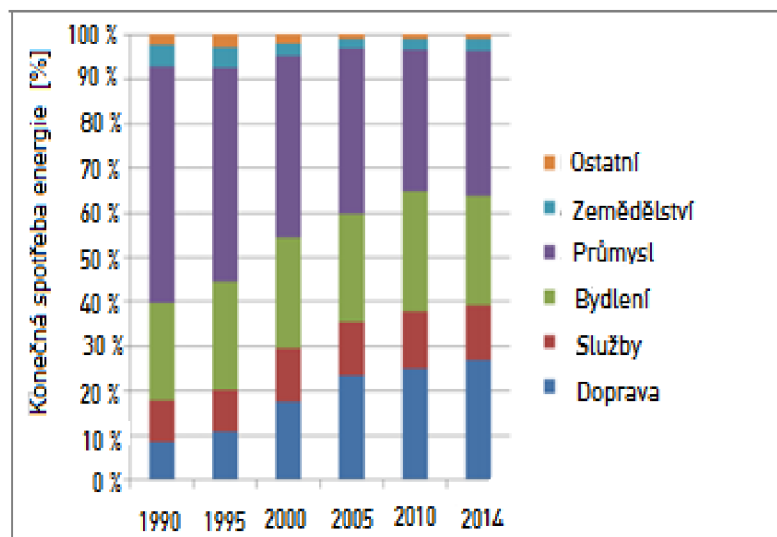
To platí obzvláště v noci, kdy je snížena viditelnost, která výrazně zhoršuje odhad vzdálenosti a rychlosti vozidel, pracovníci jsou méně vidět, dochází k ostrým přechodům světla a stínů. Další část práce se tedy zabývá zkoušením retroreflexních materiálů pro dopravní značení z pohledu jejich optické výkonnosti.

Neustálý vývoj a tím i velmi různá výkonnost fólií stále více ukazuje, že stávající tři třídy dělení dle ČSN EN 12899-1 Stálé svislé značení – Část 1: Stálé dopravní značky (dále jen „ČSN EN 12899-1“) jsou nedostačující, což může mít nepříznivý dopad na bezpečnost silničního provozu. Zejména správná výkonnost fólií na jedné dopravní značce v oblasti pracovních míst bude v souvislosti s příchodem autonomních vozidel nabírat na stále vyšší důležitosti.

2. Přehled o současném stavu poznání

2.1 Spotřeba energie v dopravě

Přeprava osob a zboží představuje asi 25 % celkové spotřeby energie na světě. USA, evropské země OECD a Čína spotřebují 55 % celkové spotřeby energie [1]. Podle zprávy organizace Energy Information Administration (EIA) se přepokládá nárůst spotřeby energie v rámci osobní přepravy o 1,4%/rok z 63 kvadrilionů Btu (1 Btu = 1055 J) v roce 2012 na 94 kvadrilionů Btu v roce 2040. Nejvyšší absolutní nárůst 15 kvadrilionů Btu vykazuje přeprava osobními vozidly [1]. V oblasti nákladní dopravy se očekává nárůst spotřeby energie o 1,5 % / rok ze 40 kvadrilionů Btu v roce 2012 na 60 kvadrilionů Btu v roce 2040. Nejvyšší nárůst lze očekávat u NA (dále jen „NA“), a to o 13 kvadrilionů Btu [1].



Obr. 1: Struktura konečné spotřeby energie v ČR (1990–2014)

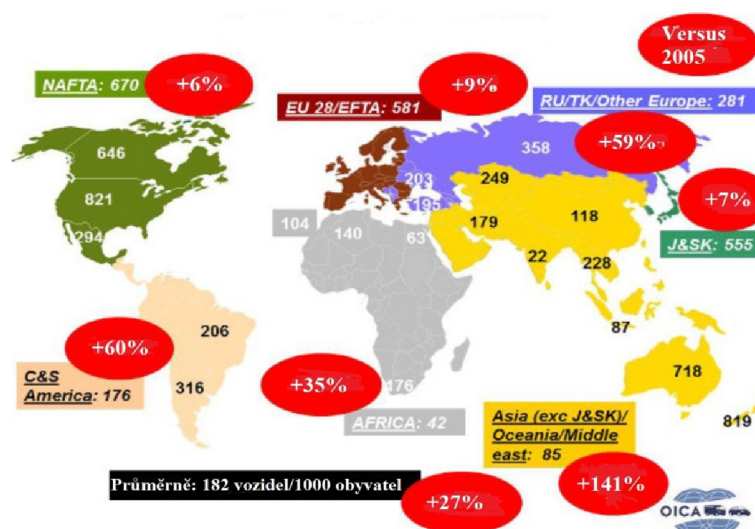
Legenda: [2]

Silniční přeprava představuje největší podíl ze všech druhů dopravy ve všech částech světa, ale existují významné rozdíly mezi využíváním jiných druhů dopravy. Např. lodní doprava v Jižní Koreji tvoří až ¼ celkové spotřeby energie, což odráží význam tohoto druhu přepravy na poloostrově, jehož ekonomika je velmi závislá na vývozu [1].

V Austrálii naopak převládá místní letecká doprava, které pomáhá dopravně spojit hustě osídlené aglomerace s řídce osídlenými regiony a tvoří 20 % celkové spotřeby energie v dopravě (např. USA 9 %, Čína 6 %) [1]. Z pohledu konečné míry růstu spotřeby energie v dopravě v období 1990 – 2014 (Obr. 1) lze říci, že je ČR na prvním místě v EU s hodnotou 4,2 (% per annum) [2].

2.2 Počet vozidel v silniční dopravě

Podle statistiky International of organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) [3] byl počet vyrobených vozů v roce 1999 56 258 892. V roce 2018 to bylo celkem 95 643 593, což je nárůst o téměř 59 %. Z pohledu míry motorizace ukazuje porovnání pro jednotlivé oblasti planety za roky 2005 a 2015. Nejvyšší nárůst motorizace zaznamenaly oblasti jihovýchodní Asie, a to 141 % (Obr. 2).

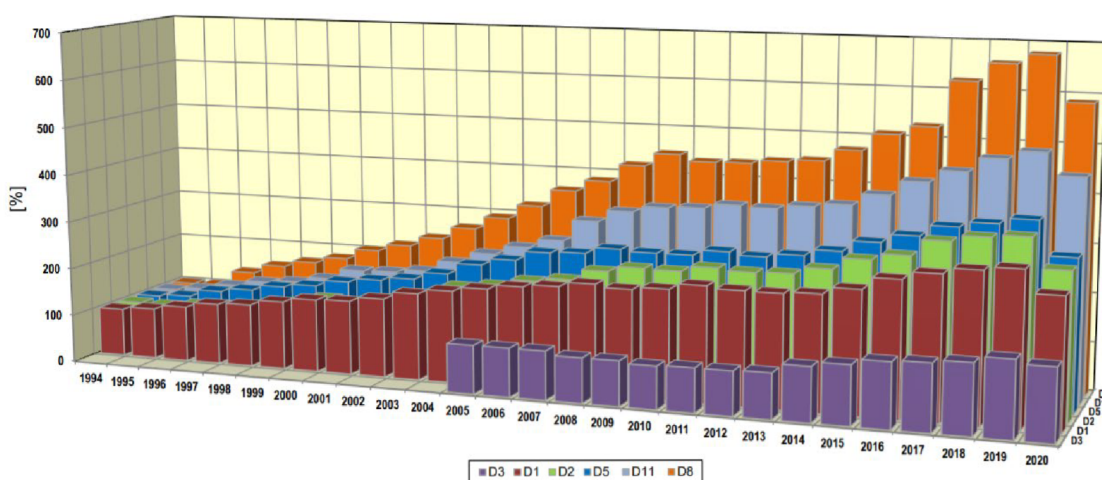


Obr. 2: Stupeň motorizace 2015

Legenda: [4]

2.3 Intenzita dopravy na dálnicích

Na silnicích dosud nahrazujících dálniční síť byla v roce 1959 průměrná denní intenzita 2100 voz/24 h, v roce 1963 to bylo již 2986 voz/24 h a v roce 1968 dokonce 4615 voz/24 h [5]. Na dálnicích bylo prováděno první sčítání intenzit dopravy v úseku dálnice D1 Chodov – Mirošovice. Na tomto úseku se nejvyšší průměrná 24hodinová intenzita dopravy zvýšila z 10830 voz/24 h (1973) na 84 090 voz/24 h [5]. Vývoj intenzit na vybraných úsecích dálnic v období 1994-2020 (Obr. 3) nebo v příloze č. 1 [6].



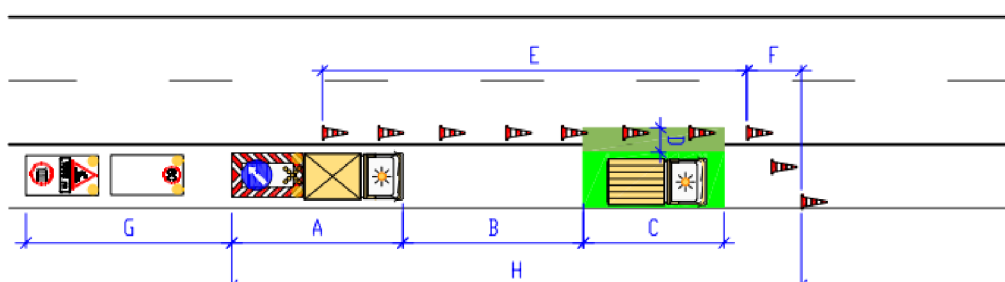
Obr. 3: Intenzity dopravy 1994–2020 (rok 1994, uvedení do provozu 100 %)

Legenda: [7]

2.4 Pracovní místa na dálnicích

Pracovní místo je prostor pro pracovní či stavební vozidla, stroje, materiál, pracovníky atd. a pro provádění vlastní stavební, údržbové či správní činnosti. Vlastní pracoviště může zabírat jen malou část pracovního místa. U neplánovaného pracovního místa se jedná o prostor, v němž jsou nepojízdná či havarovaná vozidla nebo jiná překážka provozu, zasahující složky Integrovaného záchranného systému atd.

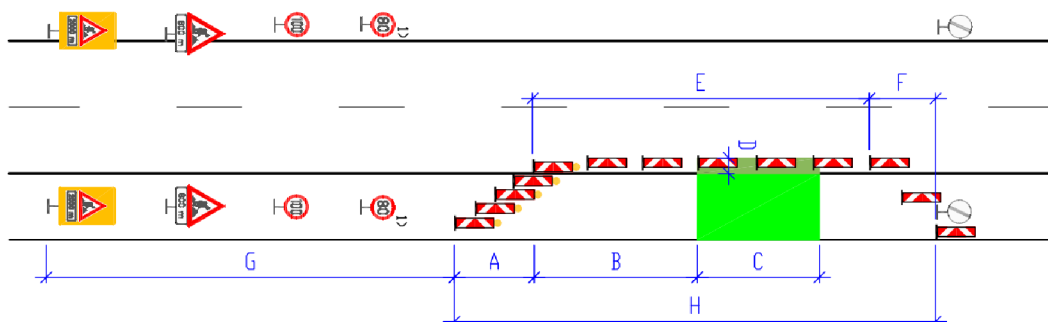
Krátkodobé pracovní místo (Obr. 4) je pracovní místo zřizované zpravidla po dobu jedné pracovní směny nebo jednoho kalendářního dne, výjimečně až po dobu 48 hodin. Může být pohyblivé (plynule se pohybující nebo s krátkými zastávkami do cca 20 minut) nebo stabilní. Vyznačuje se menším počtem dopravních značek a vysokým podílem mobilních prvků přechodného dopravního značení (výstražné a předzvěstné vozíky).



Obr. 4: Krátkodobé pracovní místo

Legenda: A – příčná uzávěra, B – bezpečnostní zóna, C – pracovní místo (kompletní prostor pro vozidla stroje, materiál, pracovníky), D – podélný (boční) bezpečnostní odstup, E – podélná uzávěra, F – koncová uzávěra, G – značky a zařízení před příčnou uzávěrou (přibližovací úsek), H – oblast pracovního místa [8]

Dlouhodobé pracovní místo (Obr. 5) je stabilní pracovní místo zřizované nepřetržitě na dobu delší, než je určena pro krátkodobé pracovní místo, tj. zpravidla na dobu delší než jeden den.



Obr. 5: Dlouhodobé pracovní místo

Legenda: A – příčná uzávěra, B – bezpečnostní zóna, C – pracovní místo (kompletní prostor pro vozidla stroje, materiál, pracovníky), D – podélný (boční) bezpečnostní odstup, E – podélná uzávěra, F – koncová uzávěra, G – značky a zařízení před příčnou uzávěrou (přibližovací úsek), H – oblast pracovního místa [8]

Na dálnicích v ČR je zřízeno kolem 15 000 krátkodobých pracovních míst ročně. Dále je za rok vydáno okolo 240 rozhodnutí o uzavírcce příslušným správním úřadem pro dlouhodobá pracovní místa z důvodu nezbytných oprav, údržby, technických prohlídek a měření. Všechny tyto činnosti se provádí většinou za provozu a dle své povahy, místa a doby provádění více či méně omezují plynulost provozu [9].

Tím se snižuje komfort jízdy pro uživatele komunikace, prodlužují se dojezdové časy [10], [11], zvyšuje se riziko ohrožení uživatele a pracovníků [12], [13], [14],[15], [16]. Současně rostou celospolečenské náklady [9].

U krátkodobých pracovních míst lze výrazně snížit jejich vliv na provoz pečlivým plánováním a volbou jejich nutného začátku nebo konce s ohledem na reálnou intenzitu provozu [17]. I na velmi zatížených úsecích kolísá během dne intenzita provozu mezi špičkou a sedlem. Vlastní práce by tak měly být plánovány na dobu mimo špičku do tzv. časových oken [9], [18].

K dopravním kongescím všeobecně dochází, pokud překročí intenzita dopravy 1500 voz/h. na dvoupruhovém jízdním pásu v daném směru jízdy. Na třípruhovém jízdním pásu dochází k dopravním kongescím při intenzitě dopravy přibližně 3000 voz/h [19].

U dlouhodobých pracovních míst lze jejich dopady na provoz snížit těmito způsoby:

- Zkrácením doby trvání potřeby pracovních činností.
- Ponecháním původního počtu jízdních pruhů v obou směrech i při jejich zúžení či převedení na protisměrný jízdní pás.
- Zohledněním toho, který den v týdnu je nutné začít či ukončit vlastní práce [9].

2.4.1 Dopravní režimy na dálnicích

Volbu vhodného dopravního režimu lze rozdělit dle rozsahu omezení nebo uzavírky takto:

- dopravní omezení na dálnici – např. práce na zpevnění krajnici, kdy je snížena pouze rychlost a nedochází k uzavírce jízdnic či přídatných pruhů.
- částečná uzavírka bez převedení dopravy na protisměrný jízdní pás.
- částečná uzavírka s převedením dopravy na jízdní pás.
- úplná uzavírka na dálnici [9].

Při převedení dopravy na protisměrný jízdní pás je možné hovořit zejména o těchto dopravních režimech:

- 2+2/0 – jedná se o organizaci dopravy, kdy je jeden jízdní pás z důvodu stavebních prací uzavřen, přičemž na protisměrném jízdním pásu je veden provoz ve dvou jízdních pruzích v každém směru jízdy. Potřebná min šířka zpevnění je 11,50 m.
- 2+1/1 – jedná se o organizaci dopravy ve dvou jízdních pruzích v každém směru jízdy s převedením jednoho jízdního pruhu na protisměrný jízdní pás. Jedná se tedy o vedení dopravy ve dvou jízdních pruzích v každém směru jízdy.
- 2+1/0 SP – jedná se o organizaci dopravy s přehazováním, kdy je uzavřen celý jízdní pás z důvodu stavebních prací, přičemž na protisměrném jízdním pásu je veden veškerý provoz a dochází ke změně počtu jízdních pruhů v daném směru jízdy, a to s ohledem na předpokládaný vývoj intenzit dopravy během týdne.
- 2+1/0 – jedná se o organizaci dopravy, kde je uzavřen jízdní pás z důvodu stavebních prací a provoz je veden na protisměrném jízdním pásu. O vyšším počtu jízdních pruhů pro daný směr jízdy rozhoduje zpravidla intenzita provozu nebo stavební řešení dálnice (podélný sklon).

- 1+1/0 – jedná se o organizaci dopravy, kde je uzavřen celý jízdní pás z důvodů stavebních prací a na protisměrném jízdním pásu je veden jeden jízdní pruh v každém směru jízdy [36].
- 2/2 – jedná se o organizaci dopravy, kde je veden provoz dvěma pruhy v každém směru jízdy [36].
- 2/1 – jedná se o organizaci dopravy, kde je snížen počet jízdních pruhů v daném směru jízdy [36].
- 1/1 – jedná se o organizaci dopravy, kde je snížen počet jízdních pruhů v obou směrech jízdy [36].

2.4.2 Rozdělení dopravně zatížených úseků dálnic

Při plánování pracovních míst se přihlíží k různým hlediskům, mezi něž patří zejména intenzita dopravy, resp. míra rizika vzniku dopravní kongesce. Tyto úseky (příloha 2) je tedy možné dle sčítání dopravy rozdělit v současné době takto [20]:

- Kategorie A – úsek trvale ohrožený kongescí – zahrnuje úseky s roční průměrnou intenzitou 40 tisíc voz/den.
- Kategorie B – úsek potenciálně ohrožený kongescí – zahrnuje úseky s roční průměrnou intenzitou dopravy cca 16–40 tisíc voz/den.
- Kategorie C – úseky s minimální hrozbou kongesce – zahrnuje úseky s roční průměrnou intenzitou dopravy do 16 tisíc vozidel za den.

Kategorie A

Úseky zahrnuté do kategorie A vyžadují s ohledem na jejich zatížení dopravou specifický přístup k plánování pracovních míst. Na těchto úsecích se veškerá dlouhodobá pracovní místa trvající déle, než pět dní plánují se zachováním alespoň dvou jízdních pruhů v každém směru jízdy [20].

Pokud stávající šířkové uspořádání u cementobetonových vozovek (případně u mostů nebo nadjezdů) neumožňuje při velké opravě nebo rekonstrukci tento režim vedení dopravy, navrhne se buď provizorní či trvalé rozšíření vozovky pro režim 2+2 na jedné polovině, nebo změna technologie opravy (druhu povrchu vozovky, typu mostní konstrukce, typu mostního závěru atd.) tak, aby bylo možné realizovat práce na jednom jízdním pásu ve dvou podélných polovinách při režimu 2+1/1 [20].

Krátkodobá pracovní místa vyžadující snížení počtu průběžných jízdních pruhů se zásadně provádějí v časech mimo období přepravních špiček, tj. v době, kdy lze předpokládat, že intenzita dopravy na jeden jízdni pruh nepřesáhne 1500 vozidel za hodinu na dvoupruhovém jízdni pásu nebo 3000 vozidel za hodinu na třípruhovém jízdni pásu. Při určení vhodné doby se postupuje v souladu s PS 8/14 [20].

Kategorie B

Pro dlouhodobé pracovní místo u úseků v této kategorii se režim vedení dopravy volí s ohledem na místní podmínky. Je-li to možné, účelné a ekonomicky přiměřené, provádí se práce se zachováním stávajícího počtu jízdni pruhů obdobně jako u úseků kategorie A [20].

Při provádění prací v režimu 2+1/1 lze připustit jeho úpravu na režim 2+1 pro účely pokládky obrusné vrstvy vozovky v celé šíři jízdni pásu. Za tímto účelem se zvolí konkrétní časové okno určené pouze pro pokládku obrusné vrstvy, přičemž se přednostně volí časy s nejnižšími dopady na plynulost provozu [20].

Doba dočasné změny na režim 2+1 nesmí přesáhnout 5 po sobě jdoucích dní, přičemž v případě velmi dlouhých úseků lze tento režim po přerušení po dobu dopravní špičky použít i opakovaně. Pro dokončovací práce po pokládce obrusné vrstvy (vodorovné značení, práce na okrajích vozovky) se opět využije předchozí režim 2+1/1 [20].

V odůvodněných případech lze s ohledem na časy dopravní špičky zvolit režim 2+1p (v případě silné víkendové špičky; nevhodné u pracovních míst delších než 6 km) nebo 2+1 (v případě jiné preference) [20].

V případě hrozby dopravní kongesce na dálnici je nezbytné prověřit také průjezdnost případných odklonových či objízdnych tras a do projektu DIO zahrnout také nezbytné úpravy na těchto trasách [20].

Snížení počtu jízdnic pruhů ze dvou na jeden na dobu delší, než pět dní je přípustné pouze v odůvodněných případech na úsecích kategorie B2 (tj. úsecích s roční průměrnou intenzitou dopravy do cca 28 tis. vozidel za den) [20].

V případě pracovních míst delších než 6 km se navrhne režim 2+1 s vystřídáním preferovaného směru v polovině úseku pro umožnění předjíždění v obou směrech jízdy (ve směru jízdy při vjezdu do uzavírky 1 pruh, při výjezdu z uzavírky 2 pruhy) [20].

Krátkodobé práce a fáze zřizování, změny nebo odstranění přechodné úpravy provozu probíhají přednostně v časech mimo období přepravní špičky (v souladu s PS 8/14) [20].

Kategorie C

V případě úseků zahrnutých do kategorie C se obvykle nepředpokládá větší tvorba kolon při snižování stávajícího počtu jízdnic pruhů [20].

V takovém případě se volí režim vedení dopravy s důrazem na bezpečnost pracovního místa a na ekonomické hledisko [20].

Dlouhodobá pracovní místa se plánují při režimu 1+1, v případě pracovních míst delších než 6 km se navrhne režim 2+1 s vystřídáním preferovaného směru v polovině úseku pro umožnění předjíždění v obou směrech jízdy (ve směru jízdy na začátku úseku 1 pruh, na konci úseku 2 pruhy) [20].

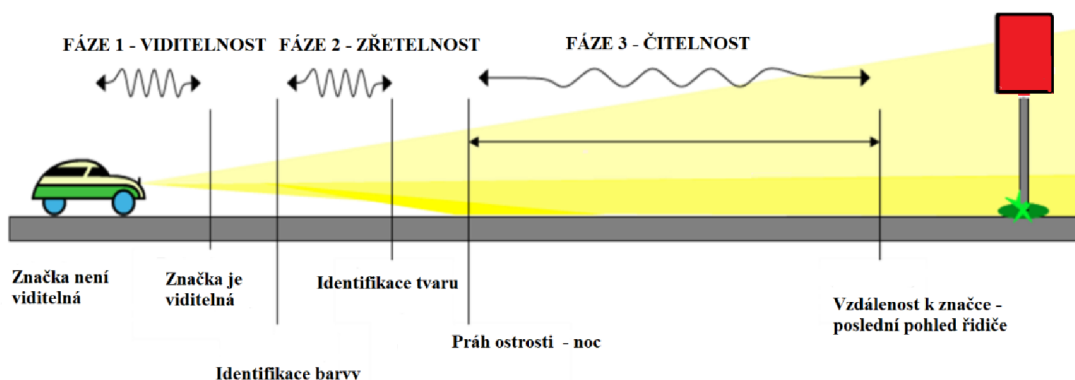
Mají být zohledněny také další faktory jako výskyt pruhů pro pomalá vozidla, připojení a odpojení v křižovatkách, délky přejezdů SDP apod. [20].

2.5 Dopravní značení

Za klíčové aspekty vnímání dopravního značení jsou považovány: fyzický a psychický stav řidiče (fyzická únava, zrak apod.), umístění retroreflexního povrchu, optická výkonnost, stav a konstrukce retroreflexního povrchu, druh a kvalita světlometů vozidel (zdroj světla) [21], [22] [23], [24], [25], [26] a druh vozidla (osobní vozidlo, nákladní vozidlo).

2.5.1 Viditelnost, zřetelnost a čitelnost dopravních značek

Dopravní značení zajišťuje bezpečné dopravní prostředí prostřednictvím zákazů, příkazů, výstrah či jinak [27], [28], a [29]. Cílem osazení klíčových (příkazových, zákazových) dopravních značek, zejména upravujících přednost v jízdě a rychlost, je zvýšit bezpečnost silničního provozu [30], [31], [32]. To platí obzvláště u přechodné úpravy provozu v oblasti krátkodobých pracovních míst, kde často dochází ke změnám ve vedení dopravy a ke sdělování důležitých povinností, které jsou kladeny na řidiče [33].



Obr. 6: Jednotlivé fáze čtení dopravní značky

Legenda: [34]

Základní požadavky, které by dopravní značení mělo splňovat, jsou jeho vlastnosti, a to: viditelnost, zřetelnost a čitelnost (Obr. 6) [16], [35], [36].

Zjištění (viditelnost) – řidič při pohledu před sebe zjistí, že v určité vzdálenosti před ním je nějaká dopravní značka. Nedokáže zatím rozeznat o jakou značku se jedná, ale při dalším přibližování zaměří pozornost na tento bod. Viditelnost značky je tedy důležitá pro prvotní poznatek, že před řidičem je nějaká dopravní značka [37].

Identifikace (zřetelnost) – řidič je tak blízko značky, že je schopen určit její druh a připravit se na skupinu informací, kterou tento druh značek obsahuje. Například pokud před sebou vidí bílý kruh s červeným okrajem, může předpokládat, že se jedná o nějaký zákaz, i když přesně ještě nerozezná černý symbol ve středu kruhu. Okamžik nebo místo, v němž je řidič schopen identifikovat druh značky můžeme nazvat zřetelnost značky. Pro zajištění dostatečné zřetelnosti značek je nutná jejich jednotnost. Řidič musí s jistotou rozeznat, o jaký druh značky se jedná a jaké pokyny nebo informace tedy může očekávat [37].

Rozpoznání (čitelnost) – po dalším přiblížení již řidič dokáže rozpoznat všechny údaje na značce, tedy obdrží všechny informace poskytované značkou. Díky tomu je dokáže vyhodnotit a může na ně patřičně reagovat. Okamžik nebo místo, v němž je řidič schopen zcela rozeznat značku můžeme nazvat čitelnost značky [37].

Vzdálenost, na niž jsou značky viditelné, zřetelné a čitelné, je pro řidiče velmi důležitá a měla by být co největší. Na zřetelnost a čitelnost značek má vliv několik prvků, zejména tvar, barva a jas. U orientačních dopravní značek je zásadním faktorem i to, pokud značka obsahuje příliš malé a tedy i špatně čitelné údaje, pokud údaje nejsou jednoznačné nebo pokud je jich příliš velké množství a řidič je nedokáže v daném čase vnímat [37].

Průměrná doba trvání posledního pohledu (pozorování) na značku (Obr. 6) řidičem přesahuje 3 s. A to bez ohledu na úroveň jasu, věk řidiče či místo jízdy (extravilán nebo intravilán) [38]. Průměrná celková doba pozorování dopravní značky je v extravilánu při rychlosti 104 km/h 6,24 s. Poslední pozorování značky mělo vždy nejdelší dobu trvání a předcházely mu dvě nebo více kratších pozorování [39].

Řidiči se často podívají na dopravní značku ze vzdálenosti větší než 300 m [39]. Průměrná celková doba pohledu na dopravní značku v intravilánu při rychlosti 56 km/h se snížila na 4,6 s, což je patrně způsobeno množstvím zrakových podnětů běžných v městském prostředí [39].

Vzdálenost, na kterou je značka čitelná významně ovlivňuje snížení retroreflexe značky. Při snížení retroreflexe u značky typu IX na 15 % se zkrátila čitelnost značky z 59,1 na 49,2 m, což představuje snížení čitelnosti o téměř 17 %. V intravilánu při stejném snížení retroreflexe došlo ke zkrácení čitelnosti značky ze 75,8 na 58,4 m, což představuje 23 % [40]. Z pohledu (barevnosti) kolority musí být patrné, zda je dopravní značka žlutá, modrá, zelená či jiné barvy [41].

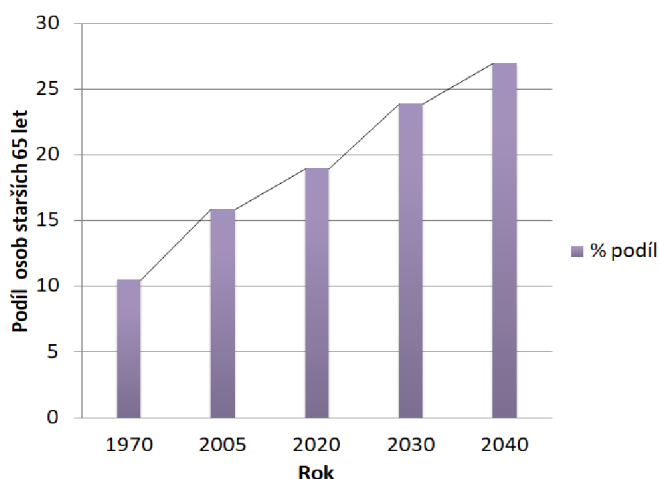
2.5.2 Barevnost dopravní značky

Barva musí být přesně určena a musí v určitých mezích vydržet co nejdelší dobu, minimálně však po dobu funkční životnosti značky [46]. Barva je určena trichromatickými souřadnicemi, které se nalézají v kolorimetrickém trojúhelníku CIE (International Commission on Illumination) 1932 [37]. Vliv barevnosti na čitelnost značky se většinou vztahuje k jasů [42]. Bílá barva má mnohem vyšší jas než modrá značka [37].

Proměnnými parametry jsou barva a jas, které lze při výrobě ovlivnit. Dopravní značky jsou účinné pouze tehdy, když jsou jasně viditelné. Používáním fólií vyrobených z retroreflexního materiálu jsou i v noci viditelné značky, které nejsou osvětleny vnějšími světly [43].

2.5.3 Věk řidiče

Demografické výzkumy statistického úřadu EUROSTAT ukazují, že populace Evropy stárne, neboť hodnota ukazatele relativního zastoupení osob starších 65 let se pro evropskou populaci zvýšila z 10,5 % v roce 1970 na 15,9 % z roku 2005 [44]. Do roku 2020 se pak podle použité střední varianty projekce Spojených Národů dá očekávat růst podílu evropských seniorů na celkových 19 %. Podle dat Eurostat z 20. 07. 2017 bude osob starších 65 let (Obr. 7) v roce 2030 23,9 % a v roce 2040 již 27 %.



Obr. 7: Podíl osob starších 65 let pro období 1970–2040

Legenda: [45]

U řidičů ve věku 70–74 let je při nehodě dvakrát větší pravděpodobnost úmrtí než u řidičů ve věku 30–59 let (u řidičů ve věku 80 let a starších je riziko pětikrát vyšší) [46]. Starší řidiči potřebují o 40 % více času a 8x více světla (Obr. 8), aby adekvátně reagovali na objekt nebo dopravní značení, než je tomu u mladších řidičů [49]. Dále je třeba zmínit ještě různé oční vady řidičů, kdy dle Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR na základě šetření European Health Interview Survey (EHIS 2014) uvedlo 19,7 % respondentů potíže se zrakem (i když použijí své brýle nebo jiné vizuální pomůcky) [47].



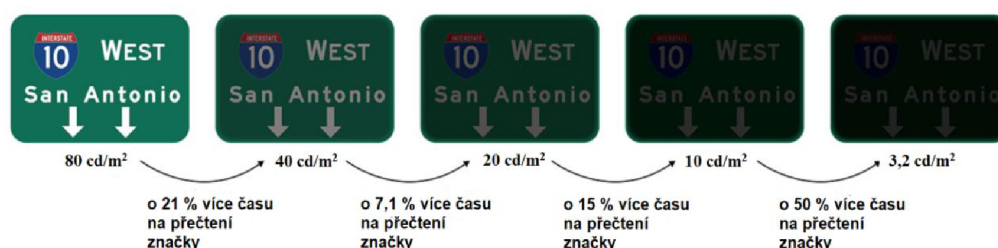
Obr. 8: Množství světla pro adekvátní reakci na dopravní značení

Legenda: [47]

V případě nočních jízd je to 2,5 smrtelných nehod na milión ujetých mil [48]. V případě dopravních nehod ve dne je tato hodnota těsně pod 1 smrtelnou dopravní nehodu na jeden milión ujetých mil [48]. Zatímco jízdy vozidlem jsou uskutečňovány pouze z jedné čtvrtiny v noci, 50% smrtelných dopravních nehod se stalo právě v nočních hodinách [49].

2.5.4 Jas dopravních značek a okolního prostředí

Zvýšení jasu dopravní značky výrazně zkracuje čas čtení dopravní značky (Obr. 9) [50]. Podobně zvýšení velikosti značky, resp. snížení indexu čitelnosti také zkracuje dobu čtení značky. Výzkumy naznačují, že větší a jasnější dopravní značky jsou efektivnější [51],[52]. Z pohledu stanovení potřebné úrovně jasu bylo zjištěno, že minimální úroveň jasu je $3,2 \text{ cd/m}^2$, optimální úroveň jasu je 80 cd/m^2 [53]. Snížení optimální úrovně jasu o 50 % prodlužuje o 21 % dobu čtení značky [50].



Obr. 9: Jas v souvislosti s dobou čtení značky

Legenda: [54]

Studie Darmstadské univerzity uvádí dvě úrovně jasu okolního prostředí, a to $0,01 \text{ cd/m}^2$ a 10 cd/m^2 s pozorovací vzdáleností 70 m bez oslnění. Minimální úroveň jasu, díky níž je značka „tmavá, rozpoznatelná“ je ve světlém prostředí 8 cd/m^2 . Tato studie uvádí optimální rozmezí jasu mezi $40\text{-}250 \text{ cd/m}^2$ [51].

Tab. 1: Minimální požadovaný jas svislých dopravních značek v noci

Podíl čitelnosti f Bezpečné pro % populace		Minimální požadovaný jas značek [cd/m^2]		
		Jas pozadí		
		$L_{\text{poz}} = 0,1 \text{ [cd/m}^2]$	$L_{\text{poz}} = 0,1 \text{ [cd/m}^2]$	$L_{\text{poz}} = 100 \text{ [cd/m}^2]$
0,5	26	0,86	1,5	6,3
0,75	67	8,2	12,0	21,0
0,85	76	29,0	41,0	49,0

Legenda: [53]

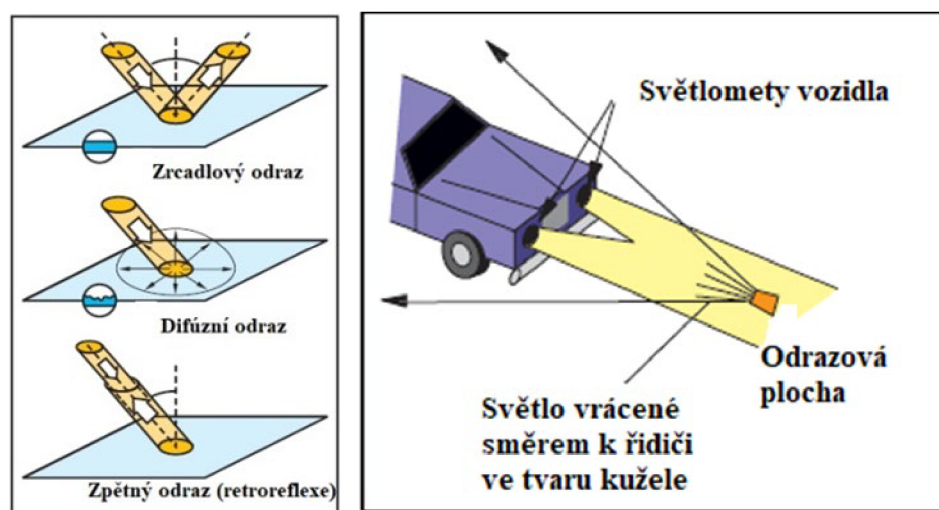
Zpráva TNO uvádí hodnoty minimálního jasu značek (Tab. 1) v závislosti na jasu okolního prostředí. (neosvětlená silnice v extravilánu, silnice s veřejným osvětlením, jasně osvětlená silnice velkoměsta). Uvedené hodnoty jsou vztaženy ke vzdálenosti od značky 100 m. Zpráva TNO uvažuje s viditelností 1 cm výšky písma na 6,9 m, což však platí pro osoby s dobrým zrakem [53].

2.5.5 Retroreflexe dopravních značek

Retroreflexní značkou se rozumí značka, jejíž činná plocha je tvořena retroreflexním materiálem. Podle ČSN EN 12899–1 se retroreflexní materiál s ohledem na světelně technické vlastnosti dělí na třídu RA1, RA2 a RA3. Vyšší kategorie komunikací vyžadují užití vyšší třídy retroreflexe. Retroreflexní značky označující zvláště významné dopravní situace (dopravně významné křižovatky, změny organizace dopravy, místa vyžadující zvýšenou pozornost apod.) [55].

Proto, abychom dopravní značku v noci vnímali stejně [56],[57], jako ve dne slouží zpětný odraz a tedy dopravní značky s retroreflexním povrchem, a to v balotinovém nebo mikroprizmatickém provedení [58], [59], [60]. Během dne není retroreflexe dopravního značení potřebná, neboť viditelnost zajišťuje rozptýlený (difúzní) odraz [37], [61]. Obecně se používají pro svislá dopravní značení dva typy retroreflexních materiálů, a to: prizmatické (pravoúhlé) a sférické (kulovité) technologie. Retroreflexní vlastnosti jsou založené na refrakci (lomu) nebo reflexi (odrazu) světla či spojením obou jevů [62], [63].

V případě svislého dopravního značení je světlo přicházející ze světlometů vozidla přeměrováno z přední strany značky nazpět k vozidlu (ke zdroji světla), což způsobuje zviditelnění značky pro řidiče. Rozeznáváme tři druhy odrazu světla (Obr. 10), a to zrcadlový, rozptýlený a zpětný (retroreflexní) [64].

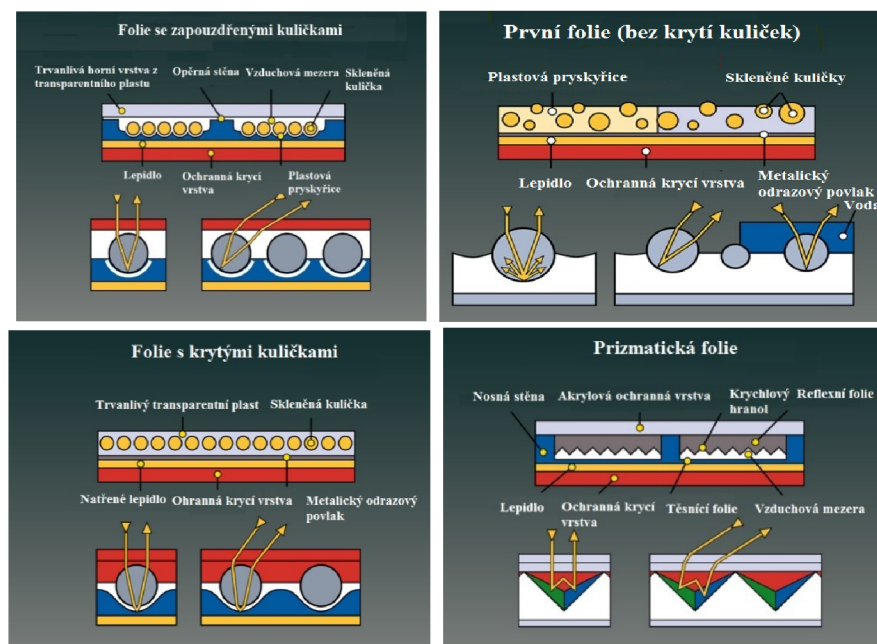


Obr. 10: Tři druhy odrazu světla

Legenda: [65]

První retroflexní fólie byly tvořeny skleněnými kuličkami balotiny, které nebyly nijak chráněny, čímž při vzniku kapiček kondenzací vody na povrchu fólie docházelo k lámání světelných paprsků špatným směrem a taková plocha se stávala pro řidiče nereflexní [50], [66].

Další balotinové fólie byly konstruovány tak, že jednotlivé skleněné kuličky balotiny byly umístěny zcela pod plastovým transparentním filmem a se vzduchovou mezerou. Vývoj v oblasti fólií (Obr. 11).



Obr. 11: Vývoj konstrukcí fólií

Legenda [67]

Ještě účinnějším prostředkem bylo užití speciální skleněné plochy na zadní straně skleněné kuličky. V poslední době se však již vývoj v této oblasti zaměřuje na mnohem výkonnější mikro prizmatické fólie [43], [50], [68].

Základními úhly v oblasti retroreflexe je pozorovací a osvětlovací úhel. Pozorovací úhel (α) je úhel svíraný spojnicemi mezi světlomety vozidla, dopravním značením a očima řidiče. Osvětlovací úhel (β) je úhel svíraný přímkami mezi světlomety vozidla – dopravním značením a přímkou odraženého světla kolmou na plochu značení [69].

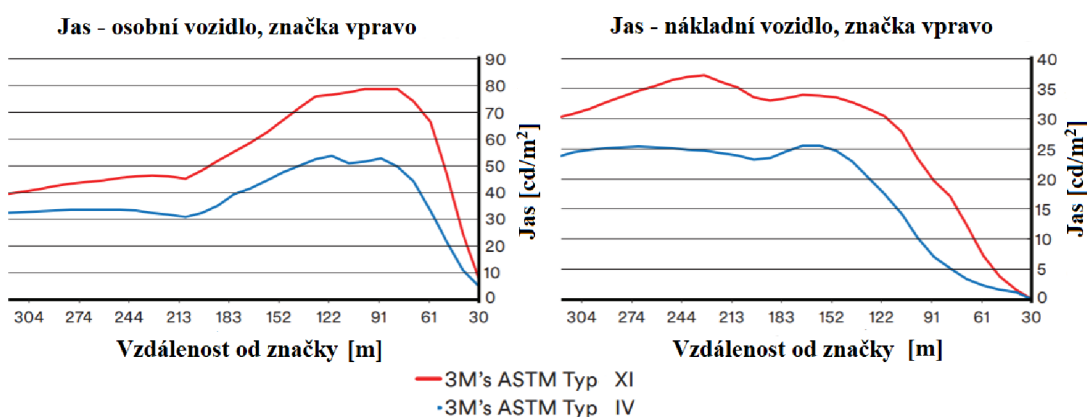
Požadavky na retroreflexní fólie jsou uvedeny v ČSN EN 12 899–1 [96], kde jsou ovšem specifikované požadavky na zkoušky týkající se materiálů obsahujících balotinu [60]. Minimální hodnoty retroreflexe balotinových fólií pro třídu RA 1 a RA 2 (barva bílá, červená, modrá, zelená) jsou uvedené také v této normě, přičemž součinitel retroreflexe všech tištěných barev s výjimkou bílé nesmí být nižší než 70 % hodnot uvedených v normě [70].

Funkční charakteristiky retroreflexních materiálů využívajících mikroprizmatickou technologii jsou stanoveny v příslušném dokumentu ETA, který však není běžně dostupný, a tak byly do národní přílohy (NA) doplněny údaje o mikroprizmatických fóliích [71].

Funkční životnost pro balotinové fólie třídy 1 je 7 let, u balotinových fólií třídy 2 je to 10 let a u mikroprizmatických fólií je to také 10 let.

2.5.6 Základní úhly v oblasti retroreflexe dopravních značek

Pozorovací úhel (α) lze definovat jako úhel mezi zpětně odraženým paprskem směrem k oku pozorovatele a přímkou tvořenou světelným paprskem dopadajícím na povrch. Pozorovací úhel bude větší pro řidiče kamionu nebo autobusu než osobního vozidla, což se projeví na hodnotě jasů (Obr. 12) [67]. Porozumění pozorovacím úhlům je užitečné při instalaci značek, aby se světlo přesně odráželo od světlometů vozidla zpět k očím řidiče, čímž se zvyšuje viditelnost a jas značek [69].



Obr. 12: Jas značek po pravé straně

Legenda: [72]

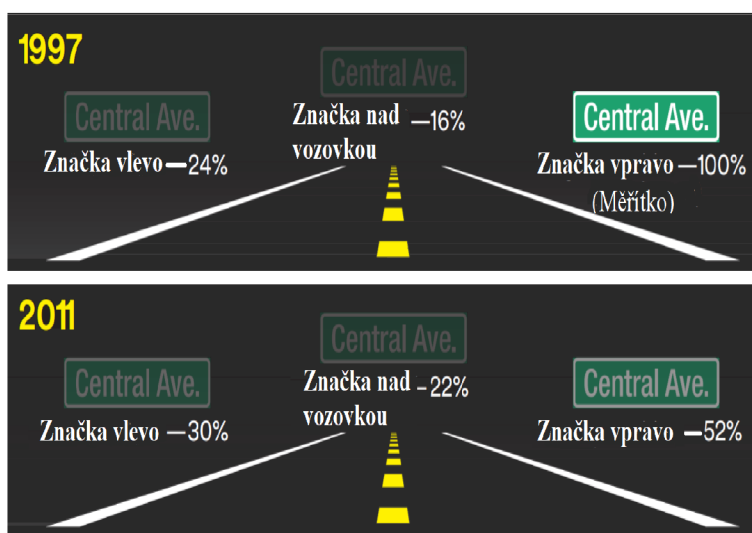
Existuje inverzní vztah mezi pozorovacím úhlem a intenzitou jasu retroreflexního materiálu. Jinými slovy, jak se úhel zvyšuje, tak se snižuje jas dopravní značky. Osvětlovací úhel je úhel mezi paprskem světlometu ke značce a přímkou kolmou k čelní ploše dopravní značky [69].

2.5.7 Světlometry vozidel

Osvětlení značek v souvislosti se světlometry užívanými v USA v roce 1997 a 2011 se podstatně změnilo [23]. Ukazuje se, že došlo ke snížení osvětlení značek umístěných na pravé straně vozovky. Osvětlení značek na pravé straně se snížilo o 48 % oproti roku 1997 [73].

Naopak došlo ke zvýšení osvětlení značek vlevo a nad vozovkou (Obr. 13). Nicméně to neznamená, že značky vlevo a nad vozovkou budou vypadat stejně jasně jako značky na pravé straně vozovky. Je třeba upozornit na to, že značka vlevo obdržela v roce 1997 pouze 20 % a značka nad vozovkou 10 % osvětlení, které obdržela dopravní značky na pravé straně vozovky [73].

To mj. znamená, že i při 30 % nárůstu osvětlení světlometry z roku 2011 obdrží značky stále jen 13 %, resp. 26 % světla, která obdržela dopravní značka v roce 1997 [74]. Nicméně je důležité zmínit, že se významně zvyšuje optická výkonnost dopravních značek (kap. 2.5.5).



Obr. 13: Srovnání osvětlení značek v roce 1997 a 2011

Legenda: [72]

2.5.8 Životnost retroreflexních materiálů

Funkční životností retroreflexních materiálů se zabýval výzkum organizace Finnish Transport Agency (FTA), která zkoumala retroreflexi po dobu 19 let (1997–2016), a to při vystavení materiálů působení meteorologických vlivů (deště, sněhu, sluneční radiace apod.) [75].

Od roku 2001 byla sledována též kolorita jednotlivých vzorků [76]. Výzkumem životnosti retroreflexních materiálů se zabývají i v jiných zemích [77], [78],[79].

Samotný výzkum probíhal tak, že jednotlivé retroreflexní materiály o rozměrech 0,1 m · 0,1 m byly vystaveny v blízkosti silniční komunikace, a to ve Finsku, Dánsku, Norsku, Švédsku a Islandu [23], [67].

Výsledky výzkumu prezentované v roce 2017 konstatují, že 64 % vzorků fólií vyhovuje technickým požadavkům, které jsou kladeny na retroreflexní materiál i po 19 letech od jejich expozice (Obr. 14). U většiny retroreflexních materiálů, které již nesplňovaly požadavky, bylo zjevné odloupení části konstrukce fólie nebo ztráta kolority [75].



Obr. 14: Zkušební vzorky fólií (Finsko, 2004)

Legenda: [77]

2.5.9 Faktory ovlivňující retroreflexi povrchu

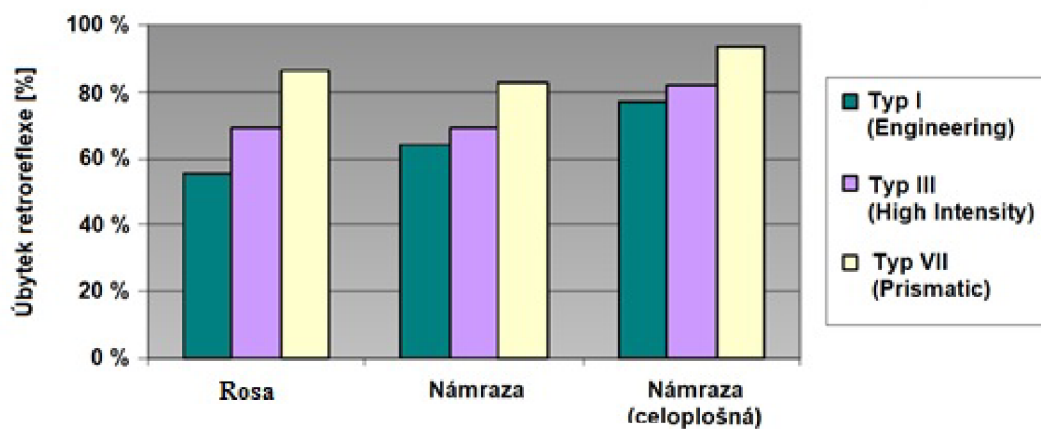
Retroreflexi ovlivňují níže uvedené faktory:

- **Druh úpravy** – druh úpravy lze po krátkém zaškolení rozeznat. Certifikovaní výrobci, se systémem řízení jakosti, v průběhu výroby měří optické vlastnosti fólií. Je tedy velmi nepravděpodobné, že by se na trh dostal nevyhovující výrobek. Výrobci měří původní fólie, tak vlastní tisky (sítotisk a digitální tisk) [80]. Správný postup provedení sítotisku může negativně ovlivnit retroreflexi až o 22 % a úroveň jasů o 10 % [81].
- **Rotační symetrie fólie** – balotinové fólie jsou rotačně symetrické, tj. při měření v jakémkoliv natočení měřicího přístroje vůči původnímu směru výroby fólie jsou hodnoty retroreflexe stejné. Některé mikroprizmatické fólie jsou asymetrické a výrobce udává úhel, jak mají být nalepeny na plechu značky. Např. lze najít výrazný rozdíl retroreflexe při soulepu více dílů více barvy na základní plochu, kdy výrobce značky chce ušetřit prořezy a nalepit pásy řezané z role v jednom směru na plochách kolmo k sobě [37].
- **Stáří fólie** – stáří fólie lze určit ve většině případů dle registračního štítku na zadní straně plechu značky [70].
- **Čistota retroreflexního povrchu** – nejdůležitějšími faktory, které mají vliv na možné znečištění retroreflexního povrchu, je výška značky nad vozovkou a nadmořská výška, ve které je dopravní značka umístěna. Význam nadmořské výšky vychází ze skutečností, že častější sněžení se vyskytuje v oblastech s vyšší nadmořskou výškou [82]. Dopravní značky umístěné nízko nad vozovkou jsou často znečištěny sněhovou břečkou, prachovými a pylovými částicemi [83], [84], [85]. Pravděpodobnost snížení retroreflexe pro značky s osazením do výšky do 2 m byla mezi 1,55 až 1,72 násobkem dopravních značek umístěných do výšky nad 2 m [86].
- **Sloučeniny látek** – Dalším významným prvkem majícím vliv na znečištění značek jsou sloučeniny oxidu siřičitého. Dopravní značky instalované v oblastech s vyšší koncentrací znečišťujících látek v ovzduší (průmyslové oblasti nebo oblasti s vysokou intenzitou provozu) budou pravděpodobně více znečištěny [86].

- **Roční srážky** – Průměrné roční srážky mají také vliv na míru znečištění dopravních značek. Ačkoli pravidelné srážky mají potenciál vyčistit dopravní značky, toto neplatí pro sníh, který je naopak faktorem přispívajícím k znečištění značení [86].

- **Rosný bod, námraza a podobné vlivy** [87],[88],[89] – Rosa se vytváří, když se vlhký vzduch ochladí a přichází do styku s chladnějším povrchem, a okolní teplota klesá pod rosný bod. [90]. Vzhledem k tomu, že rosení značek je složitá problematika, tak je jí věnována samostatná kapitola 2.5.10. Dalším faktorem snižujícím retroreflexi je námraza, která snižuje retroreflexi více než vznik rosy. Procentuální snížení retroreflexe podle typu materiálu fólie (Obr. 15).

- **Vandalismus** – mezi různými vlivy na retroreflexi dopravních značek je vandalismus výlučně způsoben lidmi [40],[84], [91]. Vandalismus dopravních značek je vážným problémem, protože může vést k nárůstu nebezpečných situací při jízdě [92] a [93]. Vedle toho dochází ke zvýšení nákladů správců silnic, kteří musí nahradit, opravit nebo udržovat dopravní značení ve vyhovujícím stavu [94], [95], [96].



Obr. 15: Úbytek retroreflexe v závislosti na typu fólie

Legenda: [41]

2.5.10 Problematika rosení retroreflexních materiálů

Rosení značek se zabývá obsáhlá studie, kterou ŘSD zadalo nezávislé akreditované laboratoři. Rosení povrchu dopravních značek je řízeno stejným principem, jakým za jasných nocí kondenzuje vzdušná vlhkost na povrchu listů rostlin nebo třeba na kapotě automobilu.

Tento projev kondenzace vzdušné vlhkosti je dobře známý pod názvem „rosa“. Kondenzace vzdušné vlhkosti na povrchu subtilních předmětů je řízena jednoduchými fyzikálními zákonitostmi [97]. Všechna reálná tělesa s nenulovou teplotou (teplota vyšší než absolutní nula, tedy teplota vyšší než -273 °C) vyzařují elektromagnetické záření. Toto záření bývá v praxi označováno jako tepelné záření těles, známé jako sálání. S tímto zářením vydává těleso teplo, čímž se ochlazuje. Povrch Země tak vyzařuje teplo do vesmíru [97].

Za jasných dní je přes den tepelné vyzařování zemského povrchu doslova „přezářeno“ sluncem, a tak namísto ochlazování dochází naopak vlivem slunečního záření k ohřívání povrchu Země. V noci však sluneční záření na zemský povrch nedopadá a při jasné obloze se vnější povrchy vlivem vlastního vyzařování ochlazují. Při jasné noční obloze vysálá povrch Země své teplo až do horní vrstvy troposféry. V našich zeměpisných šířkách může být její teplota v zimě až -60 °C a v létě až -30 °C [97].

Aby byla zachována termodynamická rovnováha, je zřejmé, že teplo v noci vyzářené povrchem musí být přibližně stejně velké, jaké povrch pohltil během dne. V případě oblačnosti je množství povrchem vyzařovaného tepla daleko menší, neboť voda obsažená v mracích atmosféru do značné míry „znepřístupňuje“ pro infračervené záření [97]. U silnostěnných masivních těles je výdej tepelné energie vnějším povrchem částečně kompenzován přísunem tepla, které je naakumulované ve hmotě tělesa. Dochází tak sice k pozvolnému ochlazování celé masy tělesa, ale výsledné ochlazení vnějšího povrchu je velmi pozvolné a mírné [97].

V důsledku nočního podchlazení může klesnout teplota povrchu tělesa až na teplotu rosného bodu. Na nižší hodnoty však povrchová teplota tělesa výrazněji neklesá, protože při povrchové kondenzaci vlhkosti se začne uvolňovat skupenské kondenzační teplo vody. V důsledku toho se teplota povrchu tělesa v průběhu noční kondenzace udržuje přibližně na teplotě rosného bodu. Počátek povrchové kondenzace nastává, má-li parciální tlak vodních par v tenké vrstvičce při povrchu vyšší hodnotu, než parciální tlak nasycené vodní páry ve vzduchu při daných podmínkách okolního vzduchu (teplota povrchu je nižší nebo rovna teplotě rosného bodu okolního vzduchu). V takovém případě se molekuly vodní páry začnou shlukovat okolo nejstudenějších míst povrchu [97].

Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Pokud teplota nějakého předmětu klesne pod tuto hodnotu, dochází ke kondenzaci. V případě, že teplota rosného bodu bude nižší než bod mrazu, dojde přímo k tvorbě ledových krystalků na povrchu. Je důležité zmínit, že se jedná o teplotu daného povrchu, která může být i o několik stupňů celsia nižší než teplota okolního prostředí, a to v důsledku emisivity daného povrchu [97].

Pro optické vlastnosti povrchu pokrytého vodními kapkami je nejdůležitějším parametrem velikost vodních kapek. V případě, že vodní kapky budou mít průměr přibližně shodný s vlnovou délkou viditelné části světelného spektra, tedy 100 nm až 2500 nm (0,1 – 2,5 μm), bude docházet k výraznému rozptylu odraženého záření do různých směrů. Pro tyto situace se výrazně zhorší viditelnost struktur či nápisů umístěných na tomto povrchu. V situaci, kdy budou kapky velmi malé, nebo naopak výrazně větší než vlnová délka viditelné části spektra, bude rozptyl odraženého záření hrát již zanedbatelnou roli [97].

Velikost kapek usazených na povrchu bude určena hlavně velikostí povrchového napětí vody na rozhraní voda – povrch tělesa. Bude-li povrch hydrofilní (smáčivý), bude povrchové napětí malé a kapky vody se budou po povrchu rozlévat. Na povrchu se vytvoří velmi tenká vrstva vody, která v případě, že její tloušťka bude podobná vlnové délce viditelného světla, bude způsobovat nežádoucí interferenční jevy v odraženém světle. Naopak bude-li povrch hydrofobní (nesmáčivý), bude velké povrchové napětí na rozhraní voda-povrch zabraňovat tvorbě tenké vrstvy, ale zároveň se budou tvořit jednotlivé kapky na povrchu. U těchto kapek bude opět rozhodující jejich velikost [97].

Aby nebyly významně narušeny optické vlastnosti povrchu pokrytého jednotlivými kapkami, je nutné dosáhnout toho, aby jejich velikost byla významně větší než vlnová délka viditelného světla. Pak nebude docházet k nežádoucím interferenčním jevům a rozptylu odraženého záření [97].

Bude-li se jednat o svislý povrch, je výhodné zvolit takovou úpravu tohoto povrchu, aby velikost vytvářených kapek byla dostatečná k tomu, aby jednotlivé kapky mohly po tomto povrchu stékat a zajistit tak samočisticí funkci povrchu. Zároveň lze předpokládat, že při takovéto velikosti kapek již nebude docházet k nežádoucím optickým jevům [97].

Tyto vlivy zvyšují možnost vzniku a celkové doby rosení [97]:

- **Zvýšená vzdušná vlhkost v okolí** – zdroje zvýšené vzdušné vlhkosti – rybníky, přehrady, řeky, vysoké porosty – stromy a keře, chladicí věže elektráren. Čím je vyšší vzdušná vlhkost, tím se i zvyšuje teplota rosného bodu a přibližuje se teplotě vzduchu.
- **Snížené proudění vzduchu** – oblasti s nízkým výskytem proudění vzduchu, okolní zástavba, vysoké porosty – stromy a keře. Malé nebo žádné proudění vzduchu v okolí dopravní značky neovlivňuje přenos tepelné energie sáláním.
- **Nenasákavý povrch** – pokud je povrch nenasákavý, tak vzniklý kondenzát se na něm drží.
- **Pórovitost a nerovnost povrchu** – Čím více je daný povrch nerovný a čím více je pórovitý, tím více se na něm kapky kondenzátu udrží, aniž by odtekly z povrchu pryč.
- **Kontakt „face to face“** – pokud je těleso vystaveno přímému kontaktu s atmosférou (těleso na atmosféru „vidí“), není nijak ovlivněn přenos tepla sáláním mezi dvěma tělesy a dojde tak ke snadnějšímu podchlazení povrchu.
- **Bezoblačnost** – v období bezoblačných dní nebo v oblastech se sníženým výskytem oblačnosti není přenos tepelné energie oblačností ovlivněn. Nejčastěji k podchlazování povrchu dochází za jasných bezoblačných nocí.
- **Zvýšená světelná odrazivost povrchu** – světelná odrazivost slunečního záření povrchu ovlivňuje především délku výskytu rosení. Povrchy se zvýšenou světelnou odrazivostí nenaakumulují během dne tolik tepla, což znamená, že se během noci mohou mnohem rychleji podchládit.
- **Zvýšená emisivita povrchu** – čím je hodnota emisivity větší, tím lépe si může daný povrch vyměňovat tepelnou energii sáláním. Zvýšená emisivita povrchu znamená, že tento povrch se dokáže rychleji zahřát, ale i rychleji ochladit.

Vlivy snižující možnost vzniku a doby rosení [97]:

- **Snížená vzdušná vlhkost v okolí** – „otevřený“ prostor bez stínění, prostor bez porostů a bez zdrojů vody, prostředí ve městech). Čím je nižší vzdušná vlhkost, tím se snižuje teplota rosného bodu a oddaluje se od teploty vzduchu.
- **Zvýšené proudění vzduchu** – oblasti s větším výskytem proudění vzduchu, horské oblasti, „otevřené“ prostory bez zástavby a vysokých porostů. Zvýšené proudění vzduchu ovlivňuje, resp. „přerušuje“ přenos tepelné energie sáláním, tzn., zabraňuje podchlazování povrchů. Pokud se ještě jedná o proudění teplého vzduchu, ten dokáže dané těleso navíc ještě ohřívat. Zvýšené proudění vzduchu navíc urychluje vysušování povrchu s již vzniklým kondenzátem, tzn., zkracuje dobu výskytu rosení.
- **Nasákavý povrch** – v případě nasákavého povrchu je vzniklý kondenzát distribuován dále do hmoty a nezůstává na povrchu.
- **Kompaktní a hladký povrch** – se snižujícím se množstvím pórů a se zvyšující se rovností – hladkostí povrchu se i zvyšuje úhel smáčení povrchu, což má za následek snadnější odtok kapek kondenzátu.
- **Nekontaktně „face to face“** – pokud je tělesu znemožněn přímý kontakt s atmosférou (těleso na atmosféru „nevidí“ – překážka, stříška, sklonění k zemskému povrchu) je výrazně omezen přenos tepelné energie sáláním mezi dvěma tělesy, resp. může být zcela přerušen. K podchlazení povrchu daného tělesa tak nemusí vůbec dojít.
- **Oblačnost** – oblačnost tvoří pro tepelné záření atmosféry nepropustnou bariéru, tzn., nedojde k přenosu tepla sáláním mezi tělesem a atmosférou, nedojde tedy k podchlazení povrchu.
- **Snížená světelná odrazivost povrchu** – povrchy se sníženou světelnou odrazivostí povrchu dokážou během dne více naakumulovat tepelnou energii, tj. k jejich podchlazení nedojde tak rychle. Schopnost rychlého ohřátí povrchu také dokáže po ránu rychleji odstranit následky rosení, kapky kondenzátu se rychleji odpaří.

- **Snížená emisivita povrchu** – čím je hodnota emisivity nižší, tím hůře si může daný povrch vyměňovat tepelnou energii sáláním. Snížená emisivita povrchu znamená, že tento povrch se dokáže pomaleji zahřát, ale i pomaleji ochladit [97].

Jednou z variant, jak zabránit rosení značek. Např. výrobce retroreflexních folií 3M nabízí protirosný krycí film „*3M Dew Resistant Overlay Film 1180*“ [97]. Princip tohoto protirosného filmu je založen na vysoké povrchové energii, což zapříčiňuje malý smáčecí úhel pro vodu. Efekt spočívá v tom, že kapky vody se rovnoměrně rozplynou po povrchu a vytvoří tak na povrchu souvislý tenký vodní film, který nijak zásadně nerozptyluje světelné paprsky [97].

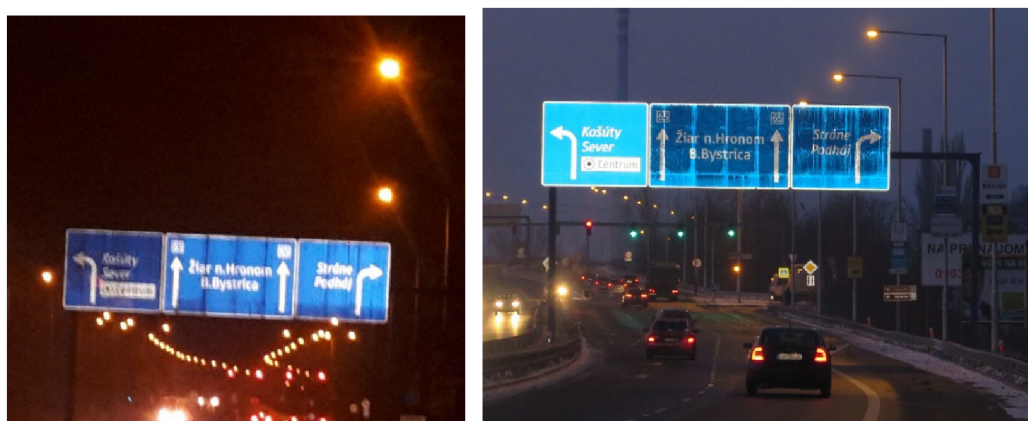
Výsledkem je, že nedochází ke ztrátě retroreflexe. Finální povrch filmu, který má protirosné vlastnosti, je chráněn transparentním ochranným povlakem rozpustným ve vodě. Pro zajištění správné protirosné funkce filmu musí být tento transparentní ochranný povlak po aplikaci na činnou plochu odstraněn umytím čistou vodou za pomoci mycí houbičky [97]. Po odstranění ochranného povlaku musí být zajištěno, aby nedošlo ke kontaminaci povrchu (především mastnota) nebo k poškrábání. V ideálním případě by povrch filmu měl přijít do kontaktu jen s vodou a vzduchem. V opačném případě ztrácí tento film svoje protirosné vlastnosti. Tloušťka filmu je 25 μm [97].

Použití tohoto filmu se nedoporučuje na činné plochy vytvořené soulepem. Nerovnosti činné plochy vzniklé nalepenými symboly by po celoplošném přelepení tímto krycím filmem mohly vytvářet stíny a barevné přechody. Nikdy nesmí dojít k tomu, aby byl na povrchu činné plochy tento film přelepen přes sebe. Při zajištění předepsané údržby a při zachování smáčecího úhlu pro vodu méně než 25° deklaruje výrobce životnost tohoto filmu po dobu 7 let [97].

Na základě velkého množství provedených experimentů a měření bohužel nelze formulovat jednoznačné závěry. Jednoznačným zjištěním však je, že do procesu rosení dopravních značek vstupuje několik ovlivňujících faktorů (především povětrnostní podmínky – teplota a vlhkost vzduchu, proudění vzduchu, oblačnost), díky kterým je patrně jakákoli simulace reálného stavu pro vytvoření podmínek pro vznik rosení téměř nereálná [97].

Nejperspektivnější metodou pro porovnání jednotlivých vzorků mezi sebou vzhledem k náchylnosti na vznik rosení se jeví detekce rosení vizuálně za reálných podmínek. Ve vztahu k praktickému použití se jako vhodnou variantou jeví použití protirosné folie (zkoušen byl výrobek Oralite 5090 Anti-Dew-Film), která dokáže výrazně zvýšit retroreflexi ve stavu orosení. Při vytvoření námrazy však již použití protirosné folie nemá pozitivní účinek na zvýšení retroreflexe, což je patrné z Obr. 16 [97].

Otázkou také zůstává doba účinnosti této folie. Výrobce udává životnost protirosné folie Oralite 5090 Anti-Dew-Film po dobu 5 let, což je méně oproti minimální požadované životnosti retroreflexních folií v délce 7 let. Doba účinnosti této protirosné folie však nebyla zkoumána. Možným směrem v omezení špatné viditelnosti velkoplošných značek při rosení je zaměřit se na absolutní hodnoty retroreflexe modrých folií. U modrých folií v oroseném nebo namrzlém stavu dochází k výraznějšímu poklesu retroreflexe oproti bílým foliím [97].



Obr. 16: Protirosná fólie – nad 0 °C (vlevo), pod 0 °C (vpravo)
Legenda: [72]

Zde je ale třeba zdůraznit, že hodnoty retroreflexe bílých folií v běžném stavu oproti modrým foliím jsou výrazně vyšší (cca 10krát) tj., že bílé folie s namrzlým povrchem mohou mít retroreflexi na úrovni modrých folií v běžném stavu (např. u bílé folie třídy RA3 je retroreflexe v běžném stavu cca $650 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ a v namrzlém stavu cca $50 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, zatímco u modré folie třídy RA3 je retroreflexe v běžném stavu cca $80 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ a v namrzlém stavu cca $5 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

Snížení špatné viditelnosti modrých velkoplošných značek při orosení, resp. námraze, by mohlo být docíleno používáním modrých retroreflexních folií s co možná nejvyšší retroreflexí. Zcela jinou cestou pro zabránění vzniku rosení velkoplošných dopravních značek by mohlo být zajištění vyhřívání podkladu činných ploch – štítů. Vyhřívání by mohlo být zajištěno topným kabelem, přichyceným ke štítu ze zadní (nepohledové) strany.

Zdrojem pro topný kabel by mohl být solární panel v kombinaci s bateriovým úložištěm a sofistikovaným zařízením měřícím povětrnostní podmínky a teplotu povrchu činné plochy, které by aktivovalo vyhřívání v okamžiku, kdy by se blížily podmínky pro vznik rosení povrchu činné plochy. Námětem pro další zkoumání může být sestavení „prototypu“ značky dle výše uvedeného popisu a ověření funkčnosti značky s vyhříváním štítem a sledování chování této značky v reálných podmínkách.

2.5.11 Osvětlování retroreflexního povrchu

Pro zajištění dostatečného jasů svislých dopravních značek na portálech se v úsecích s veřejným osvětlením do roku 2020 užívalo vnější osvětlení [98]. Vzhledem k tomu, že se zvýšila výkonnost svétlometů a účinnost retroreflexních materiálů, tak se toto vnější osvětlení (Obr. 17) bude postupně vypínat a nové se již nebude osazovat, a to z důvodu vysokých pořizovacích a provozních nákladů. Podle zjištění ŘSD Německo, Španělsko ani Francie pro svislé značky neuvítají vnější osvětlení [99], [100], [101].



Obr. 17: Značky s vnějším osvětlením na D1 v roce 2016

Legenda: (Foto: Autor)

3. Vědecké hypotézy a cíle

Práce vychází z požadavků na neustálé zvyšování bezpečnosti a plynulosti dopravy, což je obzvláště důležité v oblasti pracovních míst, kde dochází k častým změnám vedení dopravy.

Jedním z faktorů významně ovlivňující bezpečnost provozu je optimální viditelnost dopravního značení pro poskytování relevantních dopravních informací. To platí obzvláště v noci, kdy je snižena viditelnost, která výrazně zhoršuje odhad vzdálenosti a rychlosti vozidel, pracovníci jsou méně vidět, dochází k ostrým přechodům světla a stínů apod.

Správná organizace pracovních míst má vliv na spotřebu energie (paliva), dojezdové časy a také bezpečnost silničního provozu, přičemž vzájemné souvislosti nebyly doposud uspokojivě vyřešeny.

Prvním cílem této disertační práce je popsat vztah mezi spotřebou energie a intenzitou dopravy, neboť lepší znalost těchto veličin může přispět k efektivnějšímu plánování dopravních omezení při zohlednění bezpečnosti provozu a dojezdových časů.

Obzvláště v pracovních místech je třeba dbát na optimální viditelnost značení, která je v noci zajišťována speciálními materiály s retroreflexním povrchem (fóliemi). Tato problematika je známa dlouhodobě, avšak není stále uspokojivě řešena.

Proto je dalším cílem práce nalézt odpověď na to, zda je mezi jednotlivými materiály užívanými v běžném provozu výrazná optická rozdílnost, což může mít negativní vliv na správnou identifikaci značky.

S tím souvisí i nezbytné posouzení závislosti úbytku retroreflexe na dílčích charakteristikách fólií (barvě a třídě) za 28 měsíců. Dále je třeba posoudit, zda úbytek retroreflexe nesouvisí s účelovým “naddimenzováním” výrobce nad požadavek technické normy.

Pro dosažení výše uvedených cílů byly zvoleny tyto čtyři hypotézy:

1. *Existuje závislost mezi spotřebou energie a intenzitou všech vozidel v uzavírce v dopravním režimu 2+1/1 nebo 2+1/0 v kategorii zatížení A a B1?*
2. *Existuje závislost mezi spotřebou energie a intenzitou nákladních vozidel (NA) v uzavírce v dopravním režimu 2+1/1 nebo 2+1/0 v kategorii zatížení A a B1?*
3. *Budou hodnoty retroreflexe jednotlivých vzorků na konci expozice ve specifických klimatických podmínkách splňovat min hodnoty uvedené v ČSN EN 12899-1.*
4. *Závisí hodnota úbytku retroreflexe na barvě fólie (bílá, červená, modrá), resp. na třídě fólie (RA1, RA2, RA3)?*

4. Materiály a metody

4.1 Část Energetika – materiály a metody měření paliva v uzavírkách

Měření spotřeby energie (paliva) bude prováděno služebním vozidlem značky Škoda Octavia, které je vozidlem zvláštního určení se zdvihovým objemem 1968 cm^3 s maximálním výkonem 110 kW a otáčkami 3500 ot/min, které je poháněné naftou (dále jen „měřící vozidlo“).



Obr. 18: Měřící vozidlo Škoda Octavia

Legenda: (Foto: Autor)

Měření bude probíhat v reálném provozu na dálnicích, takže nebude možné ani praktické použít matematický model a laboratorní výzkum. Měřící vozidlo (Obr. 18) bude propojeno kabelem HEX-CAN s notebookem, kde bude nainstalován počítačový program VCDS (VAG-COM).

Tento program se spojí s řídicími jednotkami všech vozidel skupiny Volkswagen Group (Volkswagen, Audi, Seat, Škoda a Ford Galaxy). Svými funkcemi je kompatibilní s diagnostikou VAG 1552, VAS 5051 a ODIS, které používají autorizované servisy Volkswagen.

V programu VCDS budou nastaveny dva parametry, tj. okamžitá spotřeba pohonných hmot a okamžitá rychlost. Jednotlivá měření budou zařízením snímána po cca 0,2 – 0,3 s a následně ukládána programem ve formátu csv., který bude nutné převést do tabulkového procesoru MS Excel do formátu xls. pro další zpracování dat. Každý průjezd uzavírkou bude také zaznamenán a uložen kamerou TrueCam A7s 1296p Car DVR.

Podmínky měření při průjezdu měřícího vozidla pracovním místem:

- Měření budou prováděna v uzavírkách na dálnicích s dopravním zatížením v kategorii A nebo B1 dle PS 11/17 a přílohy č. 2 této práce.
- Měření bude zahájeno vždy od začátku přibližovacího úseku (Obr. 5) a to od dopravní značky č. A15 na fluorescenčním podkladu (2000 m před příčnou uzávěrou) nebo i před touto značkou, a to v případě vzniku dopravní kongesce. Měření bude ukončeno vždy s koncem dopravní značky č. B26.
- V rámci přibližovacího úseku bude nejvyšší dovolená rychlost postupně snižována ze 130 km/h na 100 km/h a 80 km/h. V rámci vlastního pracovního místa bude dodržována nejvyšší dovolená rychlost (standardně 80 km/h) a měřící vozidlo pojedí vždy pravým jízdním pruhem. V případě vedení dopravy dvěma provizorními jízdními pruhy v daném směru jízdy bude jezdit měřící vozidlo v levém provizorním jízdním pruhu pouze při předjíždění pomalejších vozidel.
- Měření bude moci proběhnout jen v případě, že v dané oblasti nedošlo k mimořádné události jako např. k dopravní nehodě, která by měla vliv na provoz v uzavírce.
- Měření v uzavírkách bude probíhat pouze v ranních a odpoledních dopravních špičkách v měsíci červen, kdy jsou dosahovány nejvyšší průměrné intenzity dopravy. Měření bude probíhat v roce 2019 a 2020.
- Den měření se bude volit vždy s ohledem na hodinové intenzity dopravy, které zaznamenávaly automatické sčítače dopravy; Pro měření se bude muset užívat stejné měřící vozidlo a stejný řidič; Po celou dobu měření bude vypnut vozidlový systém „START – STOP“.

- Řazení bude probíhat vždy při optimálních otáčkách. Při každé jízdě se bude velmi pečlivě zohledňovat plynulost jízdy, tj. eliminace prudké akcelerace a decelerace.

Pro účely měření budou v roce 2019 vybrány níže uvedené uzavírky (Tab. 2).

Tab. 2: Sledované uzavírky v kategorii A a B1

Dálnice	Stavební akce	Kategorizace dálnice dle zatížení*	Dopravní režim	Uzavřeno**
D5	Oprava vozovky v km 14-20 L	A	2+1/1	LJP
D10	Oprava vozovky v km 6-11 P	A	2+1/1	LJP
D10	Oprava vozovky v km 3,4 – 9,9 L	A	2+1/1	LJP
D10	Oprava vozovky v km 14-21 P	B1	2+1/0	PP
D11	Oprava vozovky v km 39–42 P	B1	2+1/0	PP

Legenda: *A – úsek dálnice, který je zatížen více než 40 000 voz/den, B1 – úsek dálnice, který je zatížen více než 28–40 000 voz/den, **LJP – levý jízdní pruh, PP – pravý jízdní pás

4.2 Uzavírka dálnice D 5 v km 14–20 vlevo

Stavba se nachází v pahorkovitém území Křivoklátské vrchoviny jihozápadně od Prahy. Okolí dálnice tvoří polní pozemky a zástavba města Beroun. Dálnice je vedena střídavě na násypech (úsek km 17,1 – 19,9) a zářezích (úsek km 14,5 – 16,4). V úseku stavby se nacházejí rozsáhlé dálniční mostní objekty ev. č. D5-020 a D5-021, kterými dálnice překračuje řeku Berounku a Litavku.

Dálnice je vybudována v kategorii D26,5/120. Dálnice je v úseku stavby vedena v prudkých podélných sklonech až 4,0 %. Směrové vedení dálnice v úseku stavby je řešeno třemi protisměrnými oblouky o poloměrech R=2500–6000 m s přechodnicemi.

Předmětem stavby bude oprava vozovky levého jízdního pruhu vč. odbočovací větve z levého jízdního pásu v mimoúrovňové křižovatce Beroun-centrum (exit 18), doplnění tlumiče nárazu v rozštěpu odbočovací větve a levého jízdního pásu, dílčí úpravy odvodnění vozovky a vybudování nového přejezdu středního dělicího pásu (SDP) včetně úpravy kabelové trasy v SDP.

Dále budou součástí stavby úpravy mostů ev. D5-020.2, D5-021.2 a D5-023.2, oprava kanalizace bezvýkopovou metodou a stavební úpravy hlásek SOS.

S ohledem na provádění této stavby a navazující opravy vozovky levého jízdního pásu do úseku km 25,0 bude předmět stavby rozšířen o výstavbu přejezdu SDP v km 18,8 včetně související úpravy kabelové trasy v SDP.

Uzavírka dálnice D5 pro provedené výše uvedené opravy bude zřízena v úseku s dopravním zatížením v kategorii A. Pro dlouhodobý dopravní režim byla zvolen dopravní režim 2+1/1, tj. levý provizorní jízdní pruh bude převeden ve směru na Prahu na protisměrný jízdní pás. Pravý provizorní jízdní pruh bude veden podél pracovního místa, a to s využitím části pravého jízdního pruhu a zpevněné krajnice.

Ve směru na Plzeň bude vedena doprava v pravém jízdním pásu dvěma zúženými jízdními pruhy. Délka uzavírky ve směru na Prahu bude 5975 m. Délka uzavírky ve směru na Plzeň bude 6290 m.

Protisměrné jízdní pruhy budou odděleny dočasnými svodidly dle TP 159 (dále jen „dočasná svodidla“). Provoz podél pracovního místa bude oddělen dopravními zařízeními č. Z4 (dále jen „dopravní zařízení“).

Šířka provizorních jízdních pruhů bude ve směru na Plzeň 3,0 m a 3,5 m s tím, že do levého provizorního jízdního pruhu bude zakázán vjezd motorovým vozidlům, jejichž okamžitá šířka je větší než 2,2 m. Ve směru na Prahu bude šířka provizorního levého jízdního pruhu 3,95 m, šířka pravého provizorního jízdního pruhu podél pracovního místa bude 3,25 m.

Rychlost bude před vlastní uzavírkou snížena postupně na 100 km/h a 80 km/h. Dále platí, že je-li protisměrný provoz oddělen dočasnými svodidly a všechny provizorní jízdní pruhy jsou širší 3,0 m a více a nejsou v průběhu uzavírky provizorně připojeny křižovatky, resp. odpočívky nebo staveništní výjezdy, tak se v úseku osazuje rychlost 100 km/h.

Součástí uzavírky budou také omezení na křižovatkách (dále jen „MÚK“) při nájezdu na dálnici. Ve směru na Plzeň se bude uzavírka týkat MÚK 14 (Beroun – východ), kde bude zřízen provizorní připojovací pruh.

Na MÚK 18 vpravo (Beroun – centrum) a vlevo nebude dostatek prostoru pro zřízení provizorního připojovacího pruhu a bude nezbytné nájezd na dálnici D5 řešit dopravní značkou č. P6 „Stop, dej přednost v jízdě“, což má vždy dopad na bezpečnost a plynulost provozu, neboť řidiči jedoucí na hlavní trase se vzdávají přednosti v jízdě a tím často dochází k dopravním komplikacím.

Podélný profil levého pásu dálnice v km 20–19,006 vlevo bude 0,48 %. V km 19,006 – 16,859 je (- 0,25 %). Od km 16,859 do km 15,131 bude podélný sklon (-3,97 %). Od km 15,131 bude podélný sklon (-1,77 %). Ve směru na Prahu je tedy z důvodu velkého podélného sklonu zřízen přídatný pruh pro pomalá vozidla, a to od km 16,500 do km 14,440 vlevo. Pro zjištění intenzity dopravy bude využit automatický sčítač dopravy (ASD) typu ASIM v km 19. ASD měří data 24 hodin denně.

4.3 Uzavírka dálnice D10 v km 6–11 vpravo

Uzavírka dálnice D10 bude zřízena v úseku s dopravním zatížením v kategorii A. Pro dlouhodobý dopravní režim byl zvolen dopravní režim 2+1/1, tj. levý provizorní jízdní pruh bude převeden ve směru na Ml. Boleslav na protisměrný jízdní pás. Druhý jízdní pruh bude veden podél pracovního místa s využitím části pravého jízdního pruhu a zpevněné krajnice.

Délka uzavírky ve směru na Ml. Boleslav bude 4314 m. Délka uzavírky ve směru na Prahu bude 4954 m. Protisměrné jízdní pruhy budou odděleny dočasnými svodidly. Provoz podél pracovního místa bude oddělen dopravními zařízeními.

Šířka provizorních jízdních pruhů bude ve směru na Ml. Boleslav 3,5 m a 3,25 m. Ve směru na Prahu bude šířka provizorních jízdních pruhů 3,5 m. Do levých jízdních pruhů bude zakázán vjezd motorovým vozidlům, jejichž okamžitá šířka přesahuje 2,2 m.

Rychlost bude před vlastní uzavírkou snížena postupně na 100 km/h a 80 km/h. Dále platí, že bude-li protisměrný provoz oddělen dočasnými svodidly a všechny provizorní jízdní pruhy jsou širší 3,0 m a více a nejsou v průběhu uzavírky provizorně připojeny křižovatky, resp. odpočívky nebo staveništní výjezdy, tak se v úseku osazuje rychlost 100 km/h.

Na MÚK 10 vpravo (směr Ml. Boleslav) a vlevo (směr Praha) nebude prostor pro zřízení provizorního připojovacího pruhu a bude nezbytné nájezd na dálnici D10 řešit dopravní značkou č. P6 „Stop, dej přednost v jízdě“, což má vždy dopad na bezpečnost a plynulost provozu, neboť řidiči jedoucí na hlavní trase se vzdávají přednosti v jízdě, a tím často dochází k dopravním komplikacím (tvorba dopravních kongescí). Pro zjištění intenzity dopravy bude využit automatický sčítač dopravy (ASD) typu ESVZ Laser 2+0 v km 6. ASD měří data 24 hodin denně.

4.4 Uzavírka dálnice D10 v km 3, 43 – 9,9 vlevo

Uzavírka dálnice D10 bude zřízena v úseku s dopravním zatížením v kategorii A. Pro dlouhodobý dopravní režim bude zvolen dopravní režim 2+1/1, tj. levý provizorní jízdní pruh bude převeden ve směru na Prahu na protisměrný jízdní pás. Pravý provizorní jízdní pruh bude veden kolem prostoru pracovního místa s využitím části pravého jízdního pruhu a zpevněné krajnice.

Délka uzavírky ve směru na Ml. Boleslav bude 6230 m. Délka uzavírky ve směru na Prahu bude 5755 m. Protisměrné jízdní pruhy budou odděleny dočasnými svodidly. Provoz vedle staveniště bude oddělen dopravními zařízeními.

Šířka provizorních jízdnic pruhů bude ve směru na Ml. Boleslav 3,0 m a 3,5 m s tím, že do levého jízdnic pruhu bude zakázán vjezd motorovým vozidlům, jejichž okamžitá šířka je větší než 2,2 m. Ve směru na Prahu bude šířka provizorního levého jízdnic pruhu 3,9 m, šířka pravého provizorního jízdnic pruhu byla 3,25 m.

Rychlost bude před vlastní uzavírkou snížena postupně na 100 km/h 80 km/h. Dále platí, že bude-li protisměrný provoz oddělen dočasnými svodidly a všechny provizorní jízdnic pruhy budou širší 3,0 m a více a nebudou v průběhu uzavírky provizorně připojeny křižovatky, resp. odpočívky nebo staveništní výjezdy, tak se v úseku osazuje rychlost 100 km/h.

Na MÚK 3 vpravo (směr Mladá Boleslav) a vlevo (směr Praha) nebude dostatek místa pro zřízení provizorního připojovacího pruhu a bude nezbytné nájezd na dálnici D10 řešit dopravní značkou č. P6 „Stop, dej přednost v jízdě“, což má vždy dopad na bezpečnost a plynulost provozu, neboť řidiči jedoucí na hlavní trase se vzdávají přednosti v jízdě, a tím dochází k dopravním komplikacím (tvorba dopravních kongescí).

V žádném směru není za běžného provozu zřízen přídatný pruh pro pomalá vozidla, neboť podélný sklon v levém pásu (směr Praha) vykazuje hodnoty od km 7,6 do km 6,9 (- 1,5 %). Do km 6,320 je podélný sklon (-1,28 %). Do km 3,620 se podélný sklon pohybuje okolo (-0,8 %).

Pro zjištění intenzity dopravy bude využit automatický sčítač dopravy (ASD) typu ESVZ Laser 2+0 v km 6. ASD měří data 24 hodin denně.

4.5 Uzavírka dálnice D10 v km 14–21 vpravo

Stavba „D10 Hlavenec – Tuřice, oprava povrchu PS“ řeší rekonstrukci pravého jízdnic pásu dálnice D10. Součástí stavby bude rekonstrukce vozovky pravého jízdnic pásu dálnice D10 v km 14,375 - 20,502 (výměna krytových vrstev, SC a včetně sanace trhlin podkladních vrstev), rozšíření vozovky v místech prodloužení odbočovacího/připojovacího pruhu dle norem ČSN včetně výměny velkoplošného dopravního značení, zrušení 2 stávajících zastávek BUS na dálnici D 10 (s minimálním využitím) ve směru na Mladou Boleslav. Jedná se o zastávky Hlavenec, motorest a Skorkov, hl. sil.

Dále bude provedena obnova a doplnění bezpečnostního zařízení na pravém okraji vozovky, obnova vodorovného dopravního značení a doplnění prvků zvyšujících bezpečnost, oprava krajnic tzn. „stržení“ a provedení zpevnění z asfaltového recyklátu, pročištění odvodňovacích zařízení (podélné příkopy, propustky), odstranění náletové zeleně tvořící pevnou překážku provozu, úprava oplocení na pravé straně v lokálních místech.

Pro tuto opravu bude nutné provést uzavírku dálnice v úseku s dopravním zatížením v kategorii B1. Pro dlouhodobý dopravní režim bude zvolena dopravní režim 2+1/1, tj. levý provizorní jízdní pruh bude převeden ve směru na Ml. Boleslav na protisměrný jízdní pás. Pravý provizorní jízdní pruh bude veden podél pracovního místa s využitím části pravého jízdního pruhu a zpevněné krajnice.

Měření bude prováděno ve chvíli, kdy bude na 5 dní z důvodu pokládky obrusné vrstvy uzavřen celý pravý jízdní pás a provoz ve směru na Ml. Boleslav bude veden pouze levým jízdním provizorním jízdním pruhem, a to v dopravním režimu 2+1/0.

Délka uzavírky ve směru na Ml. Boleslav bude 7723 m. Délka uzavírky ve směru na Prahu bude 7750 m. Protisměrné jízdní pruhy budou odděleny dočasnými svodidly. Provoz v pravém jízdním pruhu bude uzavřen.

Šířka provizorního jízdního pruhu bude ve směru na Ml. Boleslav 3,5 m. Ve směru na Prahu bude šířka provizorních jízdních pruhů 3,5 m a 3,25 m s tím, že do levého jízdního pruhu bude zakázán vjezd všem motorovým vozidlům, jejichž okamžitá šířka je větší než 2,2 m. Rychlost bude před vlastní uzavírkou snížena postupně na 100 km/h a 80 km/h.

Na MÚK 14, 17 a 21 vlevo (směr Praha) nebude dostatek místa pro zřízení provizorního připojovacího pruhu a bude nezbytné nájezd na dálnici D10 řešit dopravní značkou č. P6 „Stop, dej přednost v jízdě“, což má vždy dopad na bezpečnost a plynulost provozu, neboť řidiči jedoucí na hlavní trase se vzdávají přednosti v jízdě a tím dochází k dopravním komplikacím (tvorba dopravních kongescí).

V žádném směru není za běžného provozu zřízen přídatný pruh pro pomalá vozidla, neboť podélný profil v tomto úseku jej nevyžaduje. Podélný sklon se v pravém (směr Ml. Boleslav) a levém jízdním pásu (směr Praha) se pohybuje okolo (0,65 %).

Pro zjištění intenzity dopravy bude využit automatický sčítač dopravy (ASD) typu ASD 3 v km 20. ASD měří data 24 hodin denně.

4.6 Uzavírka dálnice D11 v km 39–42 vpravo (most přes Labe)

Most ev. D11-40.3 se nachází v extravilánu v katastru obcí Libice nad Cidlinou, Oseček. Most se nachází těsně před MÚK EXIT 42 na pozemcích investora. Pod mostem jsou pozemky obce Oseček, Povodí Labe a Lesů ČR.

Most byl postaven v roce 1989. Trvalý dálniční zavěšený mostní objekt s jedinou nosnou konstrukcí, most o třech spojitých polích (61,6+123,2+61,6m) je tvořen prefabrikovanou letmo montovanou segmentovou konstrukcí komorovou konstrukcí. Spodní stavba tvořena monolitickými opěrami a pilíři se samostatnými stojkami pod každým trámem.

Založení hlubinné na podzemních stěnách. Zavěšení je realizováno jako poloharfové, na dvou pylonech situovaných nad vnitřními pilíři, konstrukce je zavěšena v jedné rovině v ose mostu.

Cílem stavby bude oprava mostního svršku a vybavení a výměna mostních závěrů. Vzhledem k plánovanému rozsahu prací a stavu se stávající zádržný systém dálnice na vnějších římsách zachovává, a to včetně stávající úrovně zadržetí. Ve středním dělicím pásu bude na mostě přikročeno ke kompletní výměně říms a výměně zádržného systému.

Pro tuto opravu bude zřízena uzavírka v úseku s dopravním zatížením v kategorii B1. Pro dlouhodobý dopravní režim bude zvolen dopravní režim 2+1 SP, tj. podle intenzit v průběhu týdne bude měněn počet provizorních jízdních pruhů.

Vždy ve čtvrtek od 13:00 hod. do neděle 10:00 hod. bude doprava ve směru Hradec Králové vedena ve dvou provizorních jízdnicích. Ve směru na Prahu bude provoz veden dvěma provizorními jízdnicemi od neděle 10:00 hod. do čtvrtka 13:00 hod.

Délka uzavírky ve směru na Hradec Králové bude 1530 m. Délka uzavírky ve směru na Prahu bude 1520 m.

Protisměrné jízdnicové pruhy budou odděleny dopravními zařízeními č. Z5, které umožňují rychlou změnu počtu jízdnicových pruhů v daném směru jízdy.

Měření bude prováděno při provozu jedním provizorním jízdnicovým pruhem ve směru Hradec Králové.

Rychlost bude před vlastní uzavírkou snížena postupně na 100 km/h a 80 km/h. V žádném směru není za běžného provozu zřízen přídatný pruh pro pomalá vozidla.

Podélný sklon se v pravém (směr Hradec Králové) a levém jízdnicovém pásu (směr Praha) se pohybuje okolo (0,65 %).

Pro zjištění intenzity dopravy bude využit automatický sčítač dopravy (ASD) typu ASD 3 v km 39. ASD měří data 24 hodin denně. Pro ověření hypotéz použijeme Pearsonův chí kvadrát test o nezávislosti.

4.7 Část Bezpečnost – materiály a metody měření retroreflexe

Bude měřeno celkem 30 vzorků bílých, červených, a modrých fólií o rozměru 210×297 mm od tří světových výrobců (3M, Avery Dennison a Oralite), které jsou nejčastěji užívány v běžném provozu na pozemních komunikacích, a bude možné je získat od výrobců dopravního značení.

V rámci prováděných měření se opakovaně zkoumají vzorky, které budou vystaveny na jižní straně budovy technické fakulty ČZU (Obr. 19) pod úhlem 45° po dobu 28 měsíců (zrychlená metoda vystavení povětrnostním vlivům předpokládá 3 roky).

Výsledky jsou tedy tímto faktorem limitovány, neboť poskytnutý vzorek může být proveden z více nebo méně výkonné části fólie při samotném procesu výroby, resp. při následné úpravě fólie výrobcem dopravního značení.

Jednotlivé vzorky budou nalepeny na Fe-Zn plech a na zadní straně popsány pořadovým číslem a označení názvu výrobku, aby nemohlo dojít k záměně, popř. ke ztrátě. Veškeré prvky budou před vlastním vystavením změřeny. Při manipulaci s foliemi je třeba dbát na to, aby se jednotlivé vzorky nepokládaly na hrubý povrch, popř. se vzorky neskládaly plechy na sebe, neboť by tak došlo k poškození činné plochy, což by mohlo mít negativní dopad na životnost a tím i dobu vystavení.

Pro vystavení fólií bude sloužit speciální konstrukce, která bude provedena z plechu a OSB desek takovým způsobem, aby bylo možné jednotlivé vzorky snímat a opětovně instalovat.

Pro přenášení vzorků do laboratoře je třeba skládat folie plochami k sobě nejlépe do krabice, aby nedocházelo k vzájemnému posunu vzorků a tím jejich poškození.

Z formálního pohledu výkonnostní třídu RA1 dle ČSN EN 12899-1 reprezentují vzorky balotínové fólie 3M 3200, AD 1500, OR 5710 a mikroprizmatické fólie 3M EGP (Tab. 19).

Z výkonnostní třídy RA 2 byly předmětem měření mikroprizmatické fólie 3M 3930, AD 6500 a OR 5910. Pro výkonnostní třídu RA 3 byly vybrány vzorky fólie 3M 4090, AD 7500 a OR 6910. Funkční životnost (po tuto dobu bude fólie splňovat požadavky normy) fólií třídy RA 1 je 7 let. V případě fólií třídy RA 2 a RA 3 je to 10 let (Tab. 19).

Balotinové fólie byly zkoušeny dle ČSN EN 12 899-1 [70] a mikroprizmatické retroreflexní materiály dle evropského technického schválení (ETA) [71]. Fólie třídy RA 1 a RA 2 jsou měřeny dle těchto technický předpisů v pozorovacím úhlu $\alpha = 0,2^\circ$, $0,33^\circ$ a 2° a v osvětlovacím úhlu $\beta_1 = +5^\circ$, $+30^\circ$, $+40^\circ$.



Obr. 19: Vzorky fólií na jižní straně budovy ČZU

Legenda: (Foto: Autor)

Fólie třídy RA3 se měří v pozorovacím úhlu $\alpha = 0,33^\circ$, 1° a $1,5^\circ$. V osvětlovacím úhlu $\beta_1 = +5^\circ$, $+20^\circ$, $+30^\circ$, $+40^\circ$. Pro jednotné podmínky byl pro porovnání vzorků fólií zvolen osvětlovací úhel $\beta_1 5^\circ$ a pozorovací úhel $\alpha = 0,33^\circ$.

Jednotlivé vzorky fólií byly přehledně popsány a vystaveny od začátku srpna roku 2017. Jednotlivé fólie byly dále opticky rozděleny na šest jednotlivých polí o rozměru přibližně $0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$, což znamená, že výsledná hodnota retroreflexe byla zjišťována jako průměrná z měření těchto šesti polí. Všechna měření budou zapisována do databáze MS Excel a průběžně vyhodnocována. Pro získání relevantních výsledků je žádoucí, aby měření trvalo, alespoň více než dva roky. Měření se bude provádět vždy cca jednou ročně.

Vlastní měření fólií bude prováděno certifikovaným měřícím zařízením Zenther 6060 (Obr. 20), které je schopné měřit ve třech pozorovacích úhlech (α) = 0,2°, 0, 33° a 2° a v jednom osvětlovacím úhlu (β_1) = 5°, přičemž (β_2) = 0 dle požadavků ČSN EN 12 899–1.

Měřič retroreflexe je tvořen LED osvětlovacím systémem a 3,5" barevným dotykovým displejem s vysokým rozlišením s nastavitelným sklonem displeje pro vynikající viditelnost za všech světelných podmínek i při jasném slunečním světle.

Zařízení je možné užít pro všechny druhy retroreflexních materiálů a barev s automatickou barevnou indikací. Každé měření se ukládá a je průběžně aktualizovaná průměrná hodnota.

Měření lze vyhodnotit pomocí zahrnutého softwaru pro mapování a analýzu dat. Inovativní možnosti přizpůsobení reflektoru osobním požadavkům: integrovaná kamera s rozlišením 5 megapixelů, jednotka GPS, pouzdro, rukojeť.

Před vlastním měřením budou jednotlivé fólie důkladně očištěny bavlněným hadříkem od možných prachových a pylových částic, které by mohly zkreslovat prováděné měření retroreflexe.



Obr. 20: Měřič retroreflexe Zenther 6060

Legenda: (Foto: Autor)

Klimatické podmínky během expozice vzorků budou vzhledem k množství dat dostupné online na <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>.

5. Výsledky a diskuse

Přestože byl předpoklad, že měření spotřeby energie (paliva) bude probíhat ve vytipovaných pracovních místech v roce 2019 a 2020, tak kvůli onemocnění COVID 19 byly využity pouze uzavírky měřené v roce 2019.

Přijatá opatření Vládou ČR měla v roce 2020 zásadní vliv na intenzity dopravy na dálnici a prováděná měření. Dále je třeba upozornit, že koncepčně ŘSD nepřipouští až na výjimky dlouhodobé snižování počtu jízdnic pruhů v daném směru jízdy na úsecích A a B1 z důvodu velmi vysokých dopravních kongescí, takže bylo možné vybrat pro výzkumné účely pouze dvě vhodné uzavírky uvedené v kap. 4.5 a 4.6.

Intenzity dopravy poskytnuté ASD a uvedené níže v tabulkách představují hodnoty v okamžiku zahájení měření spotřeby energie (paliva). Při měření diagnostika VAG zaznamenávala spotřebu energie (paliva) v litrech. Nicméně tuto jednotku je nezbytné převést na jednotku uvolněné energie Q s využitím vzorce pro výpočet výhřevnosti paliva dle vzorce (1).

$$H = \frac{Q}{m} \quad (1)$$

kde:

H.....střední hodnota energie paliva v kg paliva [MJ/kg]

m.....střední hodnota hmotnosti paliva [kg]

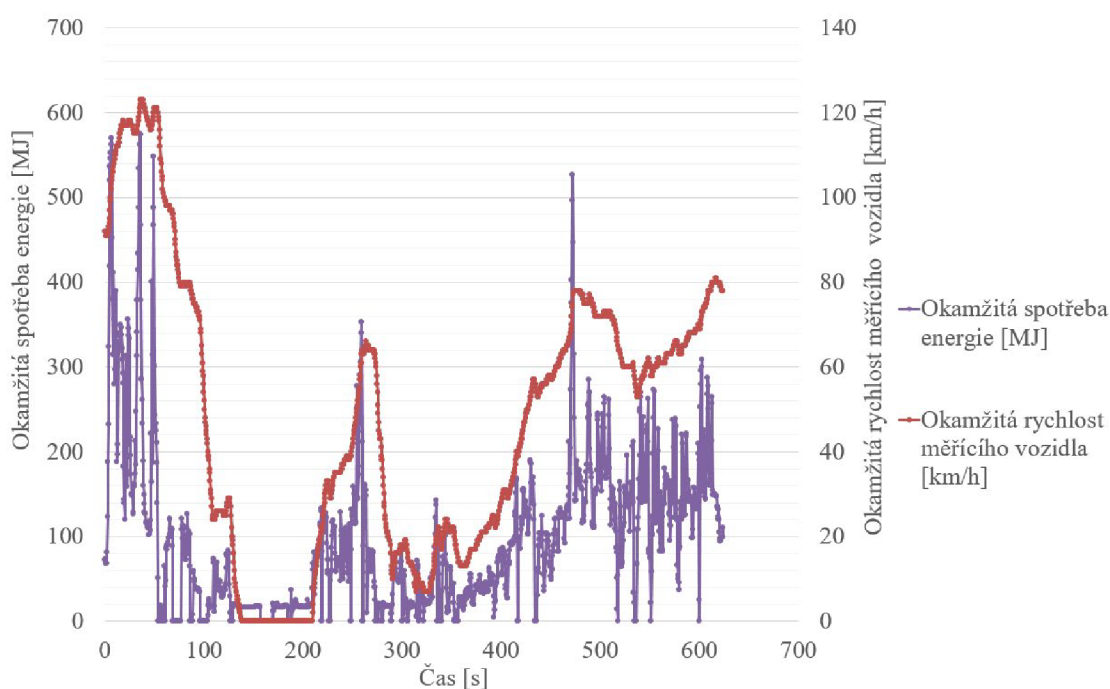
Q.....okamžitá spotřeba energie [MJ]

Střední hodnota energie (paliva) je dle tabulek pro naftu 42,5 MJ/kg, přičemž hmotnost paliva jednoho litru nafty je 0,84 kg/l. Okamžitá spotřeba 1 litru paliva Q představuje spotřebu energie 35,7 MJ.

5.1 Dálnice D5 v km 14–20 vlevo

Dopravní režim vedené dopravy byl v době měření 2+1/1, tj. levý provizorní jízdní pruh byl převeden na protisměrný jízdní pás s nejvyšší dovolenou rychlostí 100 km/h s tím, že do tohoto pruhu mohla pouze vozidla s okamžitou šířkou do 2,2 m. V pravém provizorním jízdním pruhu byla nejvyšší dovolená rychlost 80 km/h a v něm se pohybovala zejména nákladní vozidla, autobusy, popř. osobní vozidla, která potřebovala sjet z dálnice na nejbližší MÚK.

Měření pravého provizorního jízdního pruhu (směr Praha) se provádělo dne 05. 06. 2019 (středa) v čase 07:37, 08:36, 09:37, 16:25, 16:54. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 21). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 25–29 °C, bylo jasno až polojasno, bez srážek a nárazového větru.



Obr. 21: Dálnice D5 Pravý provizorní pruh (směr Praha)

První průjezd uzavírkou vykazoval průměrnou hodnotu spotřeby energie na km (dále jen „spotřeba energie“) 5,71 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 47,99 km/h. Dojezdový čas byl 624 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 7,13 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 63,19 km/h při dojezdovém čase 467 s.

Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu okamžité spotřeby energie 5,54 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 46,37 km/h. Dojezdový čas byl 636 s. Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 7,65 MJ/Km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 74,87 km/h. Dojezdový čas se pohyboval okolo 412 s.

Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ASIM v km 15,98. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 2260 voz/h z toho bylo 350 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1896 voz/h z toho bylo 370 NA.

Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 1552 voz/h z toho bylo 390 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1621 voz/h z toho bylo 295 NA. Při pátém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1550 voz/h z toho bylo 293 NA.

Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy bylo 15,5 %, 19,5 %, 25,1 %, 18,2 % a 19,5 %. Vzhledem k tomu, že předmětem opravy byl km 14–20, tak bylo třeba ověřit rozdíly v intenzitách mezi MÚK 18.

Pro tyto účely byl vybrán ASD typu ASIM v km 19,91. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 2057 voz/h z toho bylo 351 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1781 voz/h z toho bylo 342 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 1527 voz/h z toho bylo 378 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1629 voz/h z toho bylo 291 NA. Při pátém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1596 voz/h z toho bylo 265 NA. Kompletní výsledky měření (Tab. 3).

Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděných měřeních tedy bylo 17,1 %, 19,2 %, 24,8 %, 17,9 % a 16,6 %.

Porovnáme-li výsledky měření obou ASD, tak lze konstatovat, že ASD v km 15,98 zaznamenal při měření oproti km 19,91 nárůst (+), ale i pokles (-) při jednotlivých měřeních: + 9 %, + 6,1 %, + 1,6 %, + 0,5 % a -3 %.

V případě nákladní dopravy lze konstatovat, že ASD v km 15,98 zaznamenal při měření oproti km 19,91 nárůst (+), ale i pokles (-) při jednotlivých měřeních 0,3 %, 7,6 %, 3,1 %, 1,4 % a 9,6 %.

Lze také konstatovat, že rozdíl je procentuálním vyjádřením podobný i v běžný červnový den, kdy jsou zaznamenávány na dálnicích nejvyšší hodnoty intenzit dopravy. Lze konstatovat, že od středy do pátku vykazují hodnoty ASD v km 15,98 oproti ASD v km 19,91 nárůst (+), ale i pokles (-) při jednotlivých měřeních a to + 6 %, + 0,2/ - 4 %, + 0,2/ - 4 %,

Tab. 3: Porovnání měřených veličin v uzavírci na D5 (směr Praha)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	5,71	47,99	624	2260	350
2	7,13	63,19	467	1896	370
3	5,54	46,37	636	1552	390
4	7,65	74,87	412	1621	295
5	7,76	76,54	389	1550	293

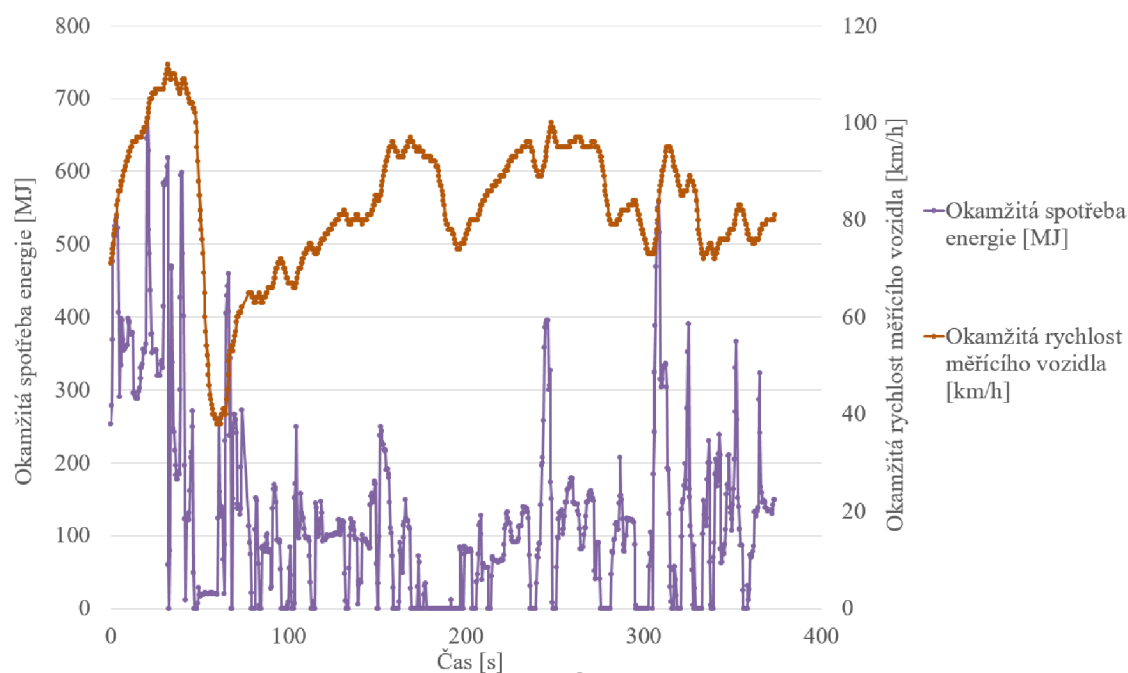
Měření dvou provizorních jízdnic pruhů bez převedení na protisměrný jízdní pás (směr Plzeň) se provádělo dne 05. 06. 2019 (středa) v čase 16:08, 16:38, 17:06 a 17:30. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 22). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 25–29 °C, bylo jasno až polojasno, bez srážek a nárazového větru.

Prvním průjezdu uzavírkou vykazoval spotřebu energie 7,58 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 83,25 km/h. Dojezdový čas byl 374 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 7,23 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 89,10 km/h při dojezdovém čase 346 s.

Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 7,30 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 84,81 km/h. Dojezdový čas byl 370 s. Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 7,66 MJ/km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 90,18 km/h. Dojezdový čas se pohyboval okolo 352 s.

Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ASIM v km 15,98. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 1875 voz/h z toho bylo 312 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1950 voz/h z toho bylo 294 NA.

Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 2097 voz/h z toho bylo 390 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1938 voz/h z toho bylo 237 NA.



Obr. 22: Dálnice D5 pravý provizorní pruh (směr Plzeň)

Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy bylo 16,6 %, 15,1 %, 12,6 %, 12,2 %. Kompletní výsledky měření (Tab. 4). Vzhledem k tomu, že předmětem opravy byl km 14–20, tak bylo třeba ověřit rozdíly v intenzitách mezi MÚK 18. Pro tyto účely byl vybrán ASD typu ASIM v km 19,91.

Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 1822 voz/h z toho bylo 247 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1901 voz/h z toho bylo 252 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 2052 voz/h z toho bylo 258 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1845 voz/h z toho bylo 265 NA. Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy bylo 13,6 %, 13,3 %, 12,6 %, 14,4 %. Porovnáme-li výsledky měření obou ASD, tak lze konstatovat, že ASD v km 15,98 zaznamenal při měření oproti km 19,91 nárůst (+), při jednotlivých měřeních: + 2,9 %, + 2,6 %, + 2,1 %, + 4,8 %.

V případě nákladní dopravy lze konstatovat, že ASD v km 15,98 zaznamenal při měření oproti km 19,91 nárůst (+), ale i pokles (-) při jednotlivých měřeních +20,8 %, +14,3 %, +2,6 %, -11,8 %.

Tab. 4: Porovnání měřených veličin v uzavírci na D5 (směr Plzeň)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	7,58	83,25	374	1875	312
2	7,23	89,10	346	1950	294
3	7,30	84,31	370	2097	265
4	7,66	90,18	352	1938	237

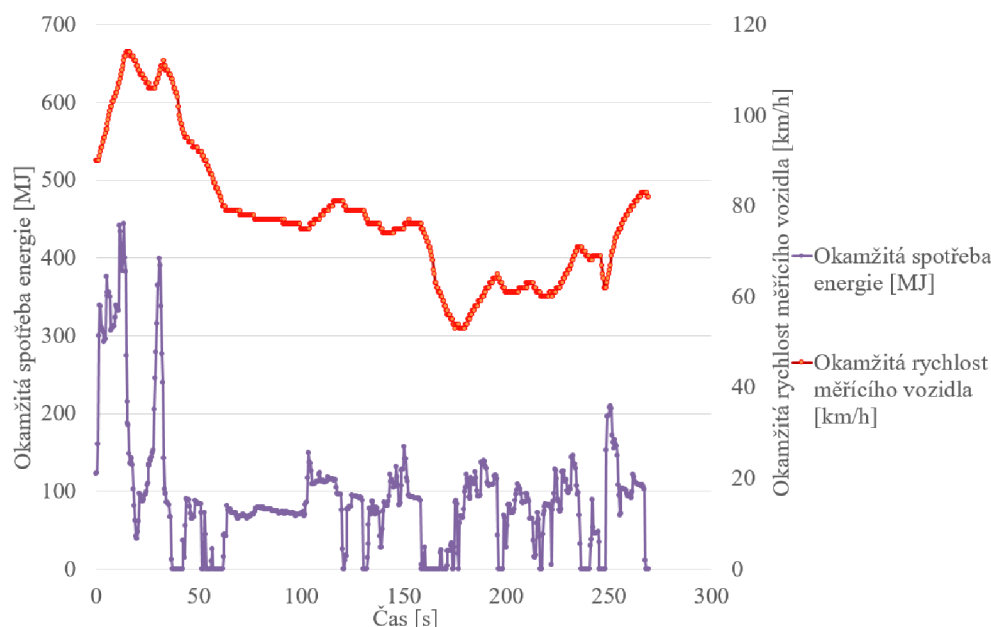
5.2 Dálnice D10 v km 6–11 vpravo

Dopravní režim vedené dopravy byl v době měření 2+1/1, tj. jeden provizorní jízdní pruh byl převeden na protisměrný jízdní pás s nejvyšší dovolenou rychlostí 100 km/h s tím, že do tohoto pruhu mohla pouze vozidla s okamžitou šířkou do 2,2 m. V pravém provizorním jízdním pruhu vedoucím podél pracovního místa byla nejvyšší dovolená rychlost 80 km/h. V tomto jízdním pruhu se pohybovala zejména nákladní vozidla, autobusy, popř. osobní vozidla, která potřebovala sjet z dálnice na nejbližší MÚK.

Měření provizorního pravého pruhu (směr Ml. Boleslav) se provádělo v čase 07:01, 07:20, 07:46, 08:06, 08:26. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 23). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 25–29 °C, bylo polojasno, bez srážek a nárazového větru. Prvním průjezdu uzavírkou vykazoval spotřebu energie 4,54 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 77,70 km/h. Dojezdový čas byl 279 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 4,03 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 74,02 km/h při dojezdovém čase 304 s.

Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 4,62 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 81,61 km/h. Dojezdový čas byl 270 s.

Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 3,98 MJ/km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 70,42 km/h. Dojezdový čas se pohyboval okolo 318 s. Poslední průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 4,51 MJ/km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 84,88 km/h. Dojezdový čas byl 263 s.



Obr. 23: Dálnice D10 pravý provizorní pruh (směr Ml. Boleslav)

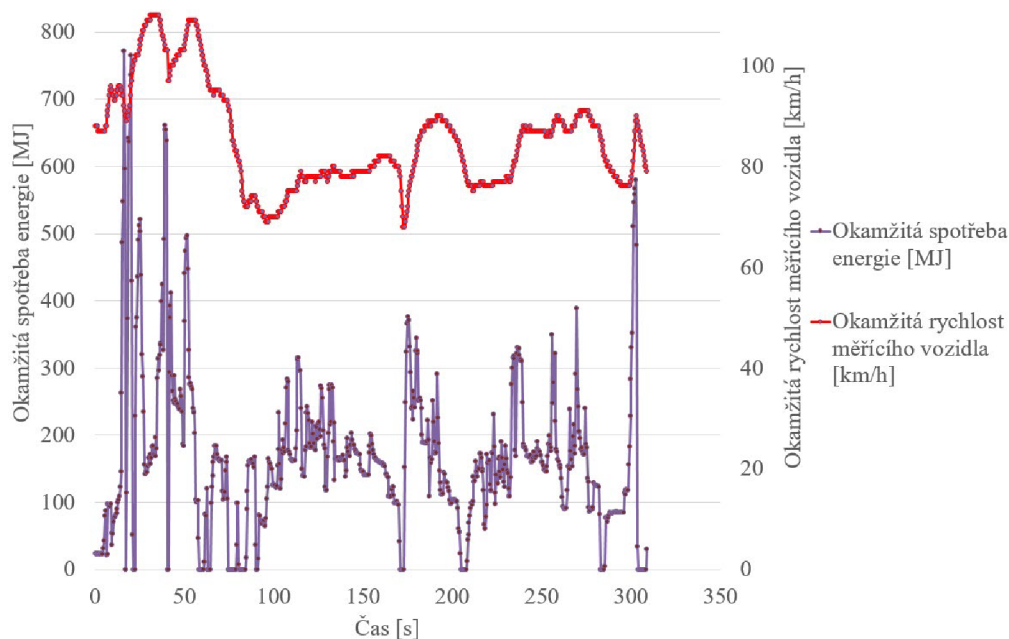
Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ESVZ Laser 2,0 v km 6. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 1400 voz/h z toho bylo 219 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1510 voz/h z toho bylo 208 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 1620 voz/h z toho bylo 212 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1800 voz/h z toho bylo 220 NA. Při pátém měření byla zjištěna intenzita 1590 voz/h. z toho bylo 229 NA.

Tab.: 5 Porovnání měřených veličin v uzavírci (směr Ml. Boleslav)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	4,54	77,70	279	1400	219
2	4,03	74,02	304	1510	208
3	4,62	81,61	270	1620	212
4	3,98	70,42	318	1800	220
5	4,51	84,88	263	1590	229

Kompletní výsledky měření (Tab. 5). Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy byl 15,6 %, 13,8 %, 13,1 %, 12,2 %, 14,4 %.

Měření dvou provizorních jízdních pruhů bez převedení na protisměrný jízdní pás (směr Praha) se provádělo dne 12.06 2019 (středa) v čase 07:10, 07:32, 07:56. a 08:16. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 24). Při prováděni měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 25–29 °C, bylo jasno, bez srážek a nárazového větru.



Obr. 24: Dálnice D10 pravý provizorní pruh (směr Praha)

Prvním průjezd uzavírkou vykazoval průměrnou hodnotu spotřeby energie 8,22 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 89,62 km/h. Dojezdový čas byl 294 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 7,74 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 84,80 km/h při dojezdovém čase 309 s. Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu okamžité spotřeby energie 8,48 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 90,59 km/h. Dojezdový čas byl 287 s.

Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 8,42 MJ/km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 91,12 km/h. Dojezdový čas se pohyboval okolo 277 s. Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy byl 7,1 %, 7,2 %, 9,7 %, 11,4 %.

Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ESVZ 2.0 v km 6. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 2440 voz/h z toho bylo 174 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 2482 voz/h z toho bylo 179 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 2230 voz/h z toho bylo 217 NA. Při čtvrtém měření byla zjištěna intenzita dopravy 2015 voz/h z toho bylo 230 NA. Kompletní výsledky měření (Tab. 6).

Tab. 6: Porovnání měřených veličin v uzavírce (směr Praha)

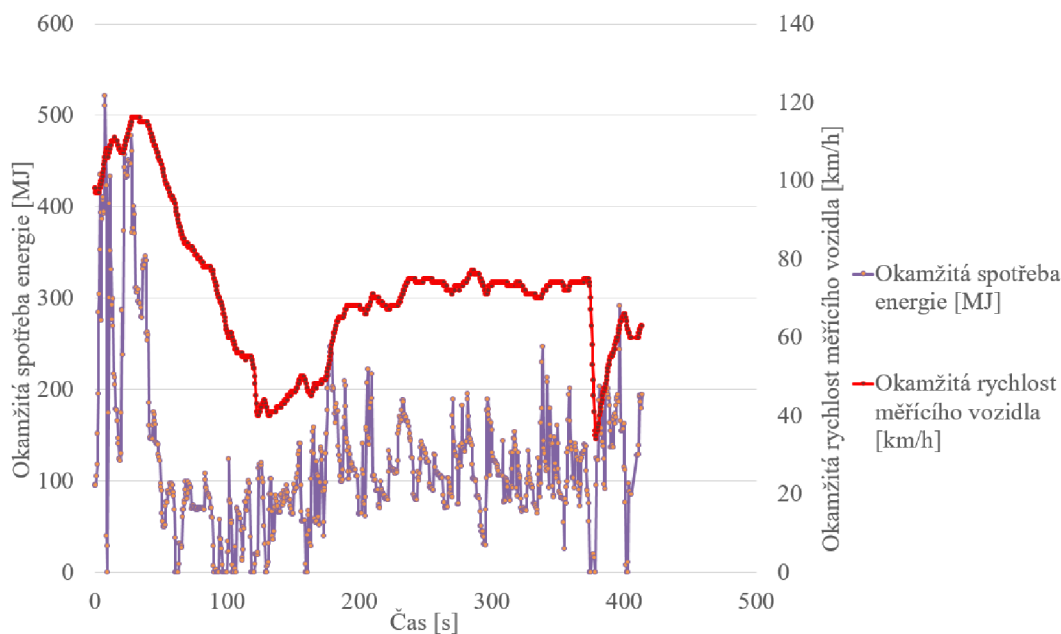
Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	8,22	89,62	294	2440	174
2	7,74	84,80	309	2482	179
3	8,48	90,59	287	2230	217
4	8,42	91,12	277	2015	230

5.3 Uzavírka dálnice D10 v km 3, 43 – 9,9 vlevo

Dopravní režim vedené dopravy byl v době měření 2+1/1, tj. jeden provizorní jízdní pruh byl převeden na protisměrný jízdní pás s nejvyšší dovolenou rychlostí 100 km/h s tím, že do tohoto pruhu mohla pouze vozidla s okamžitou šířkou do 2,2 m. V pravém provizorním jízdním pruhu byla nejvyšší dovolená rychlost 80 km/h a pohybovala se v něm zejména nákladní vozidla, autobusy, popř. osobní vozidla, která potřebovala sjet z dálnice na nejbližší křižovatce.

Měření provizorního pravého pruhu (směr Praha) se provádělo dne 19. 06. 2019 (středa) v čase 06:52, 07:19, 07:48, 08:21. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 25). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 27–31 °C, bylo jasno až polojasno, bez srážek a nárazového větru.

Prvním průjezd uzavírkou vykazoval průměrnou hodnotu okamžité spotřeby energie 6,95 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 71,80 km/h. Dojezdový čas byl 414 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 5,72 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 50,56 km/h při dojezdovém čase 566 s.



Obr. 25: Dálnice D10 pravý provizorní pruh (směr Praha)

Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu okamžité spotřeby energie 4,19 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 31,90 km/h. Dojezdový čas byl 882 s. Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval spotřebu energie 4,37 MJ/km při průměrné rychlosti průjezdu uzavírkou 36,83 km/h. Dojezdový čas se pohyboval okolo 774 s. Kompletní výsledky měření (Tab. 7). Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy byl 7,4 %, 7,5 %, 8,02 %, 8,4 %. Plánované měření ve směru na Ml. Boleslav neproběhlo, neboť v tomto úseku došlo k dopravní nehodě a vlastní měření by tak bylo značně zkreslené.

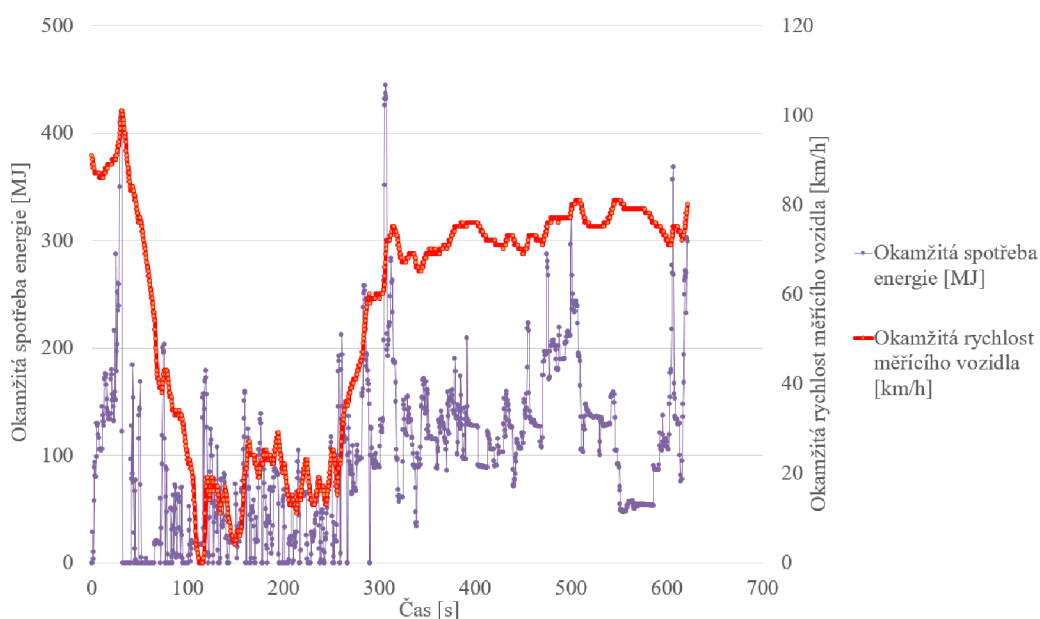
Tab. 7: Porovnání měřených veličin v uzavírce (směr Praha)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	6,95	71,80	414	2255	167
2	5,72	50,55	566	2400	180
3	4,19	31,90	882	2554	205
4	4,37	36,83	774	2300	195

5.4 Uzavírka dálnice D10 v km 14-21 vpravo

Dopravní režim vedené dopravy byl v době měření 2+1/0, tj. jeden provizorní jízdní pruh byl převeden na protisměrný jízdní pás s nejvyšší dovolenou rychlostí 80 km/h. Měření provizorního pravého pruhu (směr Ml. Boleslav) se provádělo dne 27. 06. 2019 (čtvrtek) v čase 14:30, 15:15, 16:01, 16:49, 17:30, 18:15.

Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 26). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 25–29 °C, bylo jasno až polojasno, bez srážek a nárazového větru. Prvním průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 7,65 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 56,29 km/h. Dojezdový čas byl 621 s. Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 5,37 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 31,53 km/h při dojezdovém čase 1106 s.



Obr. 26: Dálnice D10 pravý provizorní pruh (směr Ml. Boleslav)

Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 5,05 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 33,35 km/h. Čtvrtý průjezd uzavírkou vykazoval průměrnou hodnotu okamžité spotřeby energie 4,85 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 30,05 km/h.

Pátý průjezd uzavírkou vykazoval průměrnou hodnotu okamžité spotřeby energie 5,95 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 47,59 km/h. Šestý průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 8,05 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 70,13 km/h. Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ASD 3 v km 20. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 1415 voz/h z toho bylo 168 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1640 voz/h z toho bylo 153 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 1660 voz/h z toho bylo 153 NA. Kompletní měření (Tab. 8).

Tab. 8: Porovnání měřených veličin v uzavírce (směr Ml. Boleslav)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	7,65	56,29	621	1415	168
2	5,37	31,53	1106	1640	153
3	5,05	33,35	1120	1660	153
4	4,85	30,05	1145	1690	150
5	5,95	47,59	959	1550	147
6	8,05	70,13	565	1350	135

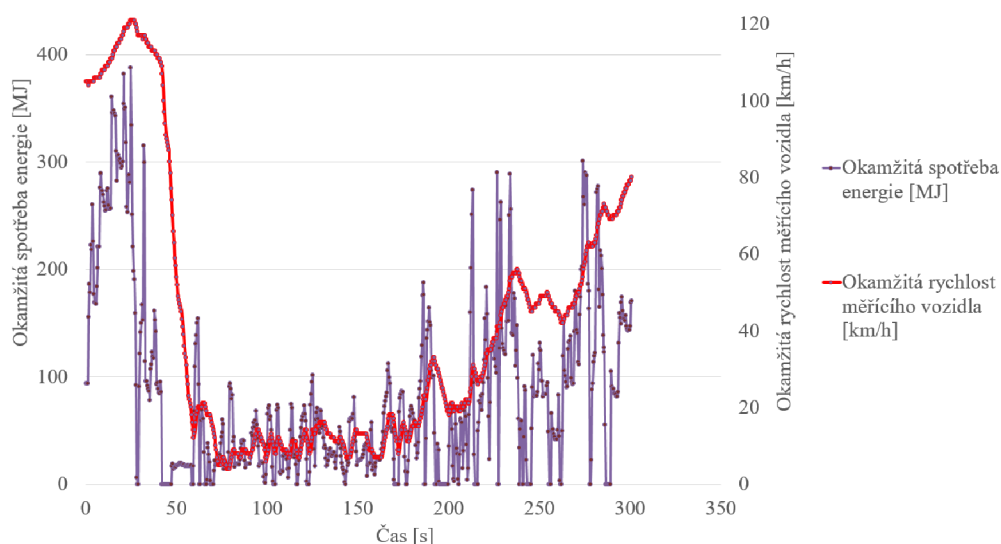
Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy byl 11,87 %, 9,32 %, 9,2 %, 8,9 %, 9,5 % a 10,0 %.

5.5 Uzavírka dálnice D11 v km 39–42 vpravo (most přes Labe)

Dopravní režim vedené dopravy byl v době měření 2+1/0 SP, tj. jeden provizorní jízdní pruh byl převeden na protisměrný jízdní pás s nejvyšší dovolenou rychlostí 80 km/h. Měření provizorního pravého pruhu (směr Hradec Králové) se provádělo dne 26.06 2019 (středa) v čase 08:47, 09:11, 09:46, 10:16, 10:51, 11:20. Příklad zápisu o průběhu okamžité spotřeby energie a okamžité rychlosti v závislosti na čase během prvního měření (Obr. 27). Při provádění měření se teplota vzduchu pohybovala okolo 27–31 °C, bylo jasno až polojasno, bez srážek a nárazového větru.

Prvním průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 1,26 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 41,11 km/h. Dojezdový čas byl 300 s.

Při druhém průjezdu uzavírkou byla zjištěna spotřeba energie 0,97 MJ/km s tím, že průměrná rychlost byla 28,27 km/h při dojezdovém čase 403 s. Třetí průjezd uzavírkou vykazoval hodnotu spotřeby energie 1,23 MJ/km, přičemž průměrná rychlost v úseku byla 37,90 km/h. Dojezdový čas byl 311 s.



Obr. 27: Dálnice D11 pravý provizorní pruh (směr Hradec Králové)

Z pohledu intenzit dopravy byl vybrán ASD typu ASD 3 v km 39. Při prvním měření byla zjištěna intenzita dopravy 1342 voz/h z toho bylo 208 NA. Při druhém měření byla zjištěna intenzita dopravy 1306 voz/h z toho bylo 240 NA. Při třetím měření byla zjištěna intenzita dopravy 1311 voz/h z toho bylo 290 NA. Kompletní výsledky měření (Tab. 9). Po provedení šestého měření došlo ke změně dopravního režimu s přehozením do dvou provizorních jízdních pruhů ve směru na Hradec Králové.

Tab. 9: Porovnání měřených veličin v uzavírce (směr Hradec Králové)

Měření	Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Průměrná rychlost [km/h]	Čas průjezdu [s]	Celková intenzita dopravy [voz/h]	Intenzita nákladní dopravy [voz/h]
1	5,06	41,11	300	1342	208
2	3,85	28,27	403	1306	240
3	4,37	37,90	311	1311	290
4	3,60	25,10	413	1450	300
5	3,30	23,01	424	1470	310
6	3,05	21,40	435	1550	330

Procentuální vyjádření podílu nákladní dopravy na celkové intenzitě dopravy při prováděních měření tedy byl 15,5 %, 22,1 %, 18,3 %, 20,7 %, 21,1 %, 22,0 %.

5.7 Hypotéza č. 1

Zjištěná data z 34 měření v uzavírkách byla rozdělena podle kritérií (Tab. 10). Intenzita dopravy byla rozdělena na základě praktických zkušeností a pomocí aplikace pro dopravní inženýry (dále jen „ADI“) z dálnic do 3 četností.

A to s *nízkým dopravním zatížením*, kdy nehrozí kongesce ani u vedení dopravy jedním jízdním pruhem, což uvádí i mj. TP66 (<1500 voz/h), s *středním dopravním zatížením v intervalu* (1600 voz/h, 2000 voz/h), s *vyšším dopravním zatížením* (>2000 voz/h), kdy je určité riziko tvorby dopravních kongescí, což potvrzují i data z ADI, která umožňuje různé možnosti sledování a analýzy dopravního proudu.

Spotřeba energie byla rozdělena do dvou stupňů volnosti a vyjádřena jako nízká spotřeba (≤ 6 MJ/km) a vyšší spotřeba (> 6 MJ/km). Tato hranice byla určena na základě výpočtu průměru ze všech hodnot z 34 provedených měření.

Pro statické výpočty byly využity stránky včetně všech odkazů, které jsou dostupné na <https://statisticsonweb.tf.czu.cz/>.

H0: Mezi spotřebou energie a intenzitou provozu všech vozidel neexistuje závislost.

H1: Mezi spotřebou energie a intenzitou provozu všech vozidel existuje závislost.

Tab. 10: Reálné četnosti

Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<1500	1500, 2000	>2000	
≤ 6	6	8	6	20
> 6	5	3	6	14
Celkem	11	11	12	34

Pro ověření platnosti těchto hypotéz použijeme Pearsonův chí kvadrát test o nezávislosti. Hodnoty proměnných jsou uspořádány v kontingenční tabulce (Tab. 10). Pro tento test volíme tyto parametry:

- Hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.
- Značí pravděpodobnost, že zamítne H_0 , jestliže platí Kritický obor tohoto testu $W_{0,05} = \{G; G \geq 5,9915\}$. Pro získání hodnoty testového kritéria v kritickém oboru potřebujeme znát α a dané stupně volnosti (df), ty získáme ze vzorce (řádky-1) * (sloupce-1) dle Tab. 10.

V tomto případě tedy pracujeme se dvěma stupni volnosti. Hodnotu lze vyhledat v tabulkách nebo vypočítat pomocí excelové funkce CHISQ.INV. Pro hodnoty $\alpha = 0,05$ a $df = 2$ vychází $G = 5,9915$. Pomocí vzorce (2) určíme očekávané četnosti.

$$n'_{ij} = \frac{n_{i+} * n_{+j}}{n} \quad (2)$$

Kde:

n'_{ij} ... očekávané četnosti

n_{i+} a n_{+j} ... marginální četnosti

Za použití vzorců získáme očekávané četnosti (Tab. 11).

Tab. 11: Očekávané četnosti

Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<1500	1500, 2000	>2000	
≤6	4,705	9,411	5,882	20
>6	3,294	6,588	4,117	14
Celkem	8	16	10	34

Za použití vzorce jsme získali hodnotu testového kritéria 2,416 (Tab. 12).

Tab. 12: Testovací kritérium

Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<1500	1500, 2000	>2000	
≤6	0,355	0,036	0,602	0,995
>6	0,508	0,052	0,860	1,421
Celkem	2,120	0,301	0,741	2,416

Testové kritérium 2,416 porovnááme s kritickým oborem $W_{0,05} = \{G; G \geq 5,9915\}$. 2,416 je menší než 5,9915 a tedy nepatří do kritického oboru.

Závěrem tedy přijímáme nulovou hypotézu, že mezi intenzitou provozu a spotřebou energie neexistuje závislost. P-hodnota představuje pravděpodobnost, že data vyjdou ve prospěch H1, jestliže platí H0. Vypočítali jsme jí pomocí funkce CHISQ.TEST.

P-hodnota 0,298 je vyšší než nastavená hladina významnosti 0,05. Opět tedy přijímáme nulovou hypotézu, že mezi proměnnými neexistuje závislost. Oba ukazatele se ani nepřibližují ke své hranici, proto můžeme říct, že platnost H0 není ohrožena.

Při testování existence lineárního vztahu mezi proměnnými se používá odmocnina z koeficientu determinace, která se nazývá (Pearsonův) korelační koeficient r (dále jen „korelační koeficient“).

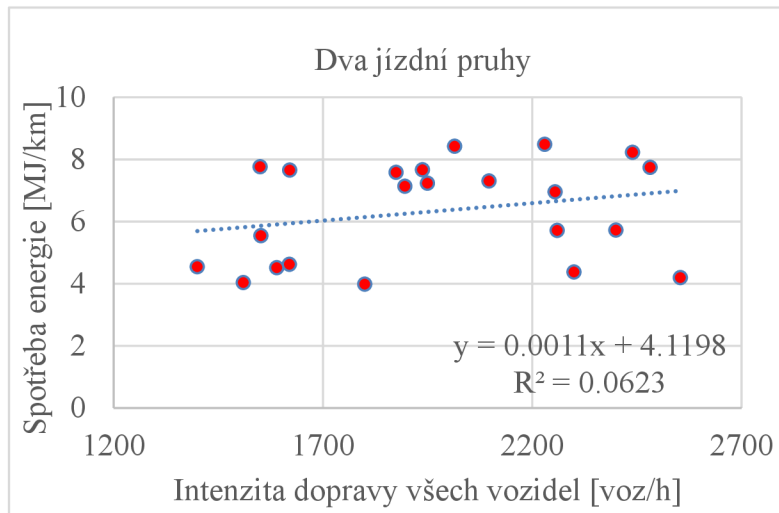
Korelační koeficient vyjadřuje, zda mezi dvěma proměnnými existuje lineární závislost. Korelační koeficient r_{yx} se počítá podle vzorce (3)

$$r_{yx} = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (3)$$

Kde:

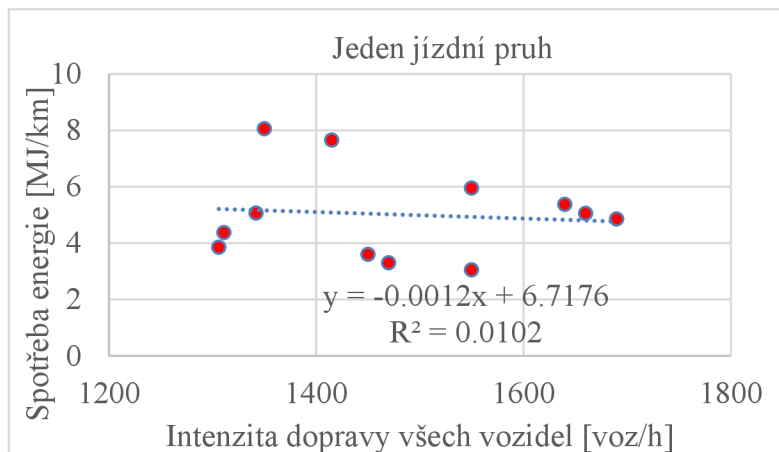
s_{xy} ... kovariance

s_x a s_y ... směrodatné odchylky



Obr. 28: Spotřeba energie v závislosti na intenzitě dopravy

Korelační koeficient intenzity celkové dopravy ve dvou jízdních pružích a spotřeby energie je 0,249. Výše tohoto koeficientu ukazuje, že mezi proměnnými je slabá přímá lineární závislost. Přímá lineární závislost znamená, že jestliže hodnota jedné z proměnných vzroste, vzroste i hodnota druhé proměnné. Můžeme pozorovat (Obr. 28), že se vzrůstající hodnotou intenzity dopravy vzrůstá i spotřeba energie. Pro lepší představu jsou jednotlivé hodnoty proloženy regresní křivkou, která říká, že pokud intenzita provozu vzroste o 1, spotřeba energie v průměru vzroste o 0,0011.



Obr. 29: Spotřeba energie v závislosti na intenzitě dopravy

Pokud korelační koeficient vypočítáme pro závislost intenzity dopravy všech vozidel a spotřeby energie v jednom jízdním pružích, tak podle hodnoty korelačního koeficientu -0,100 zjistíme, že se zde objevuje slabá negativní lineární závislost. Obr. 29 je opět proložena regresní křivkou. Ta tentokrát říká, že pokud intenzita dopravy vzroste o 1, spotřeba energie v průměru poklesne o 0,0012.

5.8 Hypotéza č. 2

Stejným způsobem jako u hypotézy č. 1 zjišťujeme, zda existuje závislost mezi spotřebou energie a intenzitou nákladní dopravy (Tab. 13, Tab. 14 a Tab. 15).

Intenzita dopravy byla rozdělena na základě praktických zkušeností z dálnic a pomoci ADI z dálnic do 3 četností, a to s nízkým dopravním zatížením (<200), se středním dopravním zatížením (200, 250), s vysokým dopravním zatížením (>250).

Tab. 13: Reálné četnosti

Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<200	200, 250	>250	
≤6	6	8	6	20
>6	5	3	6	14
Celkem	11	11	12	34

Tab. 14: Očekávané četnosti

Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<200	200, 250	>250	
≤6	6,470	6,470	7,058	20
>6	4,5296	4,529	4,941	14
Celkem	11	11	12	34

Tab. 15: Testovací kritérium

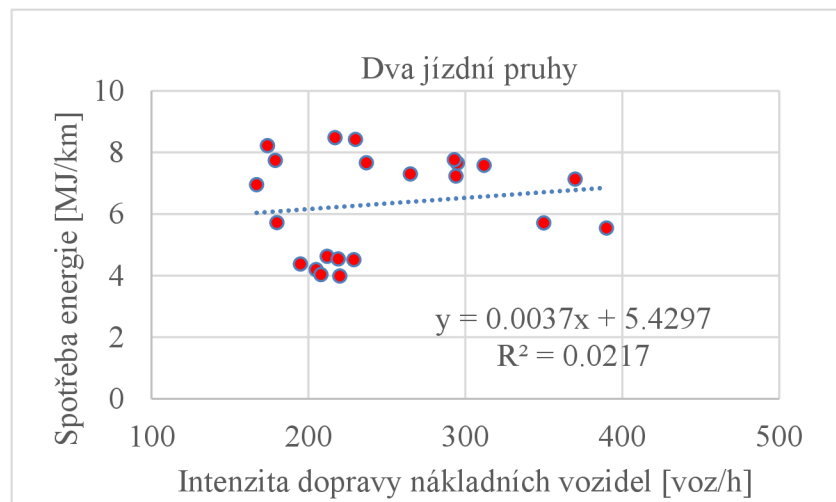
Průměrná spotřeba energie [MJ/Km]	Intenzita provozu všech vozidel [voz/h]			Počet měření [-]
	<200	200, 250	>250	
≤6	0,034	0,361	0,158	0,554
>6	0,048	0,516	0,226	0,792
Celkem	0,083	0,877	0,384	1,346

Testové kritérium s hodnotou 1,346 nepatří do kritického oboru, což značí, že mezi intenzitou provozu NA a spotřebou energie neexistuje závislost.

P-hodnota 0,5089 je vyšší než nastavená hladina významnosti 0,05. Opět tedy přijímáme nulovou hypotézu, že mezi proměnnými neexistuje závislost. Oba ukazatele se ani nepřibližují ke své hranici, proto můžeme říct, že platnost H_0 není ohrožena.

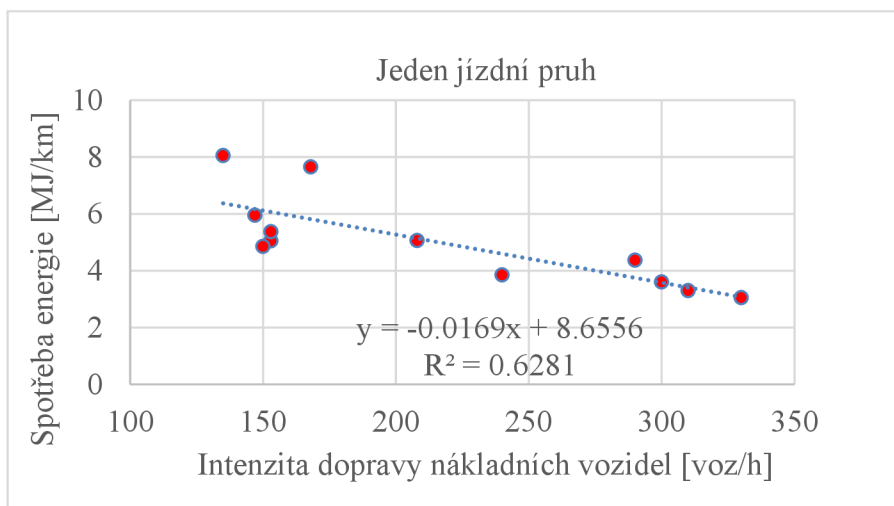
Korelační koeficient podle počtu jízdnic pruhů v daném směru jízdy.

Korelační koeficient mezi intenzitou provozu NA a spotřebou energie ve dvou jízdnicích pruzích je 0,147, můžeme tak říct, že zde není téměř žádná lineární závislost (Obr. 30).



Obr. 30: Spotřeba energie v závislosti na intenzitě dopravy

U situace v jednom jízdnicím pruhu, zde vychází negativní korelační koeficient - 0,542. Negativní závislost se vyznačuje tím, že pokud jedna z hodnot roste, druhá klesá (Obr. 31). Obrázek je proložen regresní křivkou. Ta tentokrát říká, že pokud intenzita dopravy vzroste o 1, spotřeba energie poklesne o 0,017.



Obr. 31: Spotřeba energie v závislosti na intenzitě dopravy

5.9 Hypotéza č. 3

Vybrané povětrnostní vlivy byly vypočítány od 01. 08. 2017 do 01. 12. 2019 na základě údajů z meteostanice na ČZU tyto:

- Průměrná denní teplota byla 11,16 [°C].
- Průměrná denní vlhkost vzduchu 68,56 [%].
- Průměrný denní úhrn srážek 1,2 [mm/den].
- Průměrné globální záření 11 273,92 [KJ/m2/den].

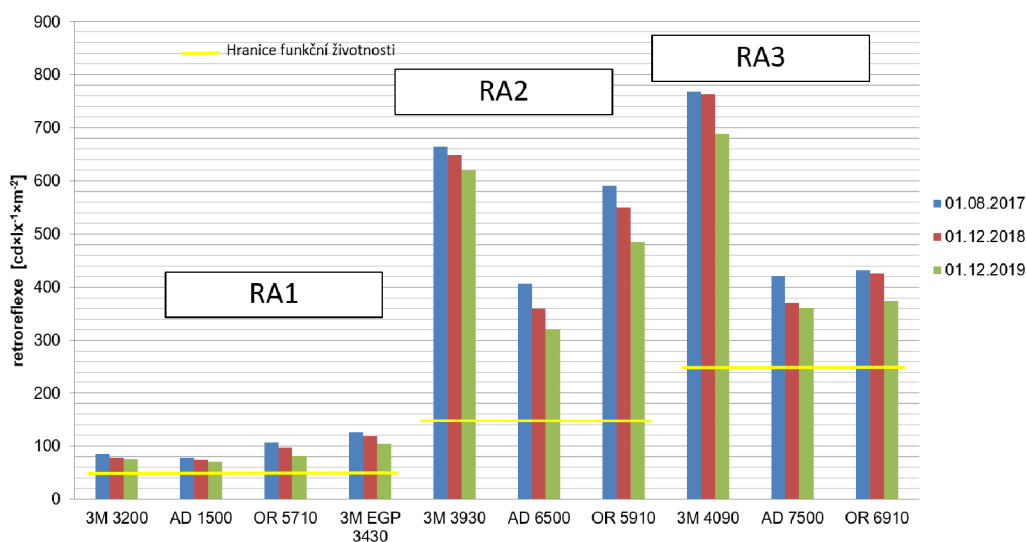
Ostatní údaje vzhledem k rozsahu a počtu dat, které meteostanice na ČZU zaznamenává po cca 10 minutách, jsou online dostupné na <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>. Pro statické výpočty byly využity stránky včetně všech odkazů, které jsou dostupné na <https://statisticsonweb.tf.czu.cz/>.

H0: Hodnoty retroreflexe jednotlivých vzorků na konci expozice budou splňovat min požadavky dané ČSN EN 12899-1

H1: Hodnoty retroreflexe jednotlivých vzorků na konci expozice nebudou splňovat min požadavky dané ČSN EN 12899-1

Při použití fólie s dobou životnosti 7 a více let je doba expozice 3 roky. Hodnoty součinitele retroreflexe při pozorovacím úhlu 20° a osvětlovacím úhlu 5° a 30° nesmí být nižší než 80 % příslušných hodnot požadovaných v ČSN EN 12899-1 čl. 4.1.1.4 pro fólie barvené ve hmotě. Pro fólie barvené sítotiskem nebo digitálním tiskem nesmí být součinitel retroreflexe nižší než 56 % příslušných hodnot uvedených v ČSN EN 12899-1 čl. 4.1.1.4.

Pro vzorky bílé barvy tedy platí, že hodnoty pro testovanou třídu RA 1 nesmí být po celou dobu funkční životnosti nižší než $40 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. U třídy RA 2 nesmí být hodnota po celou dobu funkční životnosti nižší než $144 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. U třídy RA 3 nesmí být po celou dobu hodnota funkční životnosti měřeného vzorku nižší než $240 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obr. 32: Hodnoty retroreflexe – bílý vzorek

Pro potřeby výzkumu bylo zkoušeno 30 vzorků bílé, červené a modré barvy (na x-ose jsou v níže uvedených obrázcích uvedeny označení jednotlivých druhů fólií). Vzorky fólií byly vystaveny v srpnu 2017 a poté měřeny vždy v prosinci 2018 a 2019. Zkoušené barevné fólie byly provedeny jednotně metodou sítotisku. U bílé barvy (Obr. 32) byl nejnižší úbytek retroreflexe zjištěn u fólie typu 3M 3930 (7 %). Následují vzorky typu 3M 4090 (10 %) a 3M 3200 (10 %). Naopak nejvyšší úbytek retroreflexe byl zjištěn u vzorků typu AD 6500 (21 %) a OR 5710 (23 %).

Pro potvrzení nebo zamítnutí naší hypotézy použijeme jednostranný a jednovýběrový studentův T–test:

Podle vzorce (4) vypočítáme aritmetický průměr

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

Podle vzorce (5) vypočítáme výběrový rozptyl

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n} \quad (5)$$

Podle vzorce (6) vypočítáme jednovýběrový T – test

$$T = \frac{X - \mu_0}{s} \times \sqrt{n} \quad (6)$$

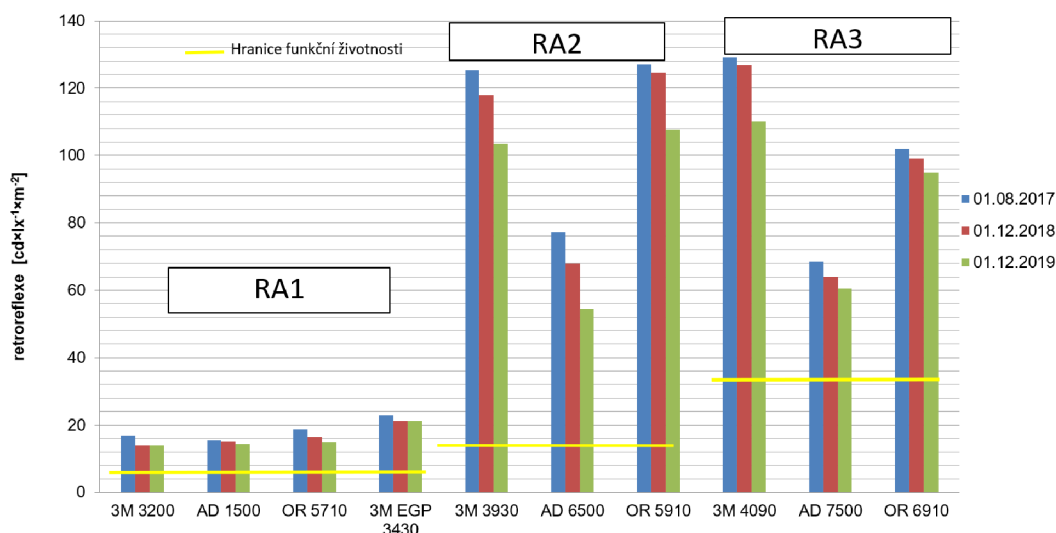
Tab. 16: Vypočtené hodnoty pro bílý vzorek T – test

-	RA1	RA2	RA3
X	83,1	474,56	474,2
S ²	233,42	22304	34560
T	5,642	3,834	2,182
t _(0,05)	-2,353	-2,920	-2,920
T > t _(0,05)	5,642 > -2,353	3,834 > -2,920	2,182 > -2,920
H ₀ : μ	≥ 40 <i>nezamítneme</i>	≥ 144 <i>nezamítneme</i>	≥ 240 <i>nezamítneme</i>

Vzhledem k tomu, že hypotézu H₀ nezamítáme ani u jedné třídy fólií (Tab. 16), tak lze konstatovat, že fólie splňují požadavky ČSN EN 12899–1.

U červené barvy (Obr. 33) byl nejnižší úbytek retroreflexe 7 % zjištěn u vzorků typu AD 1500, 3M EGP 3430. Naopak nejvyšší úbytek retroreflexe byl zjištěn u vzorků typu AD 6500 (29 %) a OR 5710 (20 %).

Pro vzorky červené barvy provedené sítotiskem nebo digitálním tiskem (opět 56 % z hodnoty pro příslušnou RA v normě) platí, že hodnoty pro testovanou třídu RA 1 nesmí být po celou dobu funkční životnosti nižší než $5,6 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. U třídy RA 2 nesmí být hodnota retroreflexe po celou dobu funkční životnosti nižší než $14 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. U třídy RA 3 nesmí být hodnota retroreflexe po celou dobu funkční životnosti nižší než $33,6 \text{ cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obr. 33: Hodnoty retroreflexe – červený vzorek

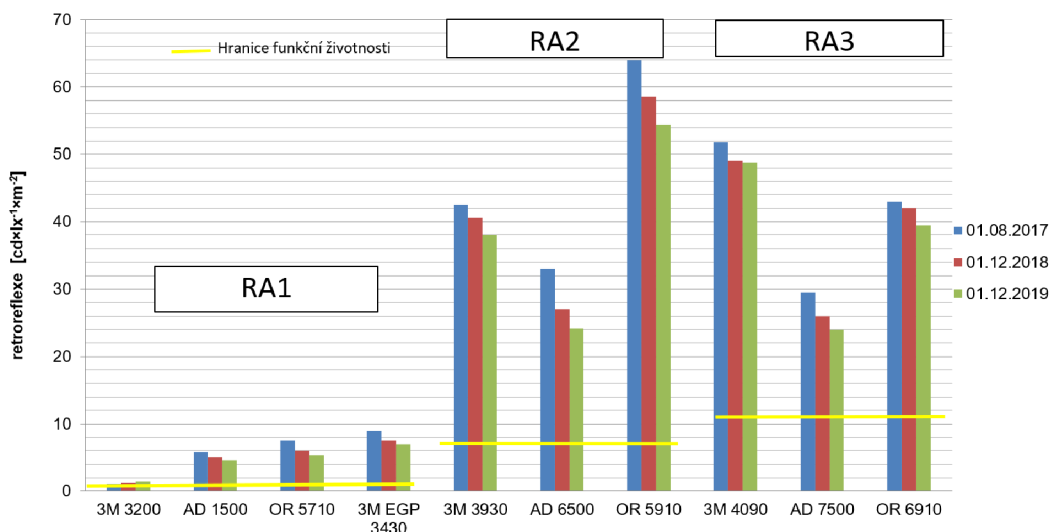
Pro potvrzení nebo zamítnutí naší hypotézy použijeme stejný statistický výpočet jako u bílého vzorku fólií.

Tab. 17: Vypočtené hodnoty pro červený vzorek T-test

-	RA1	RA2	RA3
X	16,12	88,5	88,46
S²	11,58	871	647,05
T	5,36	4,167	3,164
$t_{(0,05)}$	-2,353	-2,920	-2,920
T > t_(0,05)	5,362 > -2,353	4,167 > -2,920	3,164 > -2,920
H₀: μ	5,6 <i>nezamítáme</i>	≥ 14 <i>nezamítáme</i>	≥ 33,6 <i>nezamítáme</i>

Vzhledem k tomu, že hypotézu H_0 nezamítáme ani u jedné třídy fólií (Tab. 17), tak lze konstatovat, že fólie červené barvy splňují požadavky ČSN EN 12899–1.

U modré barvy (Obr. 34) byl nejnižší úbytek retroreflexe zjištěn u typu 3M 4090 (6 %) a u typu OR 6910 (8 %). Naopak úbytky retroreflexe nad 20 % byly zjištěny u vzorků typu 3MEGP 3430 (22 %), AD 1500 (22 %), AD 6500 (27 %) a OR 5710 (28 %). Naopak zvýšení retroreflexe bylo zjištěno u vzorku typu 3M 3200 (25 %).



Obr. 34: Hodnoty retroreflexe – modrý vzorek

Pro vzorky modré barvy provedených sitotiskem nebo digitálním tiskem (opět 56 % z hodnoty pro příslušnou RA v normě) tedy platí, že hodnoty pro testovanou třídu RA 1 nesmí být po celou dobu funkční životnosti nižší než $1,12 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

U třídy RA 2 nesmí být hodnota retroreflexe po celou dobu funkční životnosti nižší než $7,84 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. U třídy RA 3 nesmí být hodnota měřeného vzorku nižší než $10,64 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Pro potvrzení nebo zamítnutí naší hypotézy použijeme jednostranný a jednovýběrový studentův T-test.

Vzhledem k tomu, že hypotézu H_0 nezamítáme ani u jedné třídy fólií (Tab. 18), tak lze konstatovat, že fólie modré barvy splňují požadavky ČSN EN 12899-1.

Tab. 18: Vypočtené hodnoty pro modrý vzorek T – test

-	<i>RA1</i>	<i>RA2</i>	<i>RA3</i>
X	4,62	38,87	37
S^2	5,33	228,57	147
T	2,79	3,33	3,43
$t_{(0,05)}$	-2,353	-2,920	-2,920
$T > t_{(0,05)}$	2,792 > -2,353	3,330 > -2,920	3,429 > -2,920
$H_0: \mu$	$\geq 1,12$ nezamítneme	$\geq 7,84$ nezamítneme	$\geq 10,64$ nezamítneme

Kromě jiného měření ukázalo, že jsou velké rozdíly v retroreflexi mezi formálně zařazenou třídou RA2 a RA3. Podíváme-li se např. na Obr. 31, tak jsou v třídě RA2 zařazeny fólie s hodnotami 665, 405 a 591 $\text{cd} \cdot \text{l}x^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. V třídě RA3 jsou zařazeny fólie s hodnotami 768, 419 a 431 $\text{cd} \cdot \text{l}x^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

To mj. poukazuje na to, že stávající tři třídy dělení jsou již s ohledem na vývoj v oblasti fólií značně nedostačující. Na základě provedených měření a pozorování se doporučuje zavést alespoň pět tříd dělení.

Takové rozdělení jednoznačně přispěje ke sjednocení opticky podobných retroreflexních prvků do podobných výkonnostních tříd, což bude mít pozitivní vliv např. při výběru kombinace fólií na přenosných značkách v oblasti pracovních míst.

Přestože neuplynuly 3 roky od vystavení vzorků pro zrychlenou zkoušku proti povětrnostním vlivům dle čl. 4.1.1.5.2 ČSN EN 12899-1, tak lze říct, že testované vzorky s výjimkou vzorků 3M 3200 modré barvy splní požadované minimální hodnoty.

5.10 Hypotéza č. 4

V Tab. 19 jsou uvedeny výsledky měření z pohledu % úbytků retroreflexe. Za zmínku stojí modrý vzorek fólie 3M 3200, který od začátku měření vykazuje hraniční hodnoty od 1,1 do 1,5 $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ a jako jediný ze všech testovaných vzorků nevykázal za sledované období úbytek, ale naopak hypotetický přírůstek hodnoty retroreflexe a to o 25 %.

Vzhledem k tomu, že se jedná o velmi nízké hodnoty daných normou, tak je pravděpodobně nárůst retroreflexe způsoben nadměrným probarvením fólie při procesu výroby či samotnou konstrukcí fólie. Jistým vodítkem může být i to, že v roce 2013 bylo společností zabývajících se výrobou dopravního značení měřeno celkem 147 různých vzorků této fólie, a to s průměrnou hodnotou 1,4 $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Měření také ukázalo, že funkční životnost vzorků, tj. doba, po kterou výrobce garantuje, že vzorky budou splňovat minimální požadavky uvedené v ČSN EN 12899–1 je výrazně naddimenzovaná a výrobci těchto materiálů pravděpodobně počítají s úbytkem retroreflexe při vystavení různým povětrnostním vlivům a stárnutí s výjimkou modrého vzorek fólie typu 3M 3200.

Tab. 19: Celkové vyhodnocení fólií v období 1. 8. 2017 – 1. 12. 2019

Třída fólie		RA1				RA2			RA3		
		3M 3200	AD 1500	OR 5710	3M EGP	3M 3930	AD 6500	OR 5910	3M 4090	AD 7500	OR 6910
A	Bílá	10	12	23	17	7	21	18	10	14	13
B		191	175	203	263	429	223	336	287	150	156
A	Červená	17	7	20	7	18	29	15	15	8	12
B		250	257	266	378	739	389	768	327	180	233
A	Modrá	-	22	28	22	11	27	15	6	19	8
B		-	410	482	625	485	309	694	458	226	370

Legenda: A – % úbytek retroreflexe za 28 měsíců od vystavení, B – % hodnoty retroreflexe nad minimální požadované hodnoty v ČSN EN 12899–1

V souhrnné popisné Tab. 20 jsou kategoriální proměnné (typ a barva fólie) shrnuty jako počet (N) (procento (%)) a číselné proměnné (úbytek retroreflexe a hodnota retroreflexe nad minimum požadované normou) shrnuty statistikami průměr \pm směrodatná odchylka (medián). Standardní značení pro průměr je \bar{x} , pro směrodatnou odchylku s_x , a pro medián \tilde{x}_{50} .

Rozdíl průměrného úbytku retroreflexe mezi barvami a třídami fólie bude testován pomocí jednorozměrné analýzy rozptylu (ANOVA). Testovaná hypotéza (H_0) je shoda středních hodnot úbytku retroreflexe ve třech skupinách vzorků fólií dle barev a dále dle třídy fólie.

Alternativní oboustrannou alternativní hypotézou (ve vybrané metodě ANOVA) je, že alespoň jeden skupinový průměr se liší od ostatních. Skupinové rozdíly jsou popsány v Tab. 21 a Tab. 22 a kromě statistik použitých v Tab. 20, tj. průměr, směrodatná odchylka a medián jsou uvedeny navíc dolní a horní kvartil (\tilde{x}_{25} , \tilde{x}_{75}).

Síla lineárního vztahu mezi úbytkem retroreflexe a retroreflexí nad požadavek normy je vyjádřen pomocí Pearsonova korelačního koeficientu (r_{xy}) a statistická významnost lineární závislosti testována pomocí t -testu pro směrnici odhadnutého lineárního regresního modelu metodou nejmenších čtverců.

Ve statistickém testování (srovnání) se nepředpokládá interakce mezi RA třídou a barvou fólie. Dále se nepředpokládá odlišný vliv typu fólie uvnitř RA tříd na sledovanou proměnnou. Pro statistické testování byla zvolena 5 % hladina významnosti a oboustranná alternativní hypotéza.

Veškeré statistické výpočty provedeny v Excelu (MS Office O365) a jeho doplňku „Analýza dat“.

Sledovaná proměnná (úbytek sebereflexe) měřena na 30 vzorcích pocházející ze třech tříd dle normy RA (12x RA1, 9x RA2, 9x RA3). Třída RA1 je zastoupena čtyřmi typy fólie (3M EGP, 3M3200, AD 1500, OR 5710). Každá z tříd RA2 a RA3 zahrnuje 3 typy fólií, konkrétně RA2 (3M 3930, AD 6500, OR 5910), RA3 (3M 4090, AD 7500, OR 6910). Každý typ fólie je zastoupen třemi vzorky (ve všech třídách).

Vzorky jsou tří barev (bílá, červená a modrá) vždy po 10 kusech. Úbytek retroreflexe (v %) za 28 měsíců byl v průměru \pm směrodatná odchylka $15,0 \pm 7,1$. Hodnota retroreflexe nad minimum požadované normou (%) je $342,0 \pm 182,8$. Charakteristiky souboru jsou souhrnně popsány v Tab. 21.

Tab. 20: Charakteristika souboru dat

Proměnná	Výběrový soubor (30)
Typ fólie†	
RA1	12 (40,0)
RA2	9 (30,0)
RA3	9 (30,0)
Barva fólie†	
Bílá	10 (33,3)
Červená	10 (33,3)
Modrá	10 (33,3)
Úbytek retroreflexe (%)	$15,0 \pm 7,1$ (15,0)
Retroreflexe nad minimum požadované normou (v %)	$342,0 \pm 182,8$ (298,0)

Legenda: Kategoriální proměnné† jsou popsány jako počet (procento) a číselné proměnné shrnuty statistikami průměr \pm směrodatná odchylka (medián).

5.10.1 Hodnota úbytku retroreflexe závisí na barvě fólie

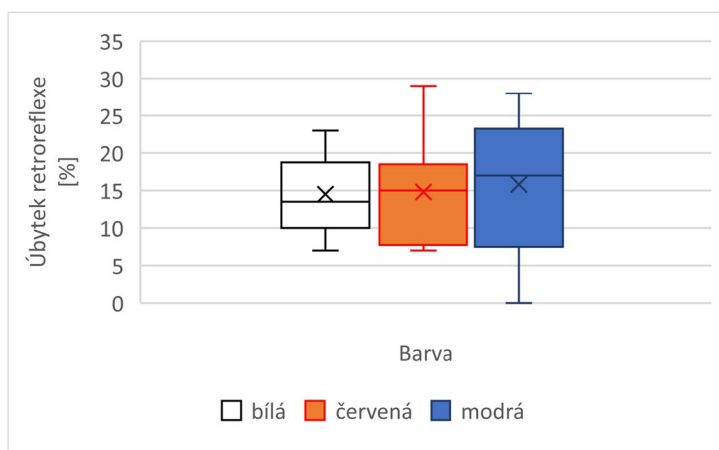
Průměrný úbytek retroreflexe (%) za 28 měsíců se mezi barvami fólie statisticky významně neliší (P hodnota = 0,918) a neprokázala se závislost úbytku retroreflexe na barvě fólie. Pro bílé fólie byl naměřen úbytek $14,5 \pm 5,1$, pro červené $14,8 \pm 6,8$, pro modré byl úbytek nepatrně vyšší $15,8 \pm 9,4$. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21: Úbytek retroreflexe (%) dle barvy fólie

Skupina	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	P hodnota
bílá	14,5	5,1	13,5	10,5	17,8	0,918
červená	14,8	6,8	15	9	17,8	
modrá	15,8	9,4	17	8,75	22	

Legenda: P hodnota je výsledkem statistického testování skupinových průměrů metodou ANOVA

Obr. 35 zobrazuje rozdělení hodnot a ukazuje na to, že 50 % naměřených hodnot (mezi dolním a horním kvartilem) je velmi podobný pro bílou a červenou a pohybují se mezi 9,0 a 18,0 %. U modré barvy je variabilita naměřených hodnot větší a 50 % hodnot se pohybuje mezi 9,0 a 22,0 %.



Obr. 35: Krabicový diagram

Legenda: horizontální čára uvnitř krabicového diagramu znázorňuje pro každou skupinu medián a křížek průměr. Stěny krabice znázorňují dolní a horní kvartil a fousy grafu minimum a maximum

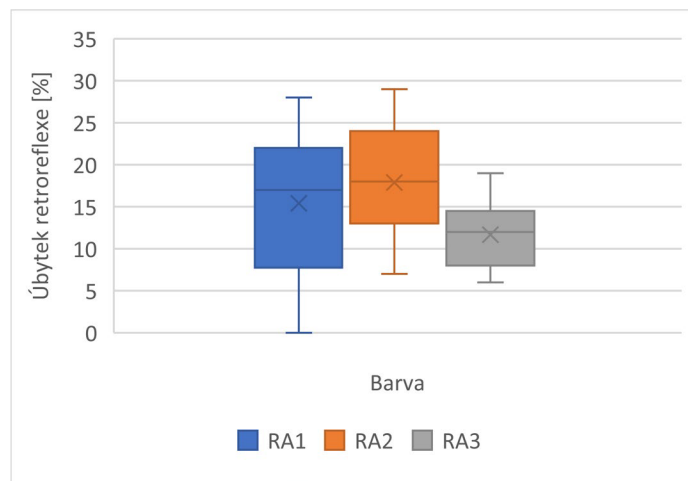
5.10.2 Hodnota úbytku retroreflexe závisí na třídě fólie

Úbytek retroreflexe je nejnižší u třídy RA3 $11,7 \pm 4,1$ s kvartilovým rozpětím mezi 8 a 14. Naměřené hodnoty u RA1 a RA2 jsou vyšší a vzájemně srovnatelné, tj. u třídy RA1 $15,4 \pm 8,3$ s kvartilovým rozpětím mezi 9,3 a 22,0; u RA2 $17,9 \pm 7,1$ s kvartilovým rozpětím mezi 15,0 a 21,0. Rozdíly mezi třídami nejsou statisticky významné (P hodnota = 0,174). Kompletní výsledky jsou uvedeny v Tab. 22. a na Obr. 36.

Tab. 22: Úbytek retroreflexe (%) dle třídy fólie

Třída	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	P hodnota
RA1	15,4	8,3	17	9,3	22	0,174
RA2	17,9	7,1	18	15	21	
RA3	11,7	4,1	12	8	14	

Legenda: P hodnota je výsledkem statistického testování skupinových průměrů metodou ANOVA



Obr. 36: Krabicový diagram

Legenda: horizontální čára uvnitř krabicového diagramu znázorňuje pro každou skupinu medián a křížek průměr. Stěny krabice znázorňují dolní a horní kvartil a fousy grafu minimum a maximum

5.10.3 Hodnota úbytku retroreflexe v souvislosti s normou

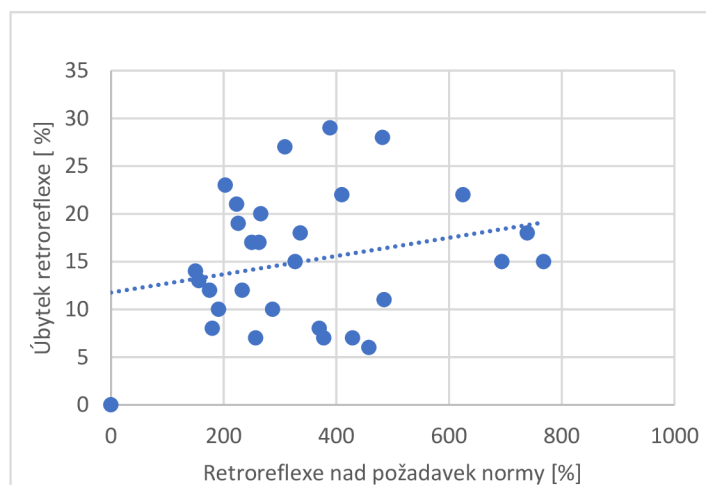
Mezi úbytkem retroreflexe a retroreflexe nad požadavek není statisticky významný lineární vztah (P hodnota = 0,1891). Síla závislosti měřená korelačním koeficientem je 0,247. Odhadnuté koeficienty lineárního regresního modelu včetně intervalových odhadů ukazuje Tab. 23.

Tab. 23: Model pro úbytek retroreflexe

Koeficient	Bodový odhad	Střední chyba odhadu	Intervalový odhad (95 %) – dolní mez	Intervalový odhad (95 %) – horní mez	P hodnota
Průsečík (b_0)	11,763	2,745	6,14	17,386	0,0002
Směrnice (b_1)	0,01	0,007	-0,005	0,024	0,1891

Legenda: V tabulce jsou odhadnuty koeficienty lineárního regresního modelu mezi úbytkem sebereflexe a retroreflexe nad požadavek normy metodou nejmenších čtverců

Z odhadnuté směrnice přímky a Obr. 37 je vidět slabý pozitivní vztah mezi těmito proměnnými. Na základě tohoto obrázku není očekáván ani nelineární vztah.



Obr. 37: Bodový diagram

Legenda: přerušovaná spojnice trendu zobrazuje lineární regresní model odhadnutý metodou nejmenších čtverců

Na základě naměřených hodnot se nezdá, že by barva fólie měla vliv na úbytek retroreflexe. U třídy RA3 je úbytek v průměru (11,7 %) nižší než u RA1 (15,4 %) a RA2 (17,9 %). Na základě malého vzorku (RA1 = 12, RA2 = 9, RA3 = 9) se při dané variabilitě naměřených hodnot nepodařilo prokázat na zvolené hladině významnosti (5 %) statisticky významný rozdíl.

Pozitivní vztah (vyšší hodnoty jedné proměnné implikují vyšší hodnoty druhé proměnné) mezi úbytkem retroreflexe a retroreflexí nad požadavek normy není statisticky významný (korelační koeficient 0,25), tj. tyto proměnné se jeví na základě provedeného experiment vzájemně nezávislé.

V souboru je jedno odlehlé pozorování (vzorek 3M 3200 modré barvy) s hodnotami 0 a 0. Po vyloučení tohoto vzorku, klesne míra vzájemné závislosti na upravený korelační koeficient 0,12.

6. Závěr a přínos pro využití v praxi

Z pohledu spotřeby energie (paliva) a intenzity dopravy v uzavírkách na dálnicích nebyla prokázána přímá lineární závislost. K potvrzení či zamítnutí hypotézy, že se zvyšující se intenzitou dopravy v daném jízdním uspořádání klesá/narůstá spotřeba energie, by zřejmě bylo potřebné dalších exaktních a relevantních dat, nicméně s ohledem na výše uvedená měření se to nedá předpokládat.

Z výsledku a průběhu jednotlivých měření je patrné, že i při srovnatelné intenzitě dopravy bude velmi záležet na konkrétní organizaci pracovního místa, neboť samotný provoz v uzavírce může ovlivnit celá řada níže uvedených faktorů.

V rámci organizace pracovního místa se může jednat například o nedostatečné kapacitní připojení (bez připojovacího pruhu) v prostoru nájezdové větve křižovatky do dopravního proudu na hlavní trase dálnice. Tento problém byl patrný i při měření na D5 v km 14-20 vlevo, kdy při obdobných celkových intenzitách mezi měření č. 2 a č. 3 (Tab. 3) byl rozdíl 2,1 MJ/km, přičemž při měření č. 3 bylo patrné zvýšení intenzity na nájezdu MÚK 18 (směr Praha).

Přijíždějící vozidla po hlavní trase totiž umožňují vozidlům přijíždějícím ke křižovatce zařazení do dopravního proudu, což zdatelně prodlužuje dobu průjezdu oblastí pracovního místa (ze 412 s na 636 s) a tím dochází k tvorbě dopravních kongescí, a to i přes to, že doprava na hlavní trase byla vedena dvěma jízdní pruhy.

I když se sníží spotřeba energie (paliva), dojde k prodloužení dojezdových časů a tím pádem k neefektivnímu využití lidské práce a času, která by mohla být využita pro naši společnost k jiným činnostem. Dalším důsledkem je také to, že může také docházet k tvorbě dopravních kongescí, což výrazně ohrožuje bezpečnost silničního provozu.

Nedostatečně kapacitní připojení lze řešit několika způsoby, a to zúžením pracovního prostoru a následným vyznačením provizorního jízdního pruhu dopravním značením, což je obvykle možné u realizace kabelů, odvodnění, popř. výměně svodidel ve středním dělicím pásu, kdy je doprava na hlavní trase vedena na úseku A a B1 dvěma provizorními jízdní pruhy a přístup do pracovního prostoru je více méně pouze z jedné strany.

Výše uvedené však neplatí při opravách vozovek, které mají z důvodu pracovních spár vyšší nároky na šířku pracovního prostoru. Např. při vedení dopravy 2+1/1 je veden jízdní pruh podél pracovního místa a vozovka je opravována tzv. po polovinách. Při zachování jízdního pruhu v šířce 3,25 m a s šířkou provizorního připojovacího pruhu taktéž 3,25 m při dodržení minimální délky připojení 70 m si tak již nelze většinou vystačit s pouhou úpravou dopravního značení.

S ohledem na dobu výstavby je možné po provedení ekonomického zhodnocení navrhnout stavební úpravy spočívající v rozšíření vozovky, popř. v navržení provizorní vozovky mezi nájezdovou a výjezdovou větví křižovatky.

V případě, že stavební úpravy nejsou technicky možné, tak je možné osadit před takovými místy po dobu výstavby tzv. mobilní systém varování před kolonou (systém proměnného značení).

Dalším faktorem, který může zpomalovat dopravní proud bez ohledu na intenzity je např. i průjezd uzavírkou v systému 2+1/1 podél pracovního místa, kde probíhají stavební práce a dochází tak k poměrně častému najíždění a vyjíždění rozměrné stavební techniky do prostoru stavby, což vyžaduje často zastavení nebo výrazné zpomalení dopravního proudu na hlavní trase dálnice. Tento faktor lze omezit vhodnou volbou staveništních výjezdů a k oddělení pracovního místa od provozu neužívat dopravní zařízení Z4, ale užít dočasná svodidla dle TP 159.

Přestože se doprava významně podílí na celkové spotřebě energie, tak v oblasti uzavírek a dopravních omezení je podstatnější to, aby byla na dálnicích pracovní místa dostatečně zabezpečena, a to jak pro řidiče, tak pracovníky a v rámci požadavku na plynulý provoz byly dodržovány přijatelné dojezdové časy bez dopravních kongescí.

Druhá část práce se zabývala měřením a zkoumáním speciálních materiálů s retroreflexním prvkem (fóliemi). Lze konstatovat, že jednotlivé prvky budou odpovídat minimálním hodnotám uvedeným v ČSN EN 12899-1 z pohledu zkoušky odolnosti proti povětrnostním vlivům. Nicméně provedená měření ukázala, že existují významné rozdíly v retroreflexi zejména mezi vzorky, které jsou formálně zařazeny do třídy RA2 a RA3.

Podíváme-li se blíže na zjištěná data, tak jsou v třídě RA2 zařazeny fólie s hodnotami 665, 405 a 591 $\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. V třídě RA3 jsou zařazeny fólie s hodnotami 768, 419 a 431 $\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. To mj. poukazuje na to, že stávající tři třídy dělení jsou již s ohledem na pokračující vývoj v oblasti fólií značně nedostačující.

Měření také ukázalo, že funkční životnost vzorků, tj. doba, po kterou výrobce garantuje, že vzorky budou splňovat minimální požadavky uvedené v ČSN EN 12899–1 s výjimkou modrého vzorku fólie typu 3M 3200, který od začátku měření vykazuje hraniční hodnoty od 1,1 do 1,5 $\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. U ostatních vzorků lze konstatovat, že jsou naddimenzované a počítá se v průběhu jejich užívání s postupným úbytkem retroreflexe.

Vzhledem k tomu, že se jedná u modrého vzorku 3M 3200 o velmi nízké hodnoty, tak je pravděpodobně nárůst/pokles retroreflexe způsoben nadměrným probarvením fólie při procesu výroby či samotnou konstrukcí fólie.

Pro zajímavost lze však uvést, že v roce 2013 bylo společností zabývajících se výrobou dopravního značení měřeno celkem 147 různých vzorků této fólie, a to s průměrnou hraniční hodnotou 1,4 $\text{cd}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Na základě provedených měření a pozorování se doporučuje zavést při aktualizaci ČSN EN 12899–1 alespoň pět tříd dělení RA1 – RA 5. Takové rozdělení jednoznačně přispěje ke sjednocení opticky a konstrukčně (balotinové a mikroprizmatické) podobných retroreflexních prvků do opticky podobných výkonnostních tříd, což bude mít pozitivní vliv např. při výběru kombinace fólií na přenosných značkách v oblasti pracovních míst, popř. při doplňování části fólií na velkoplošné dopravní značky. Výsledky měření budou publikovány v databázi WOS, resp. Scopus.

Nicméně pro správnou viditelnost značení nepostačuje jen správná hodnota retroreflexe. Druhým velmi důležitým prvkem z hlediska viditelnosti je tvar a barevnost (kolorita) retroreflexního materiálu.

Zejména tvar a barevnost pomáhají řidiči jednoznačně určit, o jaký druh značky se jedná (příkaz, zákaz apod.). Nicméně dá se říct, že proměnným parametrem v čase je pouze barevnost (kolorita). A právě barevnost by měla být dalším předmět zkoumání v oblasti těchto druhů materiálů.

Retroreflexe a kolorita zajišťují správnou viditelnost, a tedy i účinnost značení, což jsou do budoucna naprosto klíčové parametry pro vývoj a následné užívání autonomních vozidel v reálném provozu.

S příchodem takovýchto automobilů však bude muset být kladen samozřejmě i vyšší důraz na správnou údržbu značení, což je pravidelné čištění značení, výška a stranové umístění značení, resp. výměna poškozených částí značek po dopravní nehodě, popř. z důvodu vandalizmu.

Kromě výše uvedeného se budou muset vývojáři, jak vozidel, tak těchto speciálních materiálů pro dopravní značky vypořádat s klimatickými vlivy, což nebude v žádném případě jednoduchý úkol. Jedná se o již zmiňované rosení značek, popř. vznik námrazy na značkách.

Oba tyto faktory velmi snižují hodnoty retroreflexe a zhoršují tedy bezpečnost a plynulost silničního provozu. Oba tyto faktory se více méně nedaří po světě spolehlivě řešit a může to být jeden z velkých problémů při zavádění technologií pro čtení a správnou identifikaci značek.

Přestože si ŘSD nechalo zpracovat velmi obsáhlou studii nezávislou akreditovanou laboratoří, tak nelze učinit jednoznačné závěry. Ani krycí film na folii se nezdá být tím správným řešením, neboť se jeví jako nefunkční při námraze, a navíc snižuje životnost folií. Byť by se mohlo zdát, že řešením je vytápění, popř. osvětlování značek, tak nevýhodou těchto řešení jsou jejich pořizovací a následné provozní náklady, které v čase zcela jistě výrazně převyšují cenu folie s garantovanou funkční životností.

Proto se více méně s výjimkou Švýcarska od těchto způsobů ustupuje. Bylo by tedy obzvláště vhodné se zaměřit na vývoj a konstrukci nových materiálů, které pomohou vlivy rosení a námrazy alespoň eliminovat.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Energy Information Administration (EIA), “Transportation Sector Energy Consumption,” *International Energy Outlook 2016*. pp. 127–137, 2016.
- [2] Z. Yu, D. Streimikiene, T. Balezentis, R. Dapkus, R. Jovovic, and V. Draskovic, “Final energy consumption trends and drivers in Czech Republic and Latvia,” *Amfiteatru Economic*, vol. 19, no. 46. pp. 866–889, 2017.
- [3] International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, “International Organization of Motor Vehicle Manufacturers,” 2020. [Online]. Available: <http://www.oica.net/>.
- [4] OICA, “International Organization of Motor Vehicle Manufacturers,” 2021. .
- [5] M. Prášil, “Padesát let 1967-2017,” Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha, p. 254, 2017.
- [6] M. Prášil, *Dálnice 1967–2007*. Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2017.
- [7] Ř. ČR, “Vývoj intenzit dopravy 1984 - 2020,” p. 57, 2021.
- [8] M. Prášil, “Oznacovani pracovních míst na dálnicích - volná trasa.pdf,” Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha, 2017.
- [9] ŘSD, “PS 8/14 Odhad vzniku a vývoje kolon při pracovních místech na směrově rozdělených komunikacích,” p. 16, 2014.
- [10] M. A. Flak, “Incident management needs along work zones,” in *Proceedings of the Conference on Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century*, 1997, pp. 250–256.
- [11] K. Kiruthiga and R. Prashanth, “Study on time space management in work zones from tambaram to chengalpet in NH45,” *J. Chem. Pharm. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. E130–E134, 2016.
- [12] F. La Torre, L. Domenichini, and A. Nocentini, “Effects of stationary work zones on motorway crashes,” *Saf. Sci.*, vol. 92, pp. 148–159, 2017.
- [13] D. Arditi, D.-E. Lee, and G. Polat, “Fatal accidents in nighttime vs. daytime highway construction work zones,” *J. Safety Res.*, vol. 38, no. 4, pp. 399–405, 2007.

- [14] T. Petzoldt, P. Rossner, C. Mair, A. C. Bullinge, and J. F. Krems, “How does left lane width in motorway work zones affect driver behaviour and perception?,” *Adv. Transp. Stud.*, vol. 1, pp. 51–58, 2016.
- [15] D. Arditi, D. E. Lee, and G. Polat, “Fatal accidents in nighttime vs. daytime highway construction work zones,” *J. Safety Res.*, vol. 38, no. 4, pp. 399–405, 2007.
- [16] Y.-H. Peng and J.-N. Lu, “Text traffic signs size in expressway work zone based on driver’s visual characteristics,” *Chang. Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal Chang. Univ. (Natural Sci. Ed.)*, vol. 36, no. 4, pp. 71–78, 2016.
- [17] T. Bergh, K. Nordqvist, P. Strömngren, F. Davidsson, K. L. Bång, and A. Carlsson, “Capacity Issues in Sweden - Applications and Research,” in *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 15, pp. 36–50.
- [18] Y. Zhang, S. Zhu, H. Wang, Y. Hu, and B. Liu, “Variance analysis of factors that affected traffic safety in highway work zones,” in *ICTIS 2011: Multimodal Approach to Sustained Transportation System Development - Information, Technology, Implementation - Proceedings of the 1st Int. Conf. on Transportation Information and Safety*, 2011, pp. 567–574.
- [19] Ministerstvo dopravy ČR, “TP 66.” p. 160, 2015.
- [20] ŘSD, “PS 11/17 Plánování pracovních míst na dálnicích,” p. 33, 2017.
- [21] H. G. Hawkins Jr., P. J. Carlson, and S. T. Chrysler, “Headlamp luminous intensity matrix adjustment factors for modeling traffic sign performance,” *SAE Tech. Pap.*, 2005.
- [22] T. Urbanik and P. J. Carlson, “Photometric Measurements of Traffic Signs as a Function of Pavement Reflectance at Grazing Angles,” *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–58, 2005.
- [23] M. Sivak, M. J. Flannagan, B. Schoettle, and Y. Nakata, “Performance of the first generation of HID headlamps in the U.S.,” *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 1, no. 1, pp. 67–83, 2004.
- [24] S. Iwamoto and Y. Tsukada, “Study the effect of laser headlights on the brightness of road surfaces and traffic signs,” in *Proceedings of the International Display Workshops*, 2015, vol. 3, pp. 1440–1442.

- [25] F. Ye, P. J. Carlson, and B. K. Brimley, "Applying the sign luminance computation model to study the effects of other vehicles on sign luminance," *Transport*, vol. 29, no. 2, pp. 115–124, 2014.
- [26] M. Uchida, Y. Kita, T. Minoda, R. Ueki, and S. Kawanobe, "Visibility of pavement markings with LED headlamps," *SAE Tech. Pap.*, vol. 1, 2014.
- [27] FHWA, "Traffic sign retroreflectivity." US Department of transportation, p. 118, 2008.
- [28] C. Ai and Y. J. Tsai, "An automated sign retroreflectivity condition evaluation methodology using mobile LIDAR and computer vision," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 63, 2016.
- [29] T. R. Zhang and A. H. S. Chan, "Facilitating the effectiveness of signs on roads," in *IAENG Transactions on Engineering Sciences - Special Issue of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2013 and World Congress on Engineering, WCE 2013*, 2014, pp. 311–322.
- [30] D. Babić, H. Dijanić, L. Jakob, D. Babić, and E. Garcia-Garzon, "Driver eye movements in relation to unfamiliar traffic signs: An eye tracking study," *Appl. Ergon.*, vol. 89, 2020.
- [31] D. Litwin *et al.*, "Photonics approach to traffic signs," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2016, vol. 10142.
- [32] M. A. R. I. J. A. Ferko, A. N. A. Stažnik, M. Modrić, and H. Dijanić, "The impact of traffic sign quality on the frequency of traffic accidents | Utjecaj kvalitete prometnih znakova na učestalost nastanka prometnih nesreća," *Promet - Traffic - Traffico*, vol. 31, no. 5, pp. 549–558, 2019.
- [33] H. Zhou, F. Pirinccioglu, and P. Hsu, "A new roadway lighting measurement system," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 17, no. 3, pp. 274–284, 2009.
- [34] P. Batchelor, "Road Safety vs Are traffic signs too bright?," 2013.
- [35] A. Borowsky, D. Shinar, and Y. Parmet, "Sign location, sign recognition, and driver expectancies," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 11, no. 6, pp. 459–465, Nov. 2008.

- [36] J. D. Bullough and N. P. Skinner, "High visibility reflective sign sheeting materials: Field and computational evaluations of visual performance," *Transport*, vol. 33, no. 2, pp. 344–352, 2018.
- [37] M. Prášil, *Svislé dopravní značení*. Praha: Provozní úsek GRŘ ŘSD, 2006.
- [38] International commission on illumination CIE, *CIE 1988*. Vienna: Central Bureau of the CIE, 1988.
- [39] M. Khalilikhah, K. Heaslip, and Z. Song, "Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance?," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 75, pp. 147–160, 2015.
- [40] M. Khalilikhah, K. Heaslip, and K. Hancock, "Traffic sign vandalism and demographics of local population: A case study in Utah," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 3, no. 3, pp. 192–202, 2016.
- [41] E. Hildebrand and T. Bergin, "Traffic sign retroreflectivity and the canadian environment," *CITE Conf.*, p. 24, 2004.
- [42] P. Siegmann, R. J. Lopez-Sastre, P. Gil-Jimenez, S. Lafuente-Arroyo, and S. Maldonado-Bascon, "Fundaments in luminance and retroreflectivity measurements of vertical traffic signs using a color digital camera," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 3, pp. 607–615, 2008.
- [43] S. T. Chrysler, P. J. Carlson, and H. G. Hawkins, "Nighttime Legibility of Ground-Mounted Traffic Signs as a Function of font, color and Retroreflective sheeting type," vol. 7, no. 2, pp. 1–17, 2003.
- [44] J. Vácha, "STÁRNUTÍ EVROPSKÉ PO PULACE Ageing of European population Ageing of European population," Masarykova univerzita v Brně, 2010.
- [45] Eurostat, "EUROSTAT," 2017. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [46] C.-W. Chao, C. H. Huang, and T. Tsai, "The age effects of traffic signs on visual performance," *Life Sci. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 297–302, 2013.
- [47] ÚZIS, "EHIS 2014," 2016. [Online]. Available: <https://www.uzis.cz/node/7495>.
- [48] FHWA, "Minimum sign retroreflectivity requirments." US Department of transportation, p. 16, 2012.

- [49] D. Arditi, M. Ayrancioglu, and J. Jingsheng Shi, "Worker safety issues in night-time highway construction," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 12, no. 5, pp. 487–501, 2005.
- [50] T. Schnell, L. Yekhshatyan, and R. Daiker, *Effect of luminance and text size on information acquisition time from traffic signs*, no. 2122. 2009.
- [51] F. Schieber, D. M. Burns, J. Myers, N. Willan, and J. Gilland, "Driver Eye Fixation and Reading Patterns while Using Highway Signs under Dynamic Nighttime Driving Conditions: Effects of Age, Sign Luminance and Environmental Demand," *83rd Annu. Meet. Transp. Res. Board*, p. 26, 2004.
- [52] P. J. Carlson and H. G. Hawkins Jr., *Minimum retroreflectivity for overhead guide signs and street name signs*, no. 1794. 2002.
- [53] P. Padmos, "Minimum required night-time luminance of retroreflective traffic signs," *TNO Human Factors*. TNO, Soesterberg, The Netherlands, p. 33, 2000.
- [54] 3M, "Road & Transportation Safety Center," 2021. [Online]. Available: https://www.3m.com.sg/3M/en_SG/road-safety-sg/resources/road-transportation-safety-center-blog/.
- [55] M. ČR, "TP 65 ZÁSADY PRO DOPRAVNÍ ZNAČENÍ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH," pp. 1–156, 2013.
- [56] S. J. Howe, "Assessment of road signs for retroreflectivity," in *Proceedings of the 1st World Congress on Engineering Asset Management, WCEAM 2006*, 2006, pp. 1080–1089.
- [57] J. Rennilson, "RETROREFLECTION.," *Stand. News*, vol. 15, no. 2, pp. 42–44, 1987.
- [58] E. A. Harris, W. Rasdorf, and J. E. Hummer, "Development of a microscopic simulation to model traffic sign management and performance," *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 2, pp. 172–182, 2012.
- [59] R. C. Bible and N. Johnson, *Retroreflective material specifications and on-road sign performance*, no. 1801. 2002.
- [60] M. Khrapova, "Determining the influence of factors on retroreflective properties of traffic signs," *Agron. Res.*, vol. 17, pp. 1041–1052, 2019.

- [61] N. L. Johnson, "REFLECTIVE HIGHWAY MATERIALS.," *Stand. News*, vol. 14, no. 11, pp. 40–41, 1986.
- [62] V. Balali, M. A. Sadeghi, and M. Golparvar-Fard, "Image-based retro-reflectivity measurement of traffic signs in day time," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 29, no. 4, pp. 1028–1040, 2015.
- [63] J. J. B. Moerman, "CIE activities in the measurement of retroreflection," *Color Res. & Appl.*, vol. 7, no. 3, pp. 231–234, 1982.
- [64] S. B. Lee, C. G. Lee, and I. K. Hong, "Design of MMA-type thermosetting road markings to improve reflectivity," *Appl. Chem. Eng.*, vol. 26, no. 4, 2015.
- [65] Road Vista, "What is Retroreflection?," 2021. [Online]. Available: <http://www.roadvista.com/retroreflection/>.
- [66] J. F. Paniati, "Retroreflectivity research to enhance driver safety," *TR News*, no. 140, pp. 13–15, 32, 1989.
- [67] 3M, "Visibility & Safety for the Life of the road," p. 99, 2008.
- [68] M. S. Obeidat, M. J. Rys, A. Rys, and J. Du, "Evaluation of overhead guide sign sheeting materials to increase visibility and safety for drivers," *Appl. Ergon.*, vol. 56, pp. 136–143, Sep. 2016.
- [69] E. R. Russell, M. Obeidat, and M. Rys, "Overhead Guide Sign Retroreflectivity and Illumination Report," no. January, p. 128, 2015.
- [70] "ČSN EN 12899-1," *Český Normalizační Institut*. 2003.
- [71] EOTA, "ETA.pdf." p. 16, 2016.
- [72] 3M, "Brighter Signs, Safer Roads .," p. 6, 2015.
- [73] T. safety and 3M, "3M Research Synopsis," p. 3, 2012.
- [74] B. Schoettle and M. Flannagan, *An analysis of Low-Beam and high Beam Headlighting Performance in the US.: 1997 - 2011*. Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute, 2012.
- [75] T. Unhola, "Durability of retro-reflecting materials for road signs." Finnish Transport Agency, Helsinki, p. 27, 2016.

- [76] Kai Sørensen, “Durability test of retro-reflecting materials for road signs at Nordic test sites - Ageing model for the retro-reflectivity after further exposure,” no. April, pp. 1–13, 2011.
- [77] M. Khrapova, L. J. Hrabánek, and D. Marcev, “The degradation rate of retroreflective materials,” in *TAE 2019 - Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019*, 2019, pp. 263–268.
- [78] L. J. Hrabánek, “The combination of retroreflective materials on road signs,” in *TAE 2019 - Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019*, 2019, pp. 177–182.
- [79] W.-Y. Su, Z.-H. Wang, and D. Li, *Durability of traffic signs and retroreflective materials*, vol. 748. 2013.
- [80] J. E. Hummer, E. A. Harris, and W. Rasdorf, “Simulation-based evaluation of traffic sign retroreflectivity maintenance practices,” *J. Transp. Eng.*, vol. 139, no. 6, 2013.
- [81] M. Pigner, “Serigraphs of retroreflective films for traffic signs: Study of the influence of manufacturing parameters on final quality | Sérigraphies de films rétroréfléchissants pour panneaux de signalisation: Étude de l’influence des paramètres de mise en œuvre sur,” *Bull. des Lab. des Ponts Chaussées*, vol. 0, no. 207, pp. 33–43, 1997.
- [82] W. Boggs, K. Heaslip, and C. Louisell, *Analysis of sign damage and failure*, no. 2337. 2013.
- [83] M. Koyuncu and S. Amado, “Effects of stimulus type, duration and location on priming of road signs: Implications for driving,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 11, no. 2, pp. 108–125, 2008.
- [84] M. Khalilikhah, G. Fu, K. Heaslip, and P. Carlson, “Analysis of in-service traffic sign visual condition: Tree-based model for mobile LiDAR and digital photolog data,” *J. Transp. Eng. Part A Syst.*, vol. 144, no. 6, 2018.
- [85] F. E. Amparano and D. A. Morena, “Marking the way to greater safety,” *Public Roads*, vol. 70, no. 1, 2006.

- [86] M. Khalilikhah and K. Heaslip, “International Journal of Transportation Analysis of factors temporarily impacting traffic sign readability,” *Int. J. Transp. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 60–67, 2016.
- [87] E. D. Hildebrand, *Reductions in Traffic Sign Retroreflectivity Caused by Frost and Dew*, no. 1844. 2003.
- [88] D. De Waard, K. Brookhuis, and J. Mesken, “Evaluation of legibility of not properly reflecting signs,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 35, no. 7, pp. 645–651, 2005.
- [89] G. J. Blaauw and P. Padmos, “NIGHTTIME VISIBILITY OF VARIOUS TYPES OF ROAD MARKINGS; A STUDY ON DURABILITY, INCLUDING CONDITIONS OF RAIN, FOG AND DEW.,” in *SAE Preprints*, 1982.
- [90] R. Hutchinson and T. Horberry, “PUBLISHED PROJECT REPORT PPR119 DEW ON TRAFFIC SIGNS - A LITERATURE REVIEW by K Alexander , S Thompson and J Weekley Prepared for : Project Record : Client : Highways Agency Quality Reviewed,” p. 10, 2006.
- [91] M. Khalilikhah and K. Heaslip, “Prediction of traffic sign vandalism that obstructs critical messages to drivers,” *Transport*, vol. 33, no. 2, pp. 399–407, 2018.
- [92] T. K. Nowotny, S. A. Velinsky, T. A. Lasky, and S. P. Donohoe, “Test driven design of a system for removing graffiti from retroreflective signs,” *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, vol. 40, no. 3, pp. 366–379, 2012.
- [93] R. Vicen-Bueno, A. García-González, E. Torijano-Gordo, R. Gil-Pita, and M. Rosa-Zurera, *Traffic sign classification by image preprocessing and neural networks*, vol. 4507 LNCS. 2007.
- [94] T. Evans, K. Heaslip, W. Boggs, D. Hurwitz, and K. Gardiner, *Assessment of sign retroreflectivity compliance for development of a management plan*, no. 2272. 2012.
- [95] H. S. Chadda and E. C. Carter, “SIGN VANDALISM - COSTLY AND DANGEROUS NATIONAL PROBLEM,” *Transp. Res. Rec.*, pp. 15–24, 1983.
- [96] H. L. Woltman, “SIGN MAINTENANCE MANAGEMENT,” *Transp. Res. Rec.*, pp. 24–28, 1984.

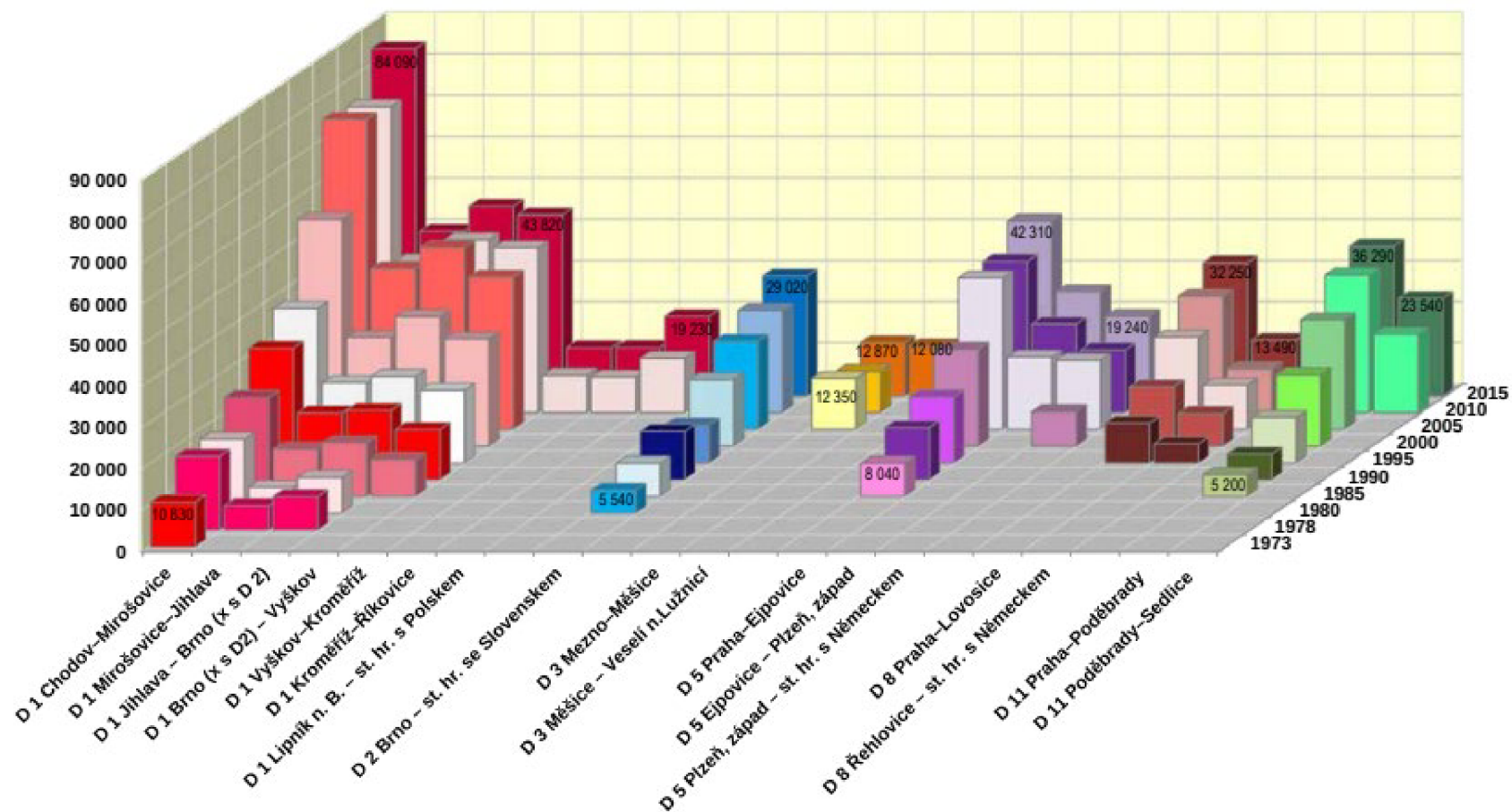
- [97] Silniční vývoj -ZDZ spol. s.r.o, “ROSENÍ DOPRAVNÍCH ZNAČEK,” pp. 1–138, 2019.
- [98] ŘSD, “PPK – POR.” ŘSD, Praha, pp. 1–16, 2014.
- [99] FGSV, *MLV Ausgabe 2011*. Köln: FGSV Verlag, Wesselinger, 2011.
- [100] Ministerio de Fomento, “Boletín oficial del estado,” *BOE*, vol. 3, no. 3 de enero, pp. 584–1096, 2015.
- [101] P. ANELLI, “Externally illuminated signs,” Paris, 2020.

8. SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 VÝVOJ INTENZIT DOPRAVY 1973-2015

PŘÍLOHA 2 KATEGORIZACE DÁLNIC DLE INTENZIT DOPRAVY

Příloha 1 Vývoj intenzit dopravy 1973-2015



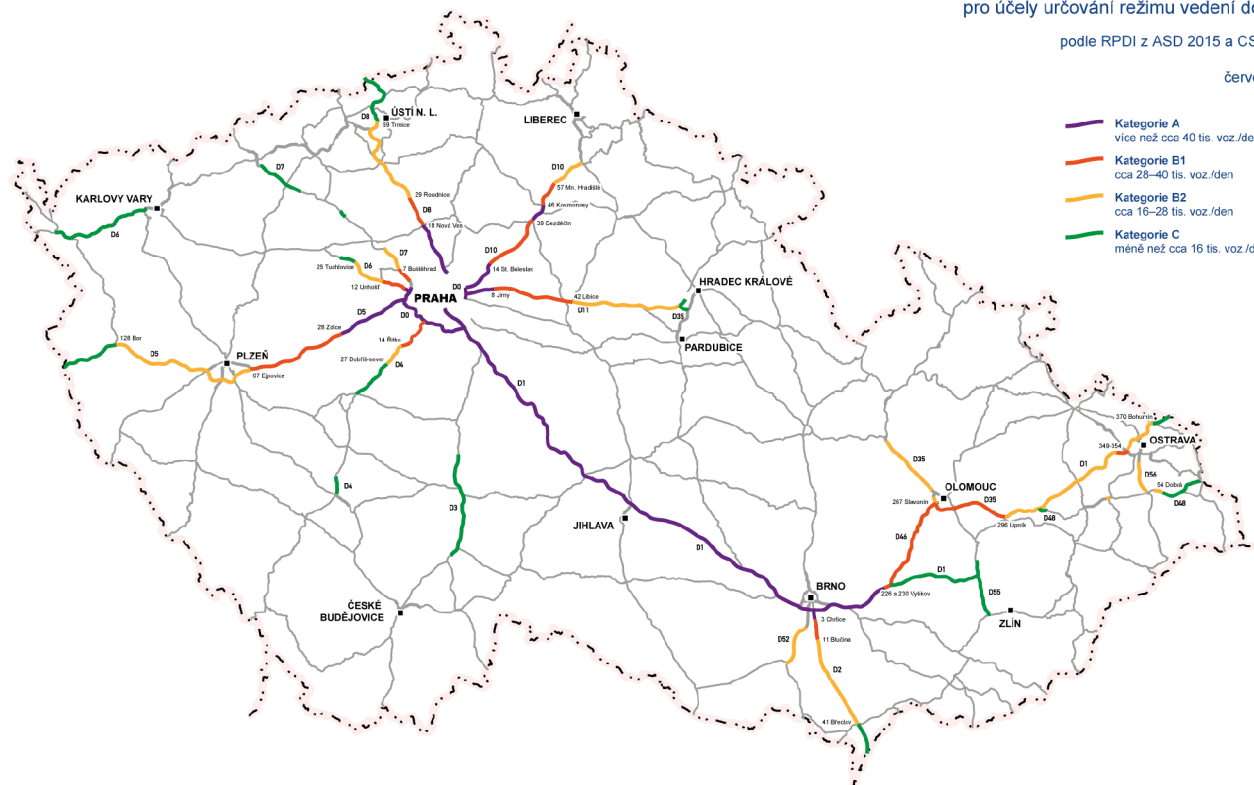
Legenda: [5]

Kategorizace dálničních úseků dle intenzit dopravy

pro účely určování režimu vedení dopravy

podle RPDI z ASD 2015 a CSD 2016

červen 2017



Legenda: [20]

