

Metodika pro stanovení produkce emisí znečišťujících látek ze stavební činnosti

**Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TA ČR č. TA02020245
„Metodika pro stanovení produkce emisí znečišťujících látek ze stavební činnosti“.**

Červen 2015

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	3
1. CÍLE A OBSAH METODIKY	4
2. POSTUP ZPRACOVÁNÍ METODIKY PRO VÝPOČET EMISÍ ZVÍŘENÝCH ČÁSTIC ZE STAVEBNÍ ČINNOSTI	5
2.1. Použité podklady	6
2.2. Mapování stavenišť.....	6
2.3. Provedení měřné imisí na staveništích.....	7
2.4. Použitý postup odvození emisních faktorů	12
3. ODVOZENÍ EMISNÍCH FAKTORŮ	15
3.1. Demolice.....	15
3.2. Výkopové práce	18
3.2.1. Výkopy jemnozrnných zemin.....	18
3.2.2. Nakládka materiálu.....	20
3.2.3. Vykládka materiálu.....	21
3.2.4. Shoz materiálu	22
3.2.5. Souhrn emisních faktorů – výkopové práce	23
3.3. Terénní úpravy.....	24
3.3.1. Buldozerování.....	24
3.3.2. Vyrovnávání povrchu pomocí grejdrů.....	26
3.3.3. Vyrovnávání povrchu pomocí rypadla	26
3.3.4. Zpevňování povrchu frézou a pojivý	28
3.3.5. Zhutňování povrchu vibrační deskou a pěchem	29
3.3.6. Vyrovnávání povrchu pomocí skrejpru	30
3.3.7. Vrtání.....	31
3.3.8. Souhrn emisních faktorů – terénní úpravy.....	32
3.4. Pojezdy vozidel a strojů po komunikacích a plochách stavenišť.....	33
3.4.1. Pojezd po zpevněných plochách.....	33
3.4.2. Pojezd po nezpevněných plochách	34
3.5. Emise z vnášení nečistot na veřejné komunikace	38
3.5.1. Přímý vliv – emise ze staveništní dopravy	38
3.5.2. Nepřímý vliv – nárůst emisí z ostatní dopravy	39
3.6. Určení podílu částic frakce PM _{2,5} v emisích PM ₁₀	40
4. SOUHRN NAVRHOVANÝCH POSTUPŮ PRO URČENÍ EMISÍ.....	41
4.1. Návrh emisních faktorů	41
4.2. Stanovení vstupních hodnot pro emisní výpočty	42
5. SEZNAM POUŽITÉ A SOUVISEJÍCÍ LITERATURY.....	47

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AP42	<i>Compilation of Air Pollutant Emission Factors</i> / Přehled emisních faktorů pro látky znečišťující ovzduší (US EPA)
CalEEM	<i>California Emissions Estimator Model</i> TM
CAPCOA	<i>California Air Pollution Control Officers Association</i> / Kalifornská asociace úřadů pro kontrolu znečištění ovzduší
CEPMEIP	<i>Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program</i> / Evropský program pro sledování emisí prachových částic
ČR	Česká republika
d	výška pádu [m]
D	dráha ujeta vozidlem [km]
E	emise
EEA	<i>European Environment Agency</i> / Evropská agentura pro životní prostředí
EF	emisní faktor
EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme (Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe)</i> / Program monitorování a vyhodnocování dálkového přenosu látek znečišťujících ovzduší v Evropě
EO	okamžitá emise produkovaná daným vozidlem, vyjíždějícím ze stavby [g/vozokm]
EPA (US EPA)	<i>Environmental Protection Agency</i> / Agentura pro ochranu životního prostředí (USA)
M	vlhkost materiálu [%]
MD	Ministerstvo dopravy
MRI	<i>Midwest Research Institute</i> / výzkumný ústav (USA)
NA	<i>Nákladní automobil</i>
NERDDC	<i>National Energy Research and Demonstration Council (AUS)</i>
NPi	<i>National Pollutant Inventory (AUS)</i>
R ²	koeficient determinace
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic ČR
s	podíl jemných částic o velikosti menší než 75 µm v povrchovém materiálu [%]
S	rychlost pohybu stroje, vozidla [km/hod]
SCAQMD	<i>South Coast Air Quality Management District (USA)</i>
sL	množství jemných prachových částic na povrchu komunikace (< 75 µm) [g/m ²]
SPCC	<i>State Pollution Control Commission (AUS)</i>
TSP	<i>Total suspended particles</i> / celkové suspendované částice, popř. celkový prach
U _v	průměrná rychlost větru [m/s]
W	průměrná hmotnost vozidel v tzv. krátkých tunách (tj. 907,2 kg)
W _t	průměrná hmotnost vozidel v metrických tunách [t]

1. CÍLE A OBSAH METODIKY

V České republice existují velmi propracované metodické postupy pro kvantifikaci emisí (emisní faktory) z různých typů zdrojů, pro stavební činnost však zatím emisní faktory vypracovány nebyly, a ani evropské metodiky neobsahují dostatečně přesné postupy pro určení emisí z jednotlivých staveb. Stavební činnost přitom může mít významný podíl na znečištění ovzduší zejména ve velkých městech, v porovnání s jinými zdroji je pro ni také charakteristické, že často probíhá v bezprostředním kontaktu se zástavbou a má tak přímý dopad na okolní obyvatele. Skutečnost, že chybí dostatečně podrobná metodika pro kvantifikaci emisí, zásadně komplikuje proces evaluace zdrojů a omezování znečištění ze staveb ze strany institucí veřejné správy.

Z těchto důvodů v roce 2011 Technologická agentura ČR zadala projekt č. TA02020245 „Metodika pro stanovení produkce emisí znečišťujících látek ze stavební činnosti“. Hlavním cílem projektu je dosáhnout snížení emisí ze stavebních ploch a tím zlepšit kvalitu ovzduší a životní podmínky obyvatel dotčených sídel. Tohoto cíle by mělo být dosaženo promítnutím výstupů projektu do rozhodovací praxe. V rámci projektu byly vytvořeny dva základní výstupy, předkládaná metodika pro stanovení produkce emisí znečišťujících látek ze stavební činnosti je jedním z nich (druhým je soubor opatření ke snížení vlivu stavebních prací na kvalitu ovzduší).

Metodika se zaměřuje zejména na resuspenzi částic (prašnost) v důsledku stavebních operací. Pro metodiku byly vybrány ty stavební práce, které mohou významněji ovlivnit kvalitu ovzduší v okolí staveniště: demoliční práce, terénní úpravy (výkopy, nakládka a vykládka materiálu, vyrovnávání povrchů, zpevňování povrchů, vrtání) a pohyb vozidel a strojů po prostoru staveniště. Jak je patrné, jedná se zejména o procesy probíhající při přípravě stavby nebo v průběhu zemních prací, mohou se však vyskytovat i v dalších fázích stavby. Předložen je též návrh výpočetního postupu pro vyjádření nárůstu emisí na komunikacích v okolí staveniště.

Návrh metodiky vychází z výzkumné zprávy a dalších výstupů, které byly zpracovány v rámci projektu TA02020245, zprostředkovaně pak z certifikovaných či jinak schválených národních metodik, z respektovaných a verifikovaných zahraničních metodologií, které doplňuje o nejnovější poznatky a aktuální výzkumné práce z oboru. Uplatnění metodiky se předpokládá jak ve standardních hodnotících procesech (emisně-imisní studie, hodnocení zdravotních rizik a podobně), tak při přípravě plánů výstavby a při rozhodování příslušných veřejných orgánů a municipalit.

2. POSTUP ZPRACOVÁNÍ METODIKY PRO VÝPOČET EMISÍ ZVÍŘENÝCH ČÁSTIC ZE STAVEBNÍ ČINNOSTI

Zpracování metodiky probíhalo v rámci řešení projektu TA02020245 postupně v několika krocích:

- nejprve byly získány podrobné informace o prašnosti ze stavební činnosti a emisích stavebních strojů a zařízení na základě rešerše a analýzy odborných publikací a studií výpočetních metodik, dílčích odborných studií a zveřejněných výsledků měření.
- dále bylo provedeno zmapování existujících stavenišť v různých městech ČR s cílem vytvořit typizaci stavenišť podle typické stavební činnosti, rozlehlosti, používaného materiálu atd.
- klíčovou částí projektu pak bylo měření koncentrací částic na stavenišťích v průběhu stavebních prací, neboť výsledky obdobných měření se v literatuře vyskytují jen zcela ojediněle. Bylo provedeno celkem 42 měření prašnosti na 32 stavbách, jejichž výstupy byly použity pro odvození navrhované metodiky. Byla provedena pasportizace vybraných stavebních ploch s údaji o rozsahu stavby, použité mechanizaci, rozsahu odkrytých ploch, výkopových pracích atd. a fotodokumentaci lokalit. Terénní práce také přinesly hlubší vhled do procesu tvorby emisí PM_{10} na stavebních plochách a množství praktických poznatků týkajících se vlivů různých faktorů na produkci emisí. Tyto zkušenosti pak byly využity pro zpracování emisních faktorů.
- po naměření typických koncentrací suspendovaných částic frakcí PM_{10} prachoměrem v prostoru vybraných stavenišť a jejich blízkém okolí byly na základě odborné literatury, výsledků stanovených měření a po reálné rekognoskaci procesů na stavenišťích navrženy emisní faktory vybraných činností.
- rozsah stavebních činností je velmi rozsáhlý, proto byly vybrány procesy, které ze zkušenosti mohou významněji ovlivnit bezprostřední okolí staveniště. Jedná se zejména o procesy, které probíhají při přípravě stavby nebo v průběhu zemních prací. Jejich významnější zastoupení však může nastat i v jiných fázích, např. při terénních úpravách v průběhu finalizace stavby. Výčet procesů byl stanoven na základě měření na stavbách, kterému předcházela proces typizace staveb.
- po kritické analýze výsledků měření a modelování došlo k verifikaci či doplnění emisních faktorů na základě výstupů z měření emisních hodnot.

V souhrnu tak metodika obsahuje v emisní oblasti doporučení pro:

- použití emisních faktorů z provozu strojní techniky
- návrh kompletní sady emisních faktorů pro určení emisí ze stavební činnosti v prostoru stavby

2.1. POUŽITÉ PODKLADY

Mezi použité podkladové materiály patří evropské prameny (metodika EMEP/EEA), americké zdroje – metodiky EPA-AP42, materiály organizací Midwest Research Institute (MRI) a South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) a australské materiály National Pollutant Inventory (NPI).

Evropská metodika EMEP/EEA (EEA, 2009) řeší stavební práce z globálního měřítka, neřeší dílčí procesy, ale udává až celkové předpokládané emisní bilance. Jako vhodnější se ukázaly metodiky publikované v USA a v Austrálii. Při sestavení výchozího souboru emisních faktorů bylo přihlíženo zejména k aktuálnosti a podrobnosti jednotlivých metodik. Poslední publikovanou prací je australská metodika NPI (2012), zdrojem pro ní je však u většiny posuzovaných činností americká metodika US EPA-AP42 (US EPA, 2001). Další metodiky vesměs přebírají údaje z těchto podkladů a samy nejsou přímo určeny pro výpočet emisí ze stavebních procesů, přesto lze určité výpočetní postupy za cenu upravených vstupních parametrů použít. Takto byly použity výpočetní postupy publikované SCAQMD (SCAQMD, 2006) a emisní model CalEEMod (CAPCOA, 2011).

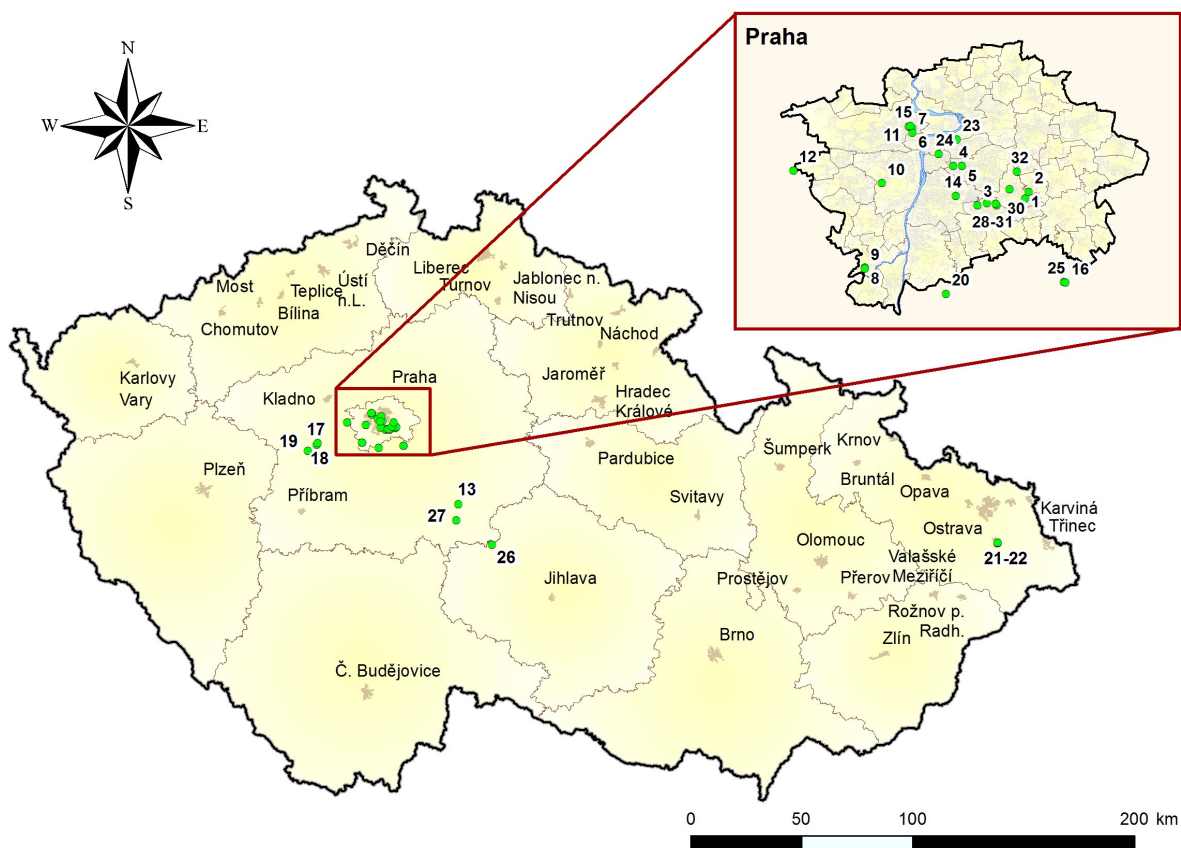
2.2. MAPOVÁNÍ STAVENIŠŤ

Pro účely typizace stavenišť byly vybrány projekty nejvýznamnějších společností provádějících stavební činnost v různých částech ČR. Pro potřeby tohoto vyhodnocení bylo vybráno celkem 25 stavebních společností, přičemž jako kritérium sloužil objem ročního finančního obrátu tak, jak jej firmy uvedly při poslední aktualizaci údajů. Celkem bylo vyhodnoceno 413 projektů, které probíhají v 79 městech a obcích ČR. V průběhu roku 2013 na výzvu pozitivně reagovalo 6 společností, na jejichž stavbách se měření uskutečnila. Měření na dalších stavbách bylo sjednáno přímo na staveništi. V rámci projektu se měření prašnosti provádělo u následujících stavebníků (případně majitelů staveb): VCES a. s., Skanska Facility s. r. o., PRŮMSTAV, a. s., BREX, spol. s r. o., Metrostav a. s., Skanska a. s., KONSTRUKTIVA KONSIT a. s., BILLA, spol. s r. o., ŘSD ČR a další.

2.3. PROVEDENÍ MĚRNEÍ IMISÍ NA STAVENIŠTÍCH

Z provedeného mapování se dále vycházelo při přípravě měření imisních hodnot na stavebních plochách. Při výběru lokalit vhodných pro měření prašnosti byla pozornost soustředěna na stavby většího rozsahu, u nichž bylo možné předpokládat větší objemy emisí prachových částic. Avšak ani lokální stavební práce nebyly opomenuty. Soubor staveb byl dále vybrán tak, aby byly pokud možno rovnoměrně zastoupeny všechny druhy staveb, které jsou v blízkosti obytných sídel nejčastěji realizovány (dopravní, inženýrské, pozemní – obytné, pozemní – občanské, speciální). Měření bylo provedeno také u několika staveb skladových areálů a průmyslových zón. Z provozních důvodů byla většina hodnocených staveb vybrána na území Prahy a v jejím okolí.

Obr. 1. Rozmístění stavebních ploch, na nichž byly měřeny koncentrace PM₁₀ v průběhu stavebních prací



V letech 2013 a 2014 bylo na těchto stavbách provedeno celkem 42 měření prašnosti na 32 stavbách, jejichž výstupy byly použity pro odvození navrhované metodiky. Měření bylo provedeno podstatně více, většinu však bylo nutno vyloučit na základě nevhodnosti provozních parametrů či meteorologických podmínek v místě a v době měření. Podle druhu staveb lze vybraná staveniště rozdělit na:

- 9 dopravních staveb
- 4 inženýrské stavby
- 7 pozemních staveb obytných
- 5 pozemních staveb občanských
- 5 pozemních staveb průmyslových
- 2 speciální stavby

Tab. 1. Seznam stavebních lokalit, na kterých byly měřeny koncentrace PM₁₀

Druh stavby	Typ stavby	Obec	Lokalita
dopravní	parkovací plocha	Praha 11 – Chodov	Hvoždanská
	rekonstrukce komunikace	Praha 6 – Dejvice	Svatovítská
	městský okruh, tunel Blanka	Praha 6 – Dejvice	Milady Horákové
	rekonstrukce dálnice D1 - úsek 5	Psáře	křížení D1 a sil. II/125
	rekonstrukce stropní desky metra	Praha 6 – Dejvice	Evropská
	rekonstrukce mostovky	Frýdek Místek	Hlavní třída
	rekonstrukce dálnice D1 - úsek 9	Píšť	D1 Píšť
	rekonstrukce komunikace	Praha 11 – Chodov	K Horkám
	rekonstrukce komunikace	Praha 15 – Hostivař	Švehlova
inženýrská	rekonstrukce ing. sítí	Praha 10 – Vršovice	Kodaňská
	deponie-skládka	Chýně	Jižně od Chýně
	rekonstrukce inženýrských sítí	Beroun	Plzeňská
	rekonstrukce inženýrských sítí	Praha 10 – Vršovice	Moskevská
pozemní občanská	administrativní budova	Praha 5 – Jinonice	Butovická
	administrativní budova	Praha 6 – Dejvice	Evropská, Gen. Píky
	administrativní budova	Praha 4 – Michle	Jihlavská
	multifunkční centrum	Frýdek Místek	Na Příkopě
	administrativní budova	Praha 8 – Karlín	Pernerova

Druh stavby	Typ stavby	Obec	Lokalita
pozemní obytná	bytové domy	Praha 15 – Horní Měcholupy	U Hostivařského nádraží
	bytové domy	Praha 16 – Radotín	Kolová
	rodinný dům - rekonstrukce	Praha 16 – Radotín	Kolová
	rodinné domy - rekonstrukce	Beroun	Pod Kaplankou
	rodinné domy	Králův Dvůr	Na Vyhlídce
	bytový dům	Praha 2 – Vinohrady	Římská
	bytové domy	Praha 11 – Chodov	Pyšelská
pozemní průmyslová	sklady	Modletice	mezi D1 a sil, II/101
	výroba nádrží	Zdislavice	severní část obce
	výzkumný ústav	Dolní Břežany	Ke Zvoli
	sklady	Modletice	mezi D1 a sil, II/101
	sklady	Praha 15 – Hostivař	Průmyslová
speciální	demolice	Praha 15 – Horní Měcholupy	Sudkova
	demolice	Praha 11 – Háje	Hekrova

Měření byla provedena pomocí prachoměru DustTrak DRX Desktop Aerosol Monitor model 8533 zakoupeného v roce 2012 u firmy ECM ECO MONITORING spol. s r. o. Přístroj sleduje hmotnostní koncentrace aerosolových částic v rozmezí 0,001 – 150 mg/m³ v reálném čase. Zařízení bylo nakalibrováno výrobcem. Pro použití prachoměru v místních podmínkách bylo nastavení přístroje upraveno podle porovnávacích měření provedených v blízkosti stanic imisního monitoringu. Měření byla prováděna v co největší blízkosti příslušného zdroje emisí a prachoměr byl vždy umístěn ve výšce 0,8 m nad povrchem. Mezi další pracovní měřidla a pracovní pomůcky používané v průběhu měření patří digitální anemometr miskový typu WINDMASTER 2, digitální teploměr, vlhkoměr a tlakoměr typu GFTB 100, stativ a laserový dálkoměr PD 42.

Na každém stanovišti byly vždy do protokolu zaznamenávány údaje o stavbě a jednotlivých procesech. Měření prašnosti na staveništích byla prováděna v cyklech podle jednotlivých stavebních procesů – např. nakládka, broušení, válcování, zhutňování, zpevňování zeminy a další. Také byl hodnocen pojezd vozidel po staveništních komunikacích (zpevněných i nezpevněných). Délka měření u jednoho cyklu byla stanovena počátkem procesu a ukončena v době, kdy při vizuálním odečtu imisního zatížení na prachoměru koncentrace klesla k požadovým hodnotám (po výchylice způsobené monitorovanou činností). V některých případech bylo

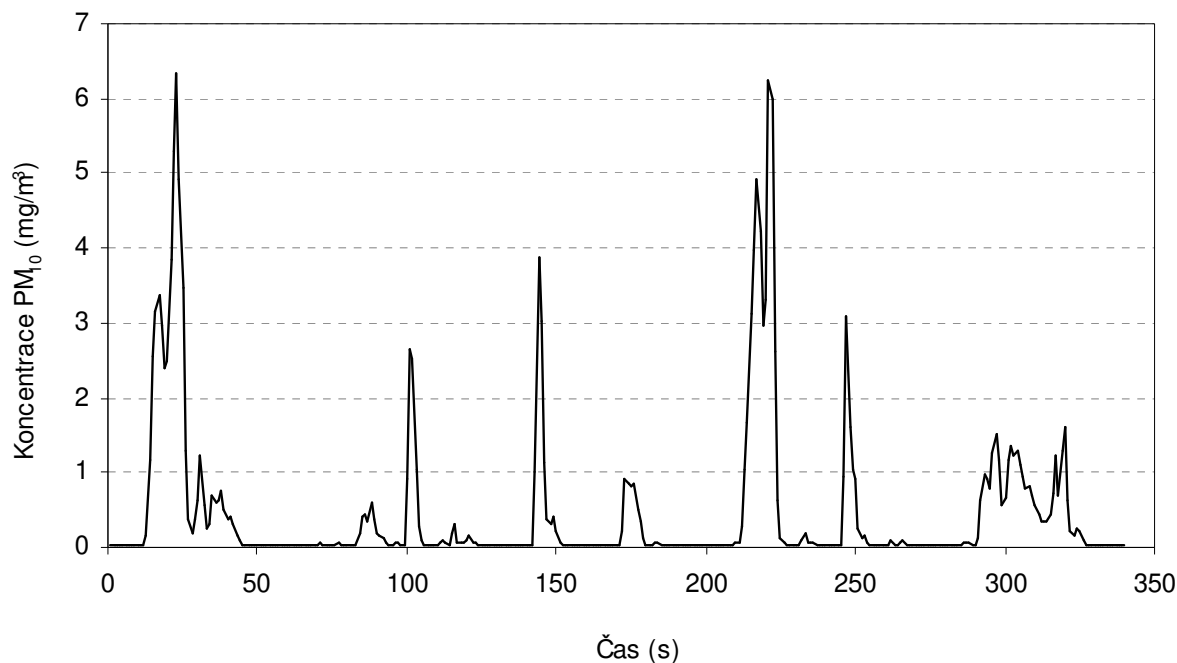
vzorkováno několik těchto cyklů bez přerušení měření. Hmotnostní koncentrace částic frakce PM₁₀ byly zaznamenávány v intervalech po jedné vteřině.

Pro každý soubor měření na jedné lokalitě byl zpracován samostatný měřicí protokol. Každý protokol obsahuje druh, typ a rozsah stavby, umístění stavby (výškově i geograficky), rozsah odkrytých. Dále byly pro jednotlivé dny měření doplněny meteorologické podmínky (počasí, teplota, tlak a relativní vlhkost). Součástí protokolu je také krátký komentář k měření. Na obecný popis stavby navazuje soupis jednotlivých procesů, které na staveništi v průběhu vzorkování probíhaly, seznam jednotlivých prvků strojní techniky, množství, typ a vlastnosti transportovaného materiálu (hmotnost, vlhkost) a také typ a vlastnosti pojízdné či podkladové plochy. Dále bylo protokolováno datum zkoušky a délka vzorkování.

Obr. 2. Pojezd nákladního vozidla po zpevněné komunikaci (prachoměr je umístěn v popředí)



Obr. 3. Ukázka měření hmotnostních koncentrací částic frakce PM₁₀ – buldozerování



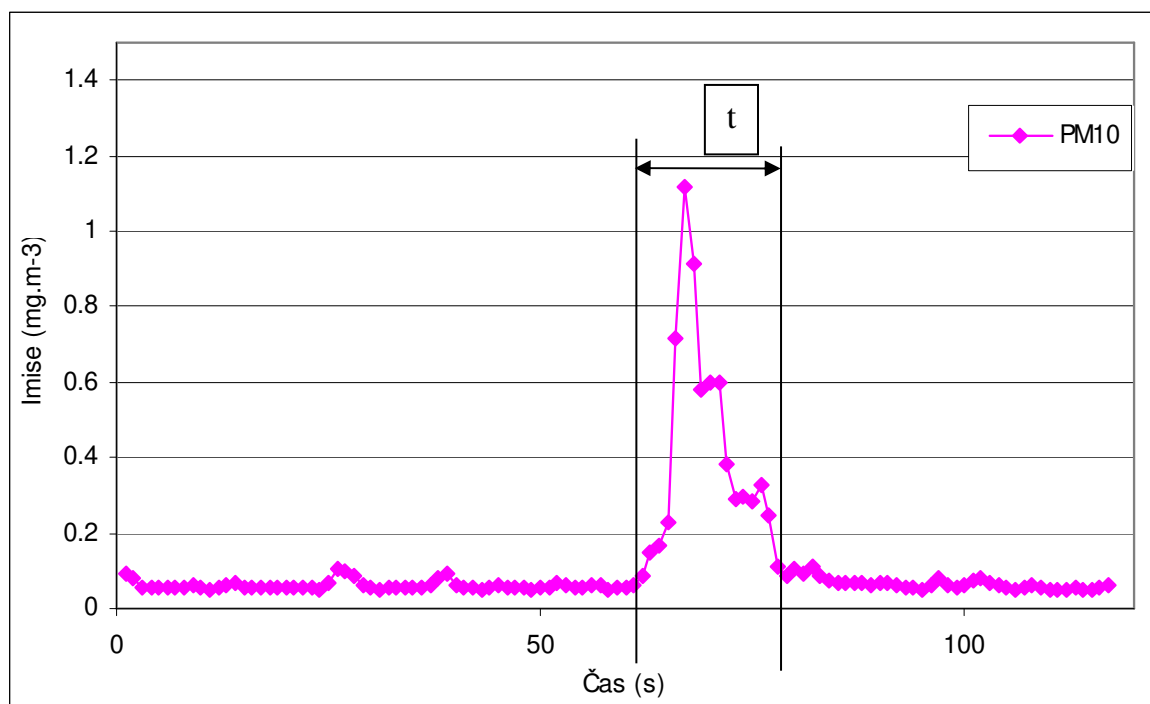
Protokol dále obsahuje vzdálenost prachoměru od měřeného procesu, počet cyklů, tedy počet opakování jedné typické činnosti charakteristické pro daný stavební proces (např. při nakládce nákladního vozidla se uvádí počet náběrů lžící rypadla), rychlost větru a fotodokumentaci. Ve zprávě č. TA02020245 je vloženo kompletních 42 protokolů měření, která popisují zejména vzorkování, která byla použita pro určení emisních faktorů. Na vstupní parametry navazují výsledky měření.

2.4. POUŽITÝ POSTUP ODVOZENÍ EMISNÍCH FAKTORŮ

Jednotlivé emisní hodnoty byly stanoveny na základě kritické analýzy dat získaných rešerší ve vztahu k výsledkům měření. Postup jejich stanovení byl následující:

- nejprve byla na základě emisních faktorů z literatury určena imisní koncentrace odpovídající situaci v místě prováděného měření. Do modelových výpočtů byly jednotlivé činnosti zadány podle svého charakteru, jako liniové zdroje byly uvažovány tyto činnosti: skrývka půdy – pojezd skrejpru, buldozerování, a pojezd vozidel, a to po zpevněné i nezpevněné ploše. Jako plošné zdroje byly v modelových výpočtech zohledněny činnosti probíhající na vymezené ploše: demolice, výkopové práce, nakládka, shoz, vykládka, atd.
- pro jednotlivé procesy byl určen emisní tok v $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$, který byl vložen do imisního modelu. Pomocí modelového výpočtu byla následně určena imisní koncentrace v místě konkrétního prováděného měření, která byla s výsledky měření v terénu porovnána. Pro imisní výpočet byl použit model ATEM, který je ve vyhlášce č. 330/2012 Sb. uveden jako jedna z referenčních metod pro stanovení rozptylu znečišťujících látek v ovzduší. Jedná se o gaussovský disperzní model rozptylu znečištění, který imisní situaci hodnotí na základě podrobných klimatologických a meteorologických údajů. Je založen na stacionárním řešení rovnice difúze pasivní příměsi v atmosféře. Model umožňuje výpočet znečištění ovzduší plynnými látkami a prachovými částicemi od bodových, liniových a plošných zdrojů znečištění ovzduší. Do modelových výpočtů byly jednotlivé činnosti zadány podle svého charakteru, jako liniové zdroje byly uvažovány tyto činnosti: skrývka půdy – pojezd skrejpru, buldozerování, a pojezd vozidel, a to po zpevněné i nezpevněné ploše. Jako plošné zdroje byly v modelových výpočtech zohledněny činnosti probíhající na vymezené ploše: demolice, výkopové práce, nakládka, shoz, vykládka, atd.
- vypočtená hodnota byla následně konfrontována s výsledky získanými měřeními. Porovnávány jsou maximální hodinové koncentrace vypočtené modelem a nejvyšší průměrné koncentrace zaznamenané v průběhu měření za situace příznivého proudění od zdroje emisí k prachoměru po dobu jednoho cyklu (tj. např. průjezd automobilu, jedna nakládka rypadlem, apod.). Způsob odvození ukazuje graf na následujícím obrázku.

Obr. 4. Odvození imisní koncentrace pro porovnání s výsledky modelových výpočtů



- V případě, že porovnání měřených a vypočtených hodnot vykazovalo dobrou shodu (s přihlédnutím k množství faktorů ovlivňujících situaci v místě měření), byl výpočetní vztah z literatury přejat bez úprav. Příkladem je nakládka materiálu, kde výsledky měření v zásadě potvrdily výpočetní, používaný AP-42 (US EPA, 2001) i NPi (2012).
- Nejvyšší imisní koncentrace v průběhu měření byla stanovena jako průměrná hodnota imisní zátěže po dobu cyklu za dobu t . Pokud bylo v průběhu měření změřeno více cyklů s vyššími příspěvky, byla výsledná imise stanovena zprůměrováním všech cyklů, při kterých byly zaznamenány příznivé povětrnostní podmínky (tj. směr větru od zdroje k prachoměru). Z průměrných hodnot měření byla stanovena výsledná imise. Dále byl na základě vstupních parametrů stanoven imisní příspěvek výpočtem. V posledním kroku došlo k porovnání obou hodnot.

Výsledky porovnání jsou ovlivněny řadou vstupních parametrů, které není možné jedním emisním faktorem postihnout. Jedná se zejména o:

- **meteorologické podmínky** (rychlost a směr proudění větru v době měření)
- **vlastnosti materiálu** (podíl jednotlivých frakcí prachových částic při vzorkování, vlhkost materiálů)

- **povrch pojižděných ploch** (materiál, typ vozidel a pneumatik, rychlost, struktura povrchu, množství volného prachu, atd.)
- **objemy transportovaných látek** (naplnění lžice, lopaty při nakládce nebo při rozprostírání zeminy)
- **zručnost obsluhy stroje** (výška shozu na korbu NA, rychlost pohybu lžice nebo lopaty při styku s podkladem, plynulost pohybu ramena rypadla, atd.)
- **bezpečnost práce na staveništi v době měření** (nemožnost volby ideálního staveniště) atd.

Vzhledem k výše uvedeným tvrzením bylo jen několik faktorů stanoveno konstantou, většina emisních faktorů je popsána výpočtovou rovnicí, která v sobě zohledňuje proměnné, které mohou výslednou emisní koncentraci významně ovlivnit.

Rozsah stavebních činností je velmi rozsáhlý, proto byly vybrány procesy, které ze zkušenosti mohou významněji ovlivnit bezprostřední okolí staveniště. Jedná se zejména o procesy, které probíhají při přípravě stavby nebo v průběhu zemních prací. Jejich významnější zastoupení však může nastat i v jiných fázích, např. při terénních úpravách v průběhu finalizace stavby. Seznam hodnocených činností ukazuje tabulka 2. Tučně jsou zvýrazněny procesy, jejichž platnost nebo odvození bylo ověřeno měřeními v terénu. U ostatních procesů byly emisní faktory stanoveny na základě dostupných rešerší.

Tab. 2. Seznam posuzovaných stavebních činností

Stavební činnosti		Skupina
Rozrušování povrchu a konstrukcí	Rozrušování pomocí hydraulických nůžek	Demolice
	Rozrušování pomocí sbíjecího kladiva	
Frézování, broušení		
Výkopy jemnozrnných zemin	vlhkost do 12 %	Výkopové práce
	vlhkost nad 12 %	
Nakládka materiálu, Vykládka materiálu, Shoz materiálu		
Vyrovnávání povrchu pomocí grejdrů, Vrty, Zhutňování povrchu vibrační deskou a pčhem Vyrovnávání povrchu pomocí rypadla, Zpevňování povrchu frézou a pojivy, Buldozerování		Terénní úpravy
Vyrovnávání povrchu pomocí skrejpru	Pojezd skrejpru	
	Nakládání/vykládání skrejpru	
Pojezd po zpevněné cestě, Pojezd po nezpevněné cestě		Pojezd vozidla

Tučně jsou zvýrazněny procesy, jejichž platnost nebo odvození bylo ověřeno měřeními v terénu.

3. ODVOZENÍ EMISNÍCH FAKTORŮ

3.1. DEMOLICE

Pro demolice stávajících objektů nebo povrchů není k dispozici speciální emisní faktor (EF), pouze evropská metodika EMEP/EEA (EEA, 2009) uvádí souhrnný EF pro výstavbu a demolici. Přestože tento EF není pro demolici dostatečně reprezentativní (je uvedena jedna hodnota pro výstavbu i demolici), jedná se o jedinou hodnotu, která je pro demolici objektů k dispozici. EF je udáván v jednotkách kg uvolněných emisí PM₁₀ vztažených na m² podlažní plochy demolovaného objektu a rok výstavby. Hodnota EF byla převedena pro výpočet emisí v denním kroku, výsledkem je hodnota emisí PM₁₀ ve výši 0,00022 kg/m²/den. EMEP/EEA neuvádí, zda v sobě emisní faktor zohledňuje opatření pro redukci prašnosti.

Druhým zdrojem je studie vypracovaná americkým Midwest Research Institute pro organizaci US EPA – „*Gap Filling PM10 Emission Factors for Selected Open Area Dust Sources*“ z roku 1988 (US EPA, 1988). Emise pro demolice byly odvozeny na základě třech postupných procesů, které byly vypočteny podle vzorců metodiky AP-42 (US EPA, 2001). Není uvedeno, zda jsou ve výpočtu zohledněna opatření pro redukci prašnosti, vzhledem k uvažované vlhkosti materiálu však lze určitá opatření očekávat. Výsledná emise byla stanovena ve výši 0,056 kg/m² pro PM₁₀. Při porovnání výsledků je patrné, že se jedná o značně rozdílné hodnoty.

Při odvození byl proto kladen důraz na hodnoty naměřené v průběhu vzorkování na staveništích. Demoliční práce byly rozčleněny na dva dílčí procesy: rozrušování povrchu a konstrukcí, frézování a broušení.

Pro rozrušování konstrukcí jsou zpravidla jako násada na rameno rypadla použity hydraulické nůžky případně sbíjecí pneumtické kladivo. Pro frézování a broušení jsou na stavbách používány převážně ruční frézy a brusky.

Emisní faktory pro jednotlivé procesy byly navrženy následovně.

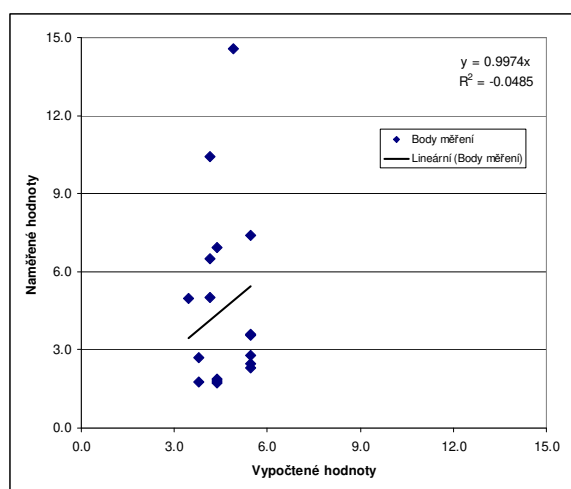
Tab. 3. Navrhované emisní faktory pro PM₁₀ – demolice

Demolice		Emisní faktor	Jednotka
Rozrušování povrchu a konstrukcí	Rozrušování pomocí hydraulických nůžek	2,52	kg.h ⁻¹ pracovní doby
	Rozrušování pomocí sbíjecího kladiva	0,56	
Frézování, broušení		3,6	

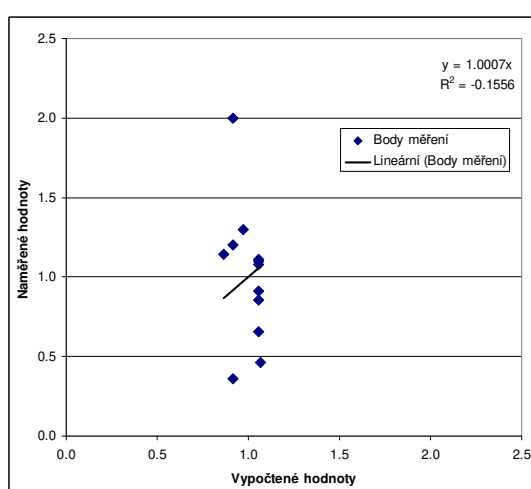
Grafy znázorňují rozptyl provedených měření, které zastupují výsledky pro příhodné podmínky (vítr směřoval od zdroje k prachoměru) a současně byl zaznamenán celý jeden pracovní cyklus stroje. Z řady měření byla odvozena střední charakteristická hodnota, která v rámci měřeného souboru charakterizuje daný proces. Porovnání vypočtených a naměřených imisních hodnot uvádějí následující obrázky.

Obr. 5. Grafy vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro procesy skupiny „Demolice“ [mg.m⁻³]

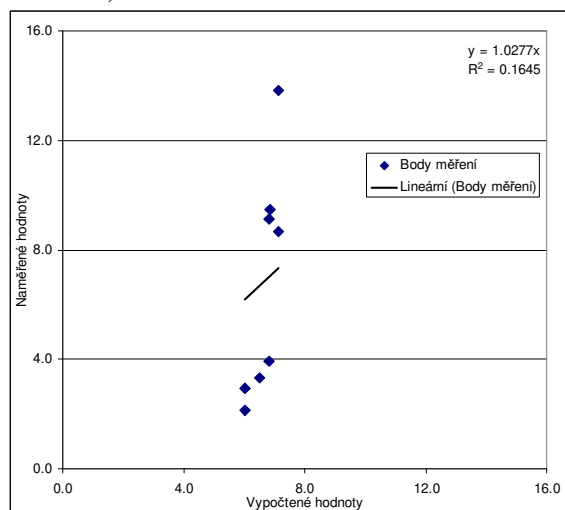
Rozrušování pomocí hydraulických nůžek



Rozrušování pomocí sbíjecího kladiva



Frézování, broušení



Jak je patrné, oproti rešeršním hodnotám nabývají emisní faktory odvozené z měření vyšších hodnot.

Odvozené emisní faktory byly vztaženy přímo na čas nasazení stroje při dané činnosti. Nezáleží na výkonu stroje (zda rozruší 1 nebo 10 m³ materiálu) ale na délce trvání procesu. Např. hydraulické nůžky mohou rozrušit a přenést 5 m³ suti, ale stejně tak mohou za stejný čas rozrušovat větší či menší blok zdi, a to za stejné prašnosti, ale při nulovém objemovém výkonu překládky (zed' je demolována a v dalším kroku bude teprve rozrušena a přeložena).

Je však nutné si uvědomit, že emisní faktory jsou stanoveny pro vlastní pracovní činnost, která představuje vždy zlomek ze skutečné hodinové pracovní doby (významnější doby prostojů nastávají zejména při frézování a broušení). Při výpočtu emisní zátěže pro konkrétní stavbu musí být tento podíl respektován. Pro rozrušování povrchu a konstrukcí platí doba nasazení přibližně 50 % v rámci jedné hodiny, u řezání se doba nasazení pohybuje v řádu 10 – 20 minut za hodinu.

Důležitá je také skutečnost, že odvozené faktory v sobě nezahrnují protiprašná opatření (vlhčení, clony po obvodu stavby, atd.), které by emitované příspěvky významně redukovaly. Je nutné si uvědomit, že emisní příspěvky z demoličních prací mohou bez dodatečných protiprašných opatření dosahovat značných hodnot a je nutné jim věnovat zvýšenou pozornost.

3.2. VÝKOPOVÉ PRÁCE

Souhrnný emisní faktor pro výkopové práce jako takové není v žádné metodice stanoven, jsou však definovány jednotlivé procesy, pro které lze emisní faktory navrhnout.

3.2.1. Výkopy jemnozrných zemin

Jedná se o výkopy na rostlém terénu, výkopy rýh či jam, případně překládky v rámci stavební jámy. Z dostupných pramenů uvádí metodika AP-42 (US EPA, 2001) EF pro nakládání pomocí hydraulické lžice ve výši 0,018 TSP kg/t materiálu (při uvažovaném podílu 47 % TSP/PM₁₀) (US EPA, 1998), tedy 0,008 PM₁₀ kg/t materiálu, přičemž se jedná o hodnotu odvozenou z nakládání nadložní horniny v povrchovém dole. Studie MRI (Muleski, 2005) uvádí taktéž EF pro nakládání materiálu, a to hodnotu 0,06 PM₁₀ kg/t materiálu, přičemž obsah jemných částic v půdě pro tento EF je uvažován 8,9 – 11,4 %. NPi (2012) uvádí ve svých materiálech základní hodnotu ve výši 0,012 PM₁₀ kg/t materiálu; studie uvádí jako zdroj práce „NERDCC and SPCC“, jedná se o měření a studie pro těžební činnost z 80. let.

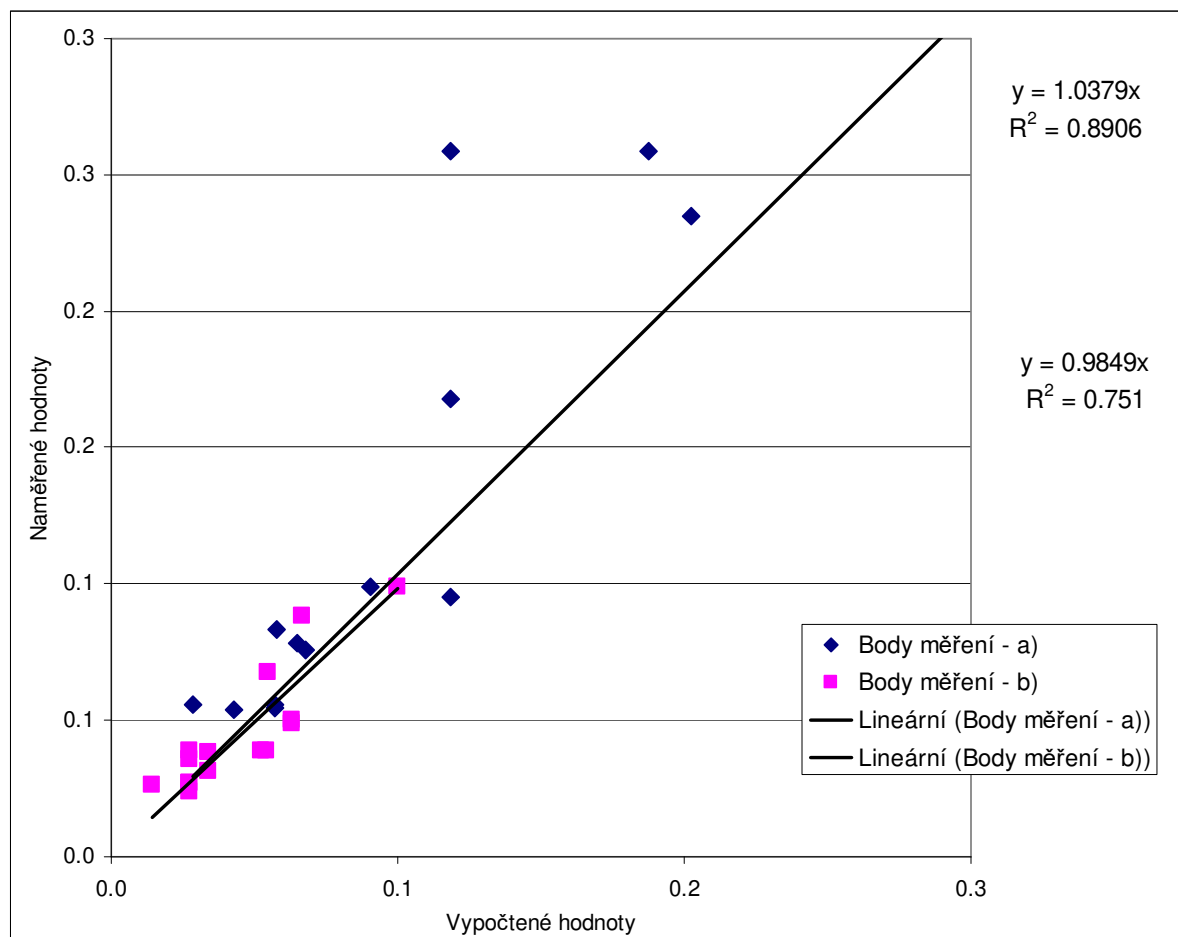
Při porovnání s výsledky měření na stavbách se však uvedené hodnoty zdají být značně nadsazené, což může být dáno skutečností, že jde vesměs o EF odvozené pro práce v povrchových dolech. Ze zkušeností vyplývá, že svrchní rostlý terén je i při teplém počasí poměrně vlhký a jeho vlhkost se s rostoucí hloubkou dále zvyšuje. To má za následek snížení úletu prachových částic při práci s výkopkem a nakládce na nákladní automobily. K určitému úniku emisí dochází např. při chybném pracovním postupu, např. pokud lopata rypadla narazí do boční korby nákladního vozidla. Odpadlý materiál na volném povrchu rychle vysychá a může se stát významným zdrojem prašnosti pro okolí. Pro vlastní nakládku jemnozrných zemin lze na základě měření doporučit spíše emisní faktory, které NPi, potažmo AP-42 uvádí pro nakládku do úložišť či vlaků, pro které platí emisní faktory řádově nižší než u výše zmíněných procesů.

Emisní faktory byly odvozeny na základě provedených měření a stanoveny pro dvě kategorie. Pro nakládku jemnozrných zemin pomocí rypadla na korbu nákladního vozidla a pro překládky zeminy platí emisní limit 0,2 PM₁₀ g na 1 tunu přeloženého materiálu. Se zahloubením pod hranu terénu a zvyšující se vlhkostí byly odvozeny hodnoty ještě nižší. Pro výkopy a při překládkách s vlhkostí materiálu vyšší než 12 % byl stanoven emisní limit 0,04 PM₁₀ g na tunu přeloženého materiálu.

Dvojice vypočtených/naměřených hodnot při použití výše uvedených emisních faktorů ukazuje graf na obrázku 6. V grafu jsou samostatně uvedeny hodnoty pro

výkop zeminy s vlhkostí do 12 % a nad 12 %, což je členění, které bylo následně použito pro návrh emisních faktorů.

Obr. 6. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Výkopy jemnozrnných zemin“ [mg.m⁻³]



- a) výkop zeminy s vlhkostí do 12 %
- b) výkop zeminy vlhčí než 12 %

3.2.2. Nakládka materiálu

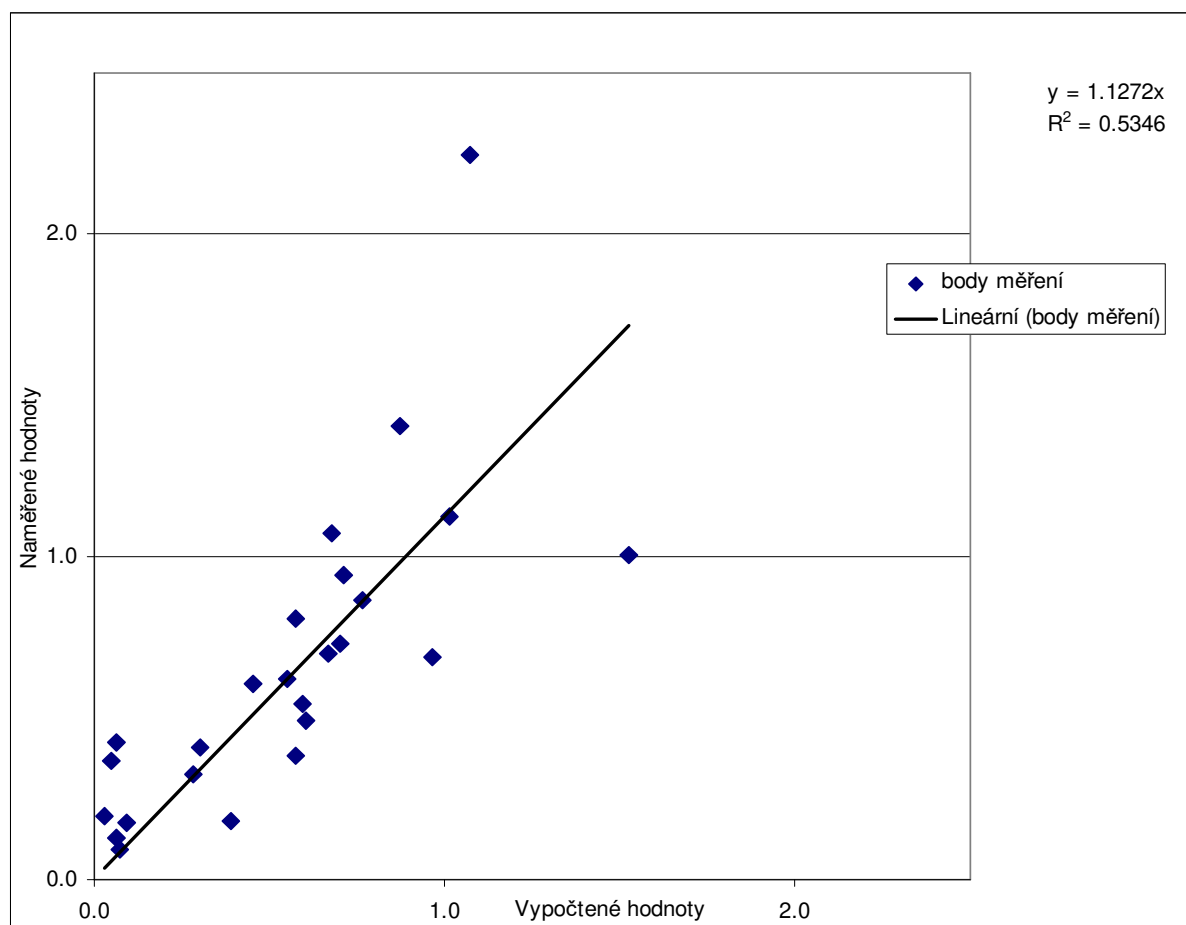
Výše uvedená situace platí pro výkopy jemnozrnných zemin na rostlém terénu a při výkopu rýh či jam, případně překládky v rámci stavební jámy. V případě, že se jedná o zeminu s příměsí, lze podle provedených měření přímo použít standardní metodický postup AP-42 a NPi pro určení emisí z nakládání se sypkými hmotami:

$$E_{PM10} [\text{kg/t naloženého materiálu}] = 0,35 \times (0,0016) \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$$

kde U_v je průměrná rychlost větru v m/s a M je vlhkost materiálu v %.

Daný vzorec byl přejat bez úprav, neboť při dosazení parametrů z konkrétních podmínek na staveništi byly naměřeny v porovnání s výpočtem následující hodnoty.

Obr. 7. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM_{10} pro proces „Nakládka materiálu“
 [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]



3.2.3. Vykládka materiálu

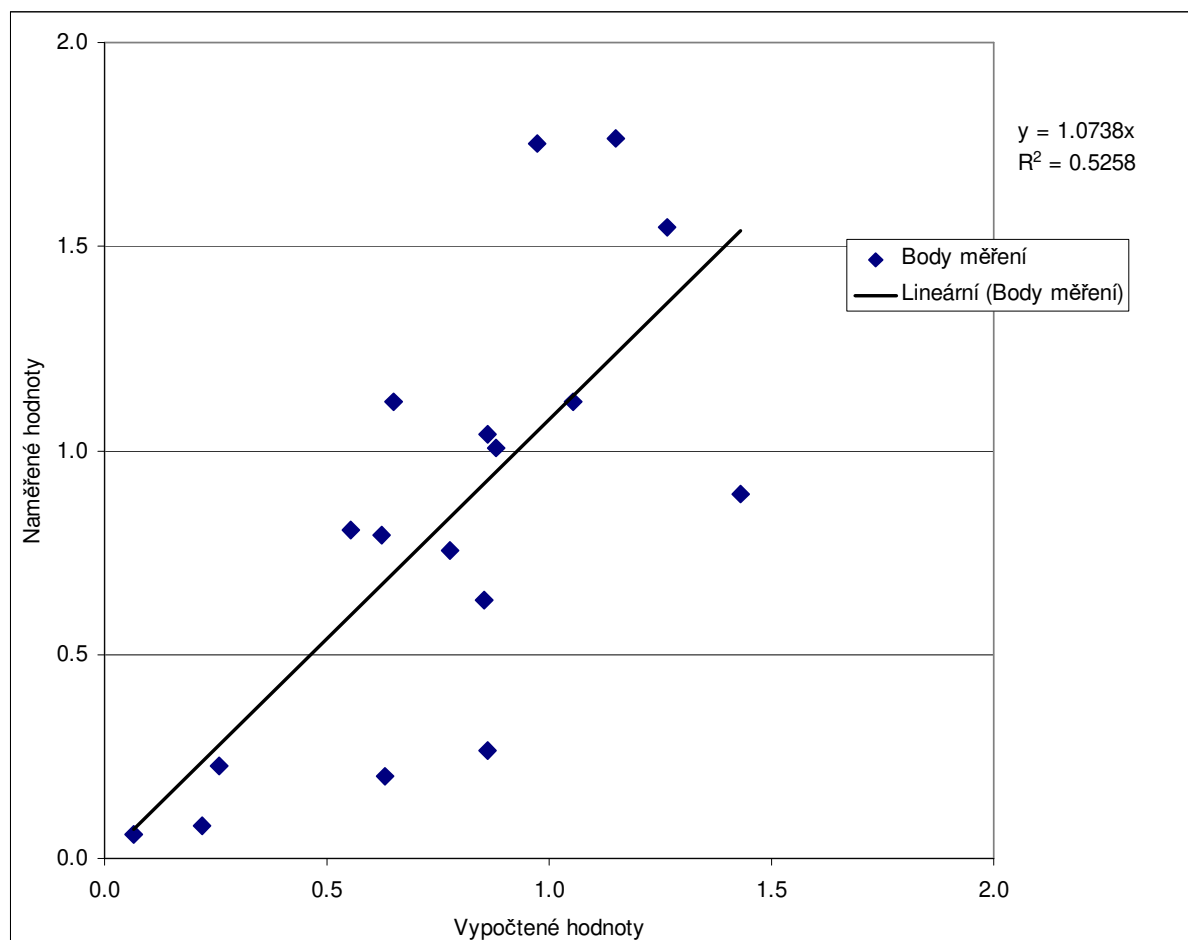
Analogicky také studie AP-42 a MRI uvádějí pro vykládku konkrétní emisní faktory. AP-42 udává emisní faktor 0,5 PM₁₀ g/t vyloženého materiálu, Muleski (2005) uvádí EF o hodnotě 0,3 PM₁₀ g/t materiálu. NPi poté uvádí emisní faktor 0,15 PM₁₀ g/t materiálu.

Při zadání konstantní hodnoty do matematického modelu nebyla nalezena výrazná závislost mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami, proto byl pro výpočet emisí opět použit vzorec

$$E_{PM10} [\text{kg/t vyloženého materiálu}] = 0,35 \times (0,0016) \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4},$$

kde U_v je průměrná rychlost větru v m/s a M je vlhkost materiálu v %. Pro tento vztah lze prezentovat následující výsledky.

Obr. 8. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Vykládka materiálu“ [mg.m⁻³]



Rovněž v tomto případě je patrná dobrá shoda mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami, proto byl emisní faktor pro výpočet emisí z nákladky materiálu převzat v plném rozsahu.

3.2.4. Shoz materiálu

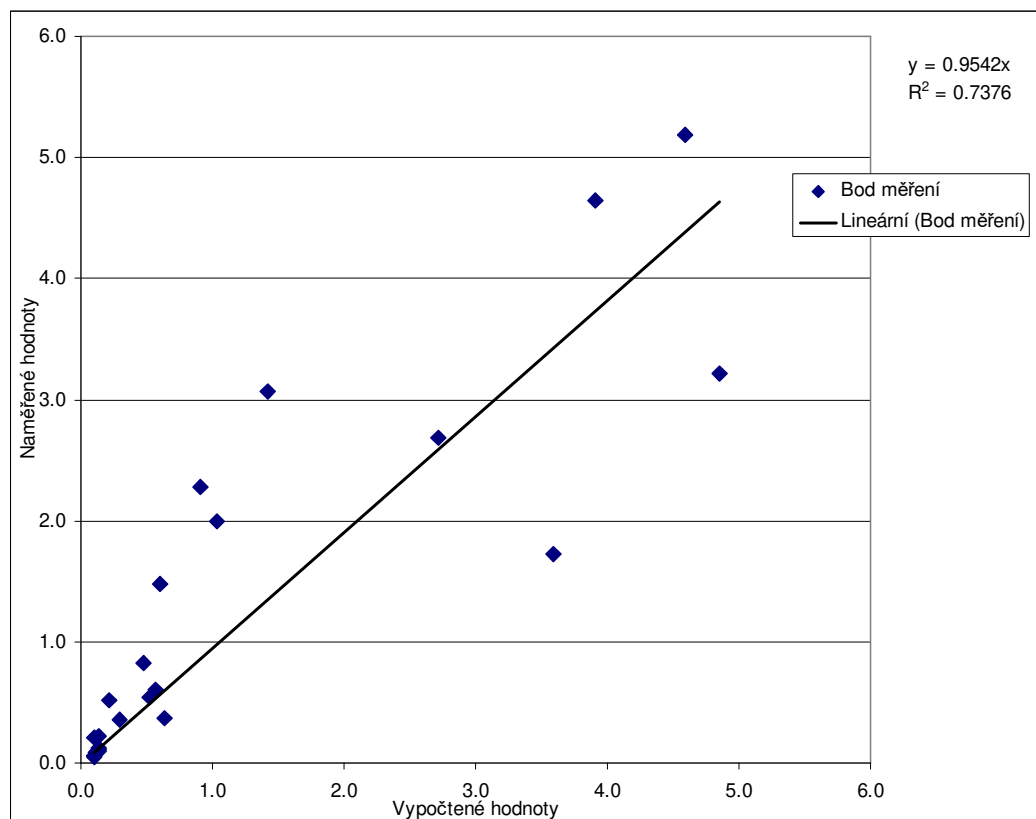
Emisní faktor pro shoz materiálu z lopaty nebo lžice nakladače lze odvodit z emisního faktoru pro používání hydraulického bagru (AP-42 a NPi):

$$E_{PM10} [\text{kg/m}^3 \text{ materiálu}] = (0,0029 \times (d)^{0.7}/(M)^{0.3}) \times 0,75,$$

kde d je výška pádu v metrech, M je vlhkost materiálu.

Při dosazení hodnot d a M typických pro staveništní provoz se hodnota EF pohybuje v intervalu $0,002 - 0,006 \text{ kg/m}^3$. Při zadání konkrétních parametrů do výchozí rovnice pro stanovení emisní bilance lze zaznamenat korelaci mezi vstupními naměřenými a vypočtenými hodnotami. Porovnání ukazuje obr. 9.

Obr. 9. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM_{10} pro proces „Shoz materiálu“ $[\text{mg.m}^{-3}]$



3.2.5. Souhrn emisních faktorů – výkopové práce

Souhrn emisních faktorů pro výkopové práce ukazuje tabulka 4.

Tab. 4. Navrhované emisní faktory pro PM₁₀ – výkopové práce

Výkopové práce		Emisní faktor	Jednotka
Výkopy jemnozrnných zemin	vlhkost do 12 %	0,2	g/t přeloženého materiálu
	vlhkost vyšší než 12 %	0,04	
Nakládka materiálu		$0,35 \times (0,0016) \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$	kg/t materiálu
Vykládka materiálu			
Shoz materiálu		$0,0029 \times (d)^{0,7}/(M)^{0,3}$	kg/m ³ materiálu

3.3. TERÉNNÍ ÚPRAVY

Při terénních úpravách je zemina rozprostírána (např. pomocí rypadla, buldozeru, skrejpru), následně je vyrovnávána pomocí grejdrů a následuje hutnění, které je u velkých ploch zpravidla zajišťováno vibračním válcem. U menších ploch se využívají vibrační pěchy nebo desky. Při stavbách velkoplošných hal dochází zpravidla také ke zpevňování povrchu, a to pomocí frézy.

Emisní příspěvky z terénních úprav se liší podle nasazení strojní techniky. Mezi procesy s minimem emitovaných prachových částic patří např. zhutňování vibračním válcem nebo některé z procesů pro vyrovnávání povrchu, např. pomocí grejdrů nebo rypadla. Vyšší příspěvky lze zaznamenat při hutnění nezpevněných ploch pomocí vibračního pěchu nebo desky, případně vyrovnávání povrchů skrejprem či buldozerem.

Významné emise prachových částic byly zjištěny také při zpevňování povrchů. Proces se skládá ze dvou složek. Na podklad se rozprostře pojivo (cement, popílek a další příměsi), které je zemní frézou zapracováváno do zemního podkladu. Při míchání obou složek dochází k značnému úniku prachových částic do okolí, a to především při vyšších rychlostech větru.

3.3.1. Buldozerování

Vyrovnávání povrchu pomocí buldozeru je v metodice AP-42 i NPi shodně počítáno podle následujícího vzorce:

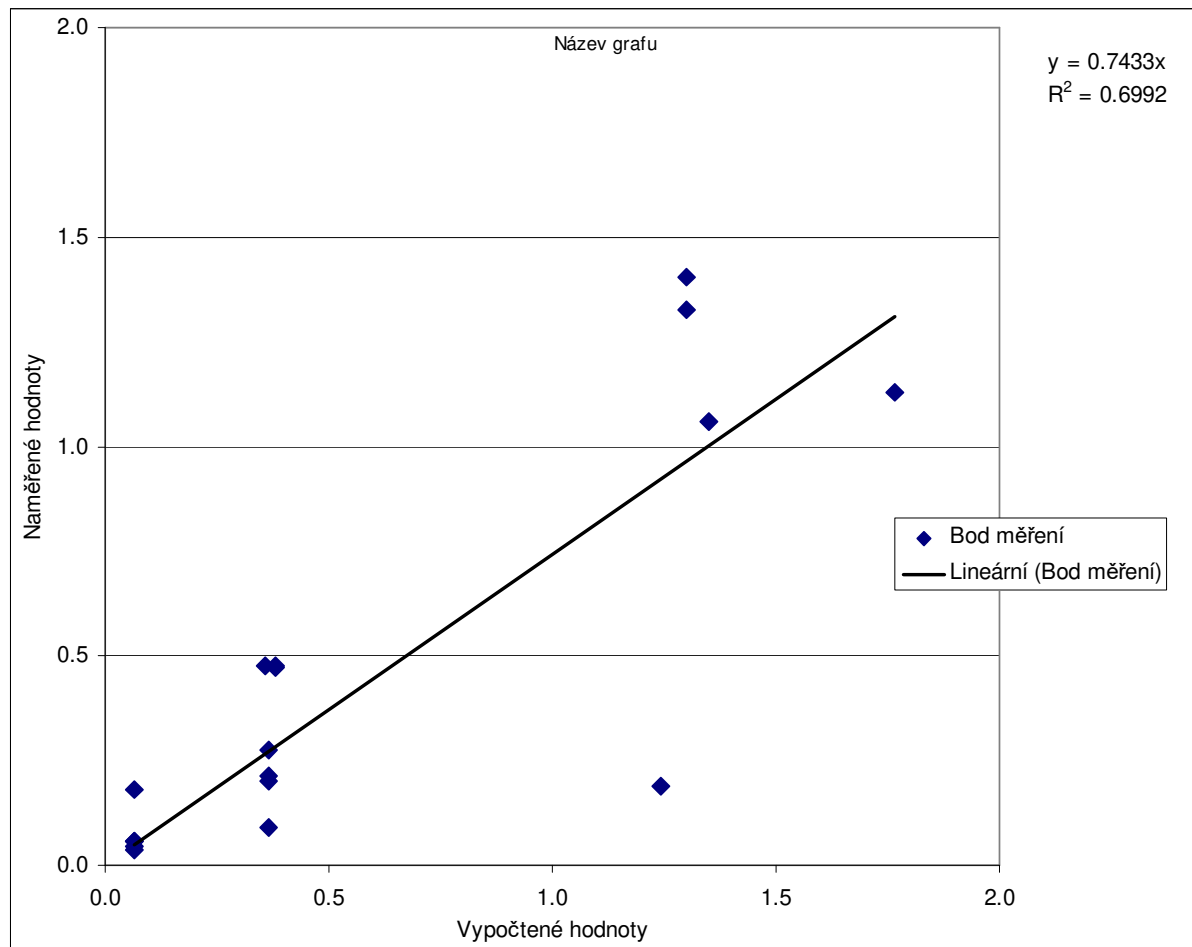
$$E_{PM10} [\text{kg/hod}] = (0,45 \times (s)^{1,5} / (M)^{1,4}) \times 0,75,$$

kde s je obsah jemných částic ($< 75 \mu\text{m}$) v %, M je vlhkost materiálu.

Produkce emisí na konkrétních lokalitách se značně liší podle zadaných parametrů s a M . Např. AP-42 udává při vyrovnávání skrývky uhelného dolu typické hodnoty pro vlhkost ve výši 7,9 % a pro podíl jemných částic 6,9 %, tomu odpovídá emise 0,34 kg za hodinu, naproti tomu australská NPi udává obecný emisní faktor pro buldozerování ve výši 4,1 kg/hodinu. Z provedených analýz pak vyplývá, že pro dosažení potřebné přesnosti výpočtu je zapotřebí pokud možno uvažovat vstupní údaje specifické pro danou lokalitu.

Porovnání měřených sond a emisních hodnot vypočtených při zadání konkrétních podmínek na jednotlivých staveništích ukazuje následující obrázek.

Obr. 10. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „buldozerování“ [mg.m⁻³]



3.3.2. Vyrovnávání povrchu pomocí grejdrů

Emisní faktory pro proces vyrovnávání povrchu (při skrývce) pomocí grejdrů je popsán opět jak v metodice AP-42, tak v materiálu NPi. Jedná se o vztah:

$$E_{PM10} = [\text{kg/vozokm}] 0,00336 \times (S)^2, \text{ kde } S \text{ je rychlost pohybu stroje v km/hod.}$$

AP-42 udává střední rychlost pojezdu grejdrů ve výši 11,4 km/hod, tím je stanovena základní emise ve výši 0,44 PM₁₀ kg/vozokm. V materiálu NPi je jako základní emisní faktor uvedena hodnota 0,085 PM₁₀ kg/vozokm vypočtená při rychlosti 5 km/h. Protože lze předpokládat, že pojezdová rychlost grejdrů bude ve většině případů obdobná, byla jako emisní faktor použita konstantní hodnota. Pro porovnání emisí z výpočtu s hodnotami měření nemá zpracovatel k dispozici dostatek relevantních dat, při měření v terénu však byla rychlost grejdrů zjištěna, ta u stroje nepřekročila 5 km/h. Pro určení emisního faktoru byla proto převzata hodnota materiálu NPi, který udává emisní faktor 0,085 PM₁₀ kg/vozokm pojezdu stroje.

3.3.3. Vyrovnávání povrchu pomocí rypadla

Jedná se o proces s nízkými emisními příspěvky, stroj pouze urovnává terén ve svém bezprostředním okolí. V zásadě se tedy jedná o činnost odpovídající vykládce materiálu, pro niž AP-42 a NPi uvádějí emisní faktor ve tvaru:

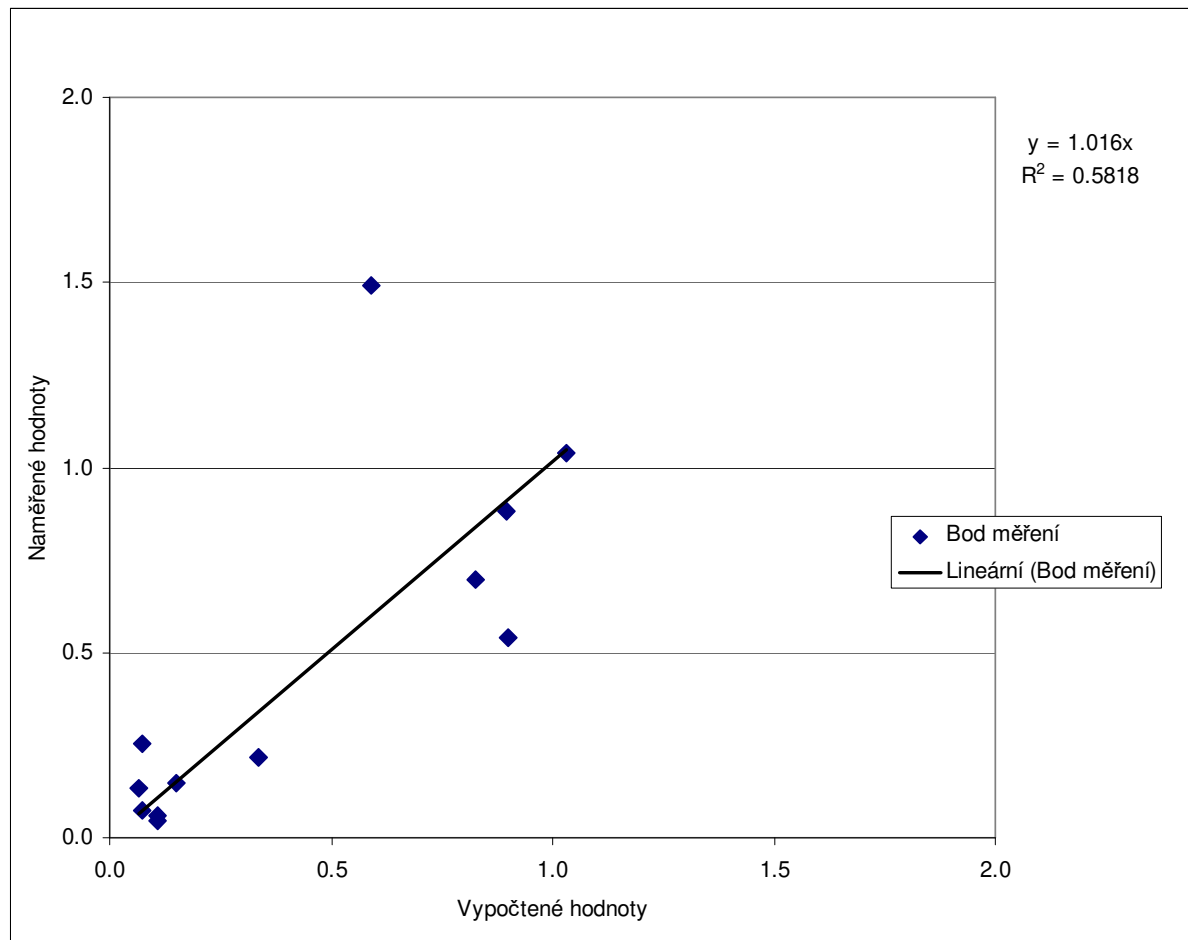
$$E_{PM10} [\text{kg/t materiálu}] = 0,35 \times (0,0016) \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$$

kde U_v je průměrná rychlost větru v m/s a M je vlhkost materiálu v %.

Při dosazování do rovnice byly jednotlivé parametry nahrazeny jednou konstantou. Navrhovaný vztah pro výpočet emisí byl odvozen ve tvaru $E_{PM10} = 0,00395$ kg/t transportovaného materiálu. Dle provedených šetření nelze při výpočtu uvažovat překládku zeminy v objemu plné lžice, většinou byla v průběhu sledovaných cyklů při vyrovnávání použita jen dílčí část obsahu lopaty nebo lžice rypadla (lžice byla plná od 5 do 50 % z celkového objemu). Při výpočtu je nutno brát na tuto skutečnost zřetel.

Porovnání naměřených a vypočtených hodnot uvádí následující obrázek.

Obr. 11. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Vyrovňávání povrchu pomocí rypadla“ [mg.m⁻³]

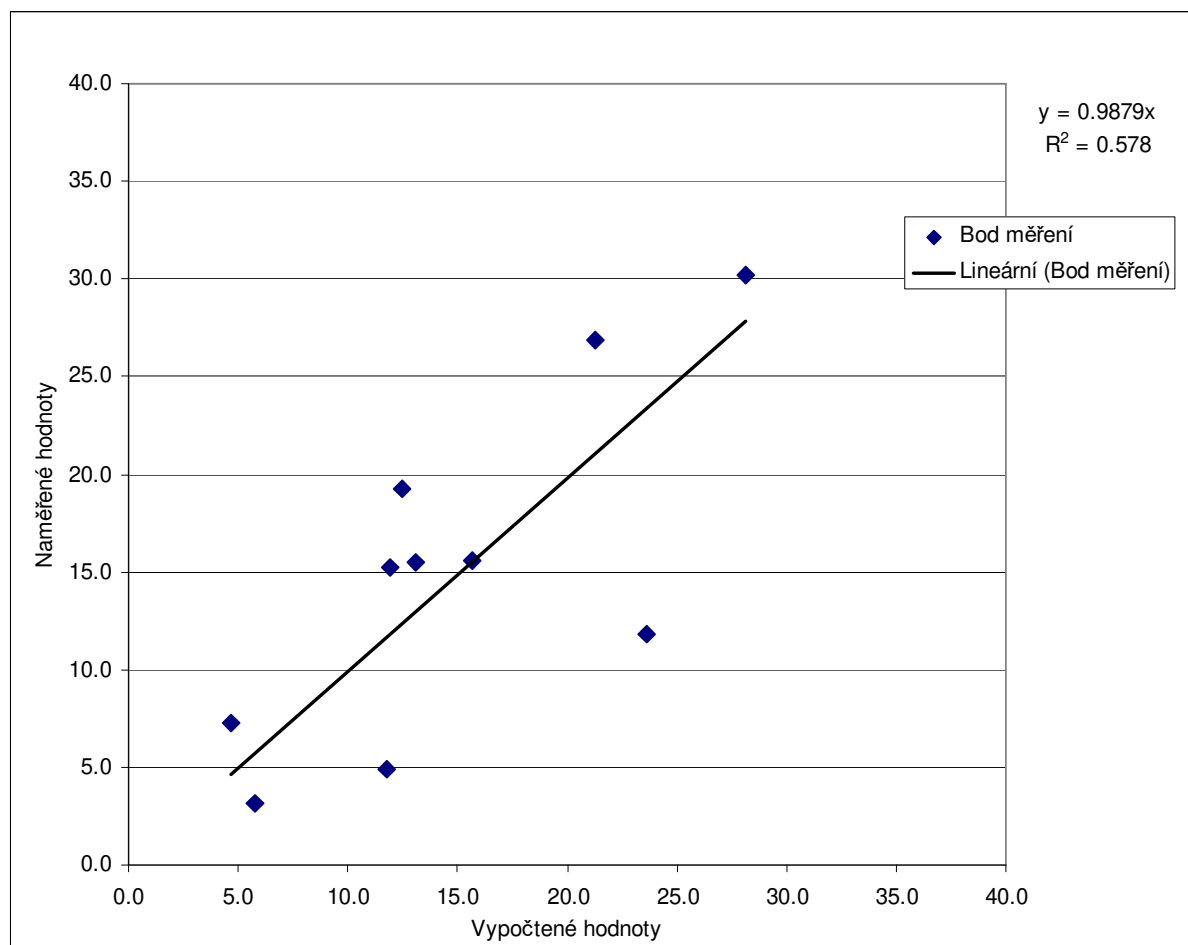


3.3.4. Zpevňování povrchu frézou a pojivy

Pro tento proces nejsou v dostupných materiálech vhodné podklady, proto bylo stanovení emisního faktoru provedeno na základě uskutečněných měření v terénu. V průběhu testování byla největší shoda mezi měřenými a vypočtenými hodnotami nalezena při použití rovnice ve tvaru E_{PM10} [kg/vozokilometr] = $(U_v/2,2)^{1,3}$.

Protože popílek s cementem je vždy silně vysušený, nebyl v původní rovnici pro manipulaci s materiálem (ve tvaru $E_{PM10} = 0,35 \times (0,0016) \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$) zohledněn vliv vlhkosti. Předpokládá se, že podklad bude bez opatření vždy suchý. Rozhodujícím prvkem je tak druhý člen obecného vzorce pro manipulaci s materiálem, a to rychlost větru v lokalitě. Konstanty byly upraveny dle výsledků měření. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot ukazuje níže uvedený graf.

Obr. 12. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Zpevňování povrchu frézou a pojivy“ [mg.m⁻³]

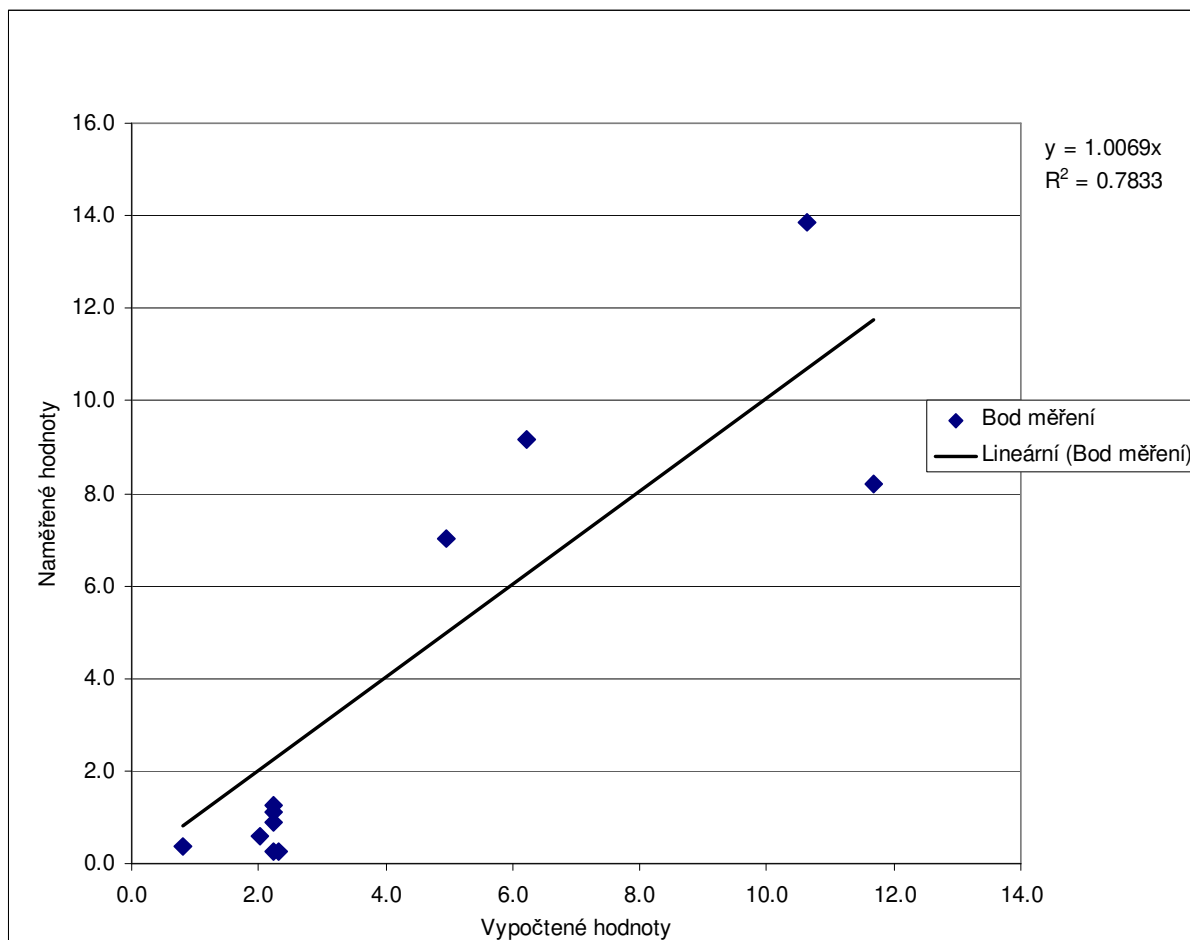


3.3.5. Zhutňování povrchu vibrační deskou a pěchem

Pro hutnění podkladu nejsou v žádné ze známých metodik a ani ve studii MRI emisní faktory uvedeny. Odvození emisního faktoru bylo provedeno na základě dat získaných v průběhu měření na staveništích. Z pozorování vyplynula závislost emisních příspěvků jak na vlhkosti podkladu, tak na podílu jemných částic (rozdílné příspěvky při zhutňování šterku a hlíny).

Testováním byla největší shoda mezi měřením a výpočtem nalezena při použití rovnice ve tvaru $E_{PM10} [kg/hod] = 0,34 \times (s)^{1,5} / M^{1,4}$ (rovnice pro buldozerování) násobené odvozeným koeficientem o hodnotě 0,3. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot ukazuje níže uvedený graf.

Obr. 13. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM_{10} pro proces „Zhutňování povrchu vibrační deskou a pěchem“ [$mg \cdot m^{-3}$]



Zhutňování povrchu vibračním válcem nebylo blíže řešeno. Z pozorování je patrné, že pojíždění povrchu válcem (šterkového lože nebo jemnozrné zeminy) negeneruje významné emisní příspěvky.

3.3.6. Vyrovnávání povrchu pomocí skrejpru

Skrývka půdy na velkých plochách je prováděna pomocí skrejpru. Činnost lze rozdělit na pojezd stroje a přesun půdy skrejprem (nakládání a vykládání).

Emisní faktor pro pojezd skrejpru uvádí metodika AP-42 (US EPA, 2001), jsou zmíněny v dokumentu NPi 2012, dále je uvádí studie MRI (Muleski, 2005) a studie „Gap Filling PM10 Emission Factors for Selected Open Area Dust Sources“ (US EPA, 1988).

Ve materiálech AP-42 a NPi je použití skrejprů detailně vyhodnoceno pouze při snímání uhlí. Při skrývce svrchní vrstvy jsou ve studii definovány pouze orientační hodnoty s nízkou vypovídací hodnotou, při stanovení emisních charakteristik na tyto hodnoty proto nebyl brán zřetel. Požadované nakládání se zeminou řeší detailně studie (Muleski, 2005) a (US EPA, 1988), hodnoty proto byly převzaty z těchto studií.

a) Pojezd skrejpru

Ve studii MRI (Muleski, 2005) jsou uvedeny hodnoty pro pojezd skrejpru 1,5 – 4,2 PM₁₀ kg/km, přičemž vyšší hodnota platí pro skrejpr naložený, nižší pak pro skrejpr prázdný. Pro formulaci vhodného EF byl zohledněn reálný provoz skrejpru, tj. skrejpr cestuje nejprve prázdný a během pojezdu se postupně naplňuje (přibližně rovnoměrně lineárně), přičemž se předpokládá, že se skrejpr naplní zcela. Vzhledem k lineární závislosti emisního faktoru na naložení skrejpru lze uvažovat průměrnou hodnotu EF. Hodnota pro pojezd skrejpru (od začátku pojezdu prázdného skrejpru do jeho plného naložení) je 2,8 kg/vozokm.

Ve studii „Gap Filling PM10 Emission Factors for Selected Open Area Dust Sources“ (US EPA, 1988) jsou uvedeny výsledky ze dvou provedených měření. Pro fázi skrývky byly hodnoty TSP zaznamenány ve výši 21,3 a 20,7 kg/vozokm, respektive v průměru 21 kg/vozokm. Na základě průměrného emisního poměru PM₁₀/TSP z těchto dvou měření ve výši 0,27, byl následně vypočten průměrný emisní faktor PM₁₀ pro skrývku zeminy (pomocí skrejpru): $E_{PM10} = 5,7$ kg/vozokm.

Navržený emisní faktor byl zvolen ve výši $E_{PM10} = 2,8$ kg/vozokm na základě výsledků studie MRI, která je aktuálnější, obsahuje větší soubor naměřených dat a má podrobnější metodiku stanovení emisního faktoru než druhá zmiňovaná studie.

b) Nakládání/vykládání skrejpru

Studie MRI (Muleski, 2005) uvádí hodnoty pro vykládání a nakládání skrejpru, přičemž rozlišuje, zda se jedná o skrejpr s elevátorem nebo bez elevátoru. Metodiky EMEP/EEA (EEA, 2009) a AP-42 (US EPA, 2001) se k nakládání/vykládání skrejpru při režimu snímání nadloží nevyjadřují. Při určení emisního faktoru je možné uvažovat studii MRI, tj. hodnotu $1,0 \text{ PM}_{10} \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$ pro nakládání skrejpru bez elevátoru a hodnotu $2,8 \text{ PM}_{10} \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$ pro nakládku skrejpru s elevátorem.

Muleski (2005) uvádí také emisní faktor pro vykládání skrejpru. Faktor je stanoven pro postupné vykládání probíhající při pojezdu, při němž je zemina zároveň rozprostírána po ploše. Studie rozlišuje, zda se jedná o rozprostírání skrejprem s elevátorem ($1,3 \text{ PM}_{10} \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$) nebo skrejprem bez elevátoru ($0,77 \text{ PM}_{10} \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$), tedy $0,0013$ a $0,00077 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Pro zjednodušení a praktické využití byly emisní faktory z nakládky/vykládky sloučeny do jednoho průměrného emisního faktoru pro PM_{10} ($1,5 \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$), tedy $0,0015 \text{ kg}/\text{m}^3$.

3.3.7. Vrtání

Emisní faktor pro vrtání je popsán opět jak v metodice AP-42, tak v materiálu NPi. V obou případech je stanovena jednotná emise pro vrtání jednoho zemního otvoru. AP-42 udává hodnotu $0,59 \text{ TSP kg}/\text{vrt}$. Naproti tomu v materiálu NPi je stanoven emisní faktor ve výši $0,31 \text{ PM}_{10} \text{ kg}/\text{vrt}$. Z dostupných údajů byla převzata hodnota z novější metodiky NPi a pro vrtné práce byl stanoven emisní faktor $0,31 \text{ PM}_{10} \text{ kg}$ na 1 vrt.

V blízkosti vrtné soupravy proběhlo také měření prašnosti. Zaznamenané krátkodobé hodnoty byly v několika případech tak vysoké, že překročily stupnici měření přístroje a ovlivnily jeho provozní režim. Vzorkování bylo proto v blízkosti vrtné soupravy přerušeno a navrhovaný emisní faktor byl převzat z materiálu NPi.

3.3.8. Souhrn emisních faktorů – terénní úpravy

Souhrn emisních faktorů pro terénní uvádí ukazuje tabulka 5.

Tab. 5. Navrhované emisní faktory pro PM₁₀ – terénní úpravy

Výkopové práce	Emisní faktor	Jednotka
Buldozerování	$0,34 \times (s)^{1,5} / M^{1,4}$	kg/hod/stroj
Vyrovnávání povrchu pomocí grejdru	0,085	kg/vozokm
Vyrovnávání povrchu pomocí rypadla	0,00395	kg/t transportovaného materiálu
Zpevňování povrchu frézou a pojivy	$(U_v/2,2)^{1,3}$	kg/vozokm
Zhutňování povrchu vibrační deskou a pčhem	$0,3 \times 0,34 (s)^{1,5} / M^{1,4}$	kg/hod/stroj
Vyrovnávání povrchu pomocí skrejpru	Pojezd skrejpru	2,8
	Nakládání/vykládání skrejpru	0,0015
Vrty	0,31	kg/vrt

3.4. POJEZDY VOZIDEL A STROJŮ PO KOMUNIKACÍCH A PLOCHÁCH STAVENIŠTĚ

3.4.1. Pojezd po zpevněných plochách

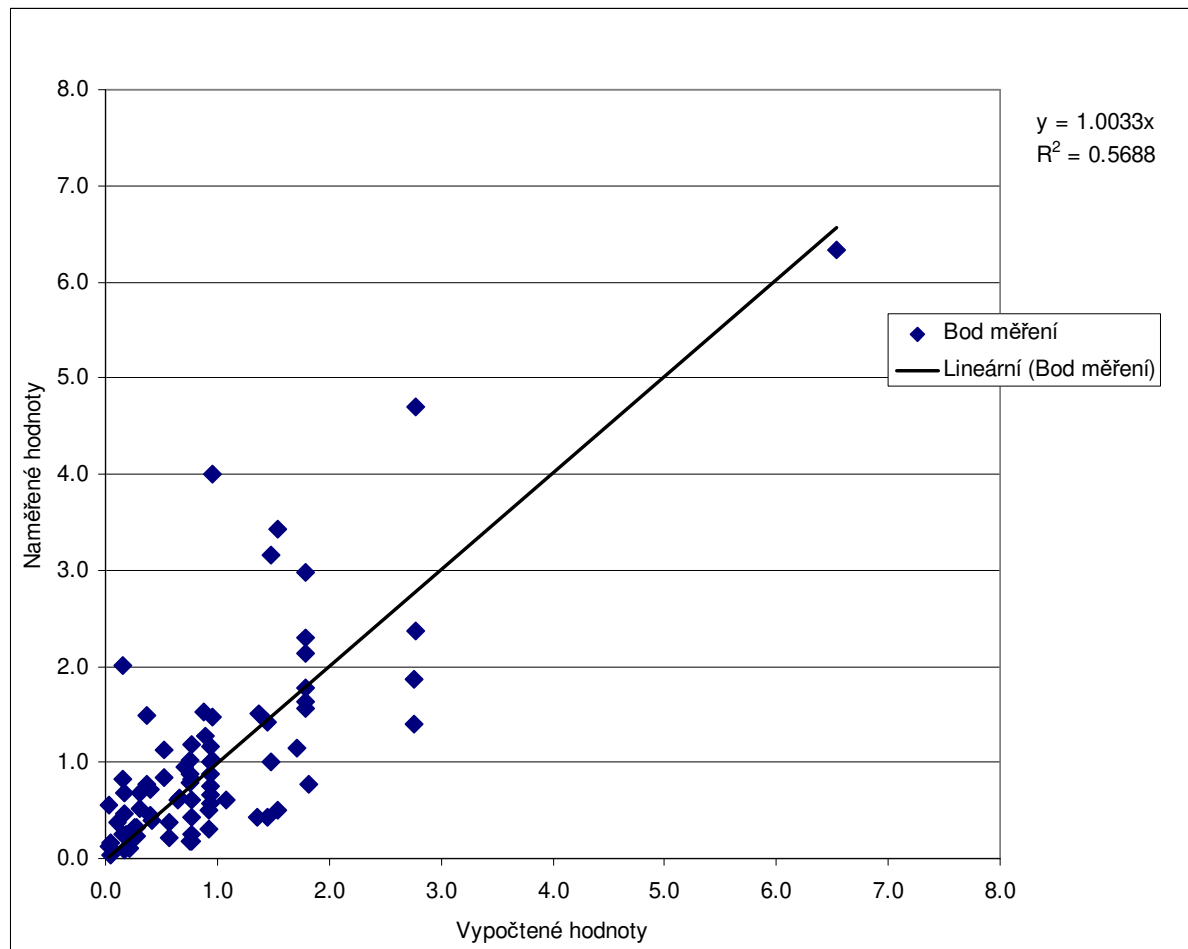
Množství emisí z resuspenze způsobené pojezdem strojů a nákladních vozů po staveništi je možné určit standardním výpočetním postupem dle metodiky EPA AP-42 (US EPA, 2001). Pro emise částic zvršených z povrchu zpevněných komunikací pohybem vozidel stanoví metodika AP-42 (US EPA, 2011) následující výpočetní vztah:

$$E_{PM10} [\text{g/vozokm}] = 0,62 \times sL^{0,91} \times W^{1,02},$$

kde sL je množství jemných prachových částic ($< 75 \mu\text{m}$) na povrchu komunikace v g/m^2 a W je průměrná hmotnost vozidel, vyjádřená v tzv. krátkých tunách. Jedna krátká tuna je 907,2 kg, při výpočtu v metrických tunách je tedy hodnoty ještě násobit koeficientem 1,1023.

Z provedených měření vyplynulo, že prašnost z pohybu vozidel výrazně roste s množstvím prachu na komunikaci, což odpovídá výpočetní metodice. Velmi silně zaprášené zpevněné komunikace pak mohou získat až charakter nezpevněných ploch. To platí zejména ve vyšších rychlostech, kde se naměřená prašnost podél komunikací začíná na rozdíl od modelových hodnot výrazně zvyšovat. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot ukazuje níže uvedený graf.

Obr. 14. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Pojezd po zpevněných plochách“ [mg.m⁻³]



3.4.2. Pojezd po nezpevněných plochách

Rovněž pro emise z resuspenze způsobené pojezdem strojů a nákladních vozů po nezpevněných plochách a komunikacích se standardně používá výpočet dle metodiky AP-42 (US EPA, 2006a):

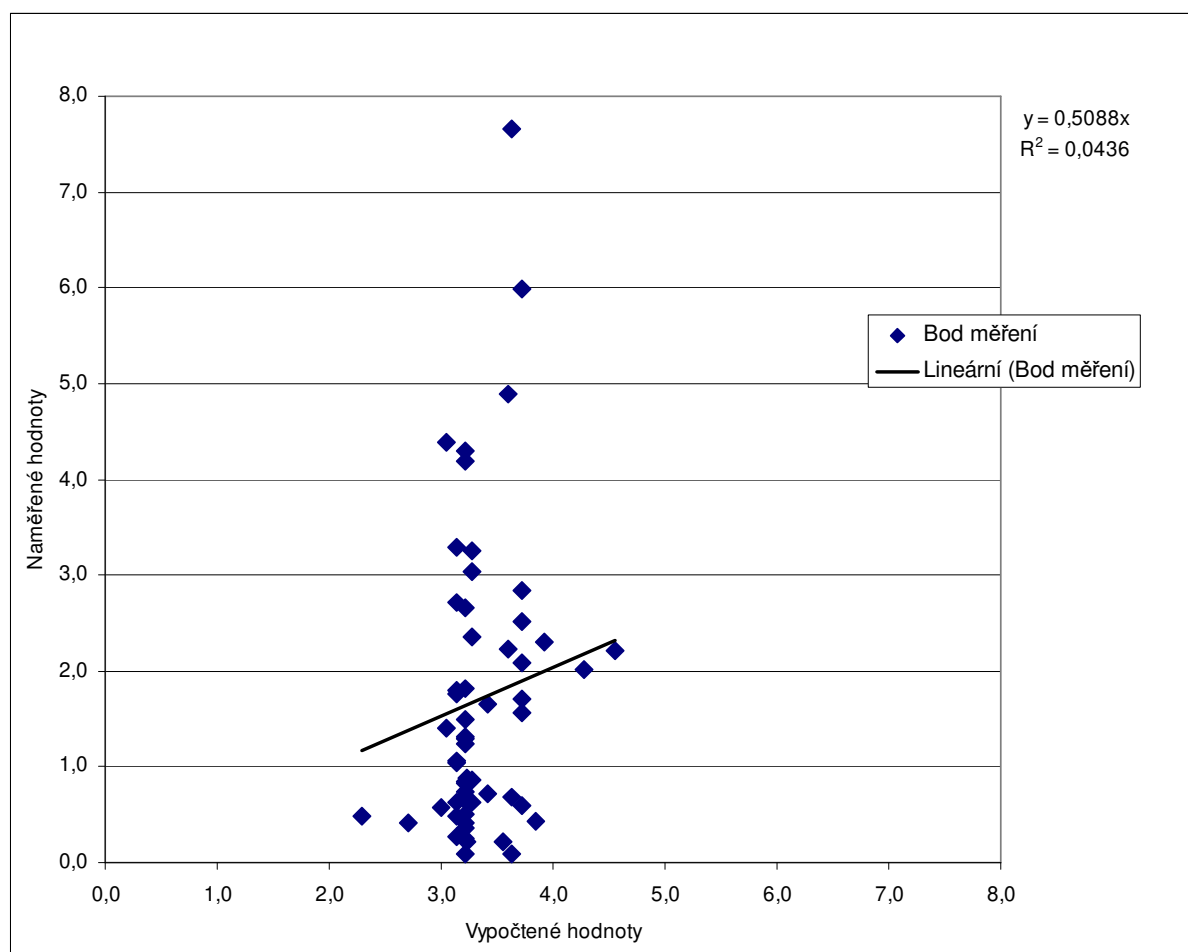
$$E_{PM10} [\text{kg/vozokm}] = 1,5 \times (s/12)^{0,9} \times (W \times 1,1023/3)^{0,45} \times 0,2819$$

kde s je procentuelní podíl jemných prachových částic ($< 75 \mu\text{m}$) v povrchovém materiálu a W je průměrná hmotnost vozidel, vyjádřená v tzv. krátkých tunách. Jedna krátká tuna je 907,2 kg, při výpočtu v metrických tunách je tedy hodnoty ještě násobit koeficientem 1,1023. Poslední člen rovnice představuje přepočtení do metrické soustavy.

Analýza vypočtených a měřených hodnot však v tomto případě ukázala na poměrně významné rozdíly, které jsou patrné z grafu 15:

- naměřené a vypočtené hodnoty spolu prakticky nekorelují ($R^2 = 0,04$)
- naměřené hodnoty byly většinou významně nižší, než by měly být výpočtu, pro část vzorků však byly naopak vyšší o desítky procent (v extrému až dvojnásobně)
- zatímco vypočtené imisní hodnoty se pohybují ve velmi úzkém rozpětí, rozptyl naměřených hodnot je výrazně větší. Je tedy zřejmé, že skutečné (naměřené) hodnoty jsou ovlivněny dalším parametrem, který není ve výpočtu zohledněn.

Obr. 15. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM_{10} pro proces „Pojezd po nezpevněných plochách“ [$mg \cdot m^{-3}$] – při použití výpočetního vzorce dle US EPA [7]



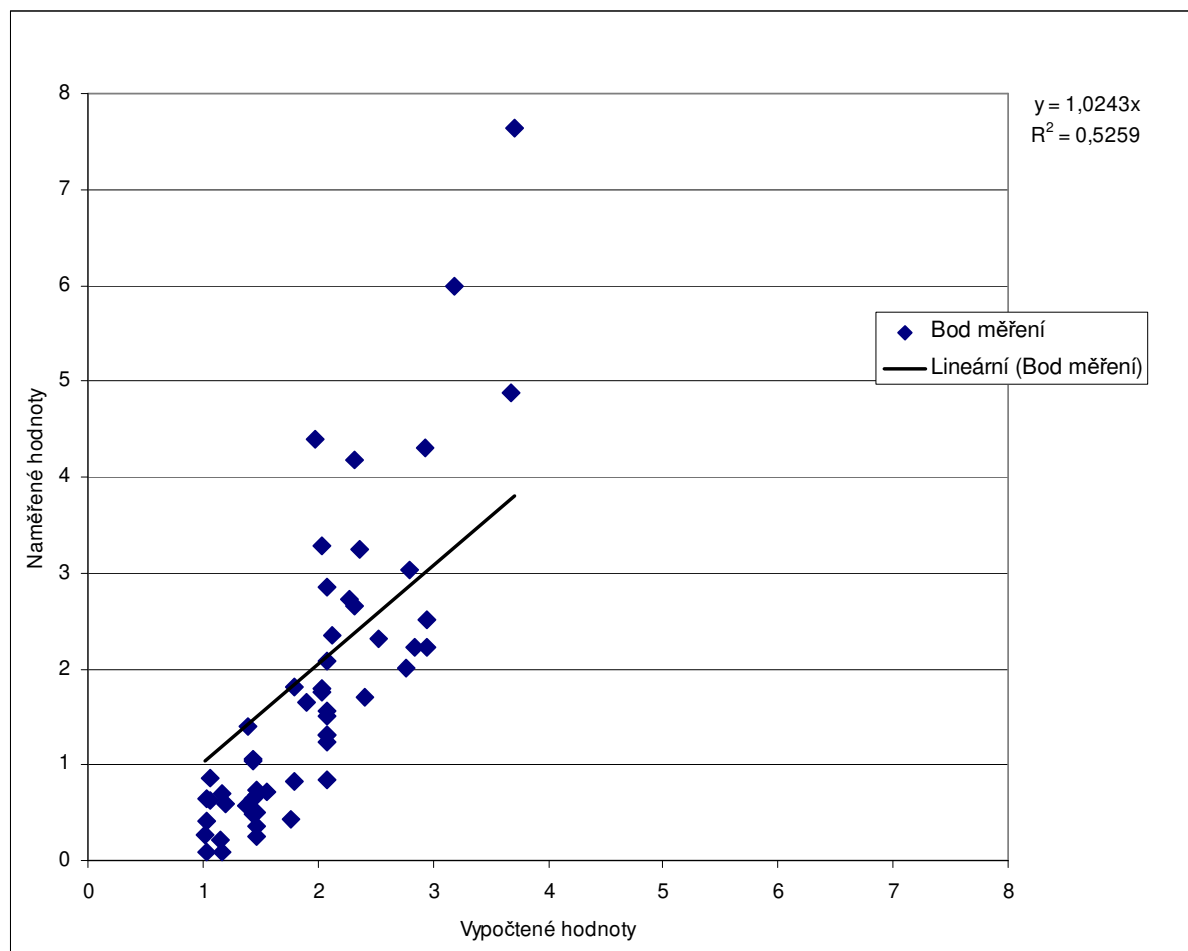
Podrobnější rozbor pak ukázal, že chybějícím parametrem je rychlost jízdy nákladních vozidel. K přibližné shodě naměřených a vypočtených hodnot dochází cca při rychlosti kolem 30 km/hod, při nižších rychlostech metodika skutečné emise podstatným způsobem nadhodnocuje (při vyšších rychlostech je tomu naopak).

Z tohoto důvodu se jeví nezbytné implementovat do výpočetní rovnice též člen zohledňující rychlost jízdy vozidel. K tomuto účelu je možné použít například obdobnou rovnici, která je metodikou AP-42 stanovena pro veřejně přístupné nezpevněné komunikace, kde je aplikován člen $(S/48)^{0,5}$. Porovnání měřených a vypočtených hodnot pro rovnici v upraveném tvaru, tj.

$$E_{PM10} [\text{kg/vozokm}] = 1,5 \times (s/12)^{0,9} \times (W \times 1,1023)/3)^{0,45} \times (S/48)^{0,5} \times 0,2819,$$

kde S je průměrná rychlost jízdy vozidel v km/hod, ukazuje následující graf.

Obr. 16. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM10 pro proces „Pojezd po nezpevněných plochách“ [mg.m-3] – při použití korekčního členu pro rychlost $(S/48)^{0,5}$



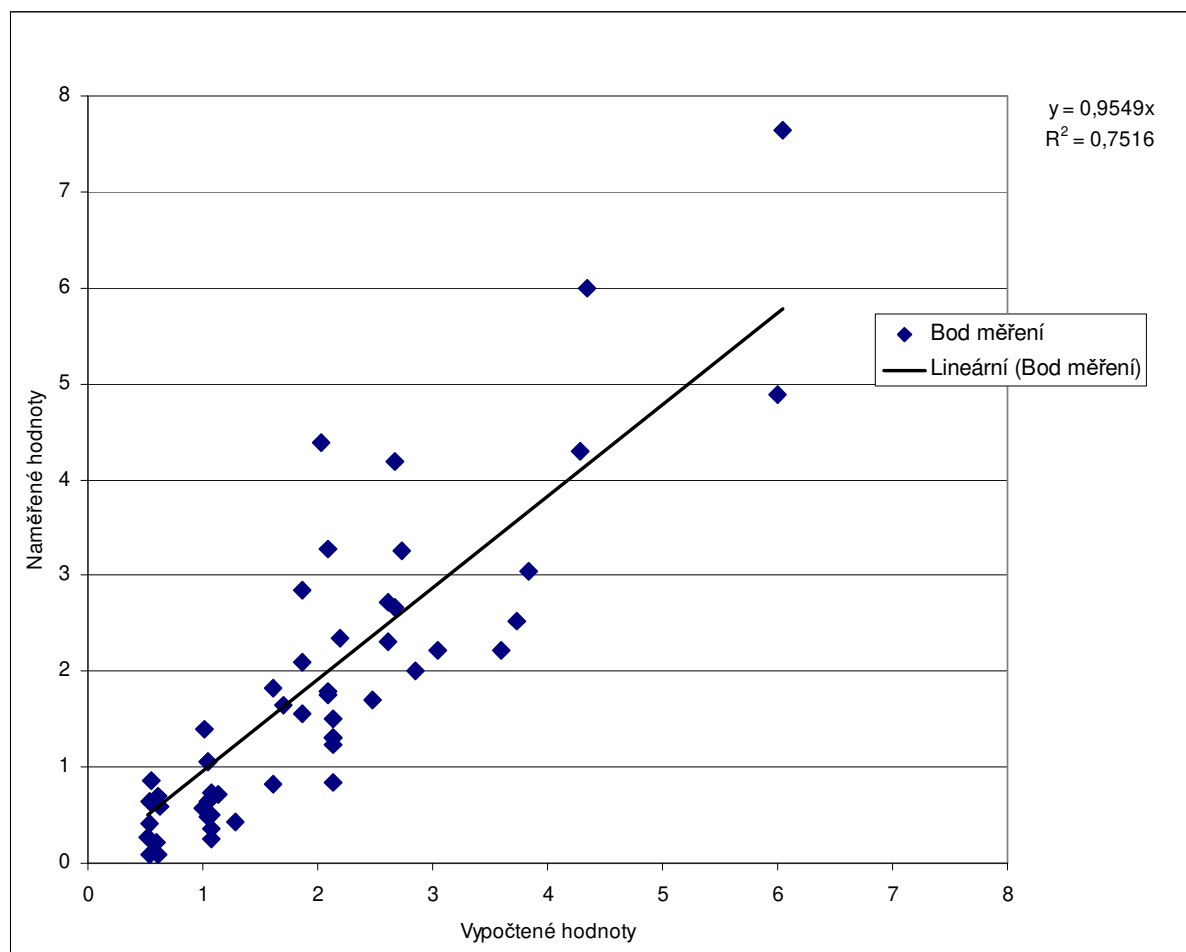
Jak je patrné, použitá úprava podstatně vyjadřuje vztah mezi měřenou a vypočtenou hodnotou podstatně přesněji. Přesto se však ani tento výsledek nejevil jako uspokojivý. Rovnice sice prochází středem naměřených hodnot, shoda je však poměrně nízká a část situací nyní vykazuje značné podhodnocení. Rovnice navíc předpokládá, že člen pro rychlost jízdy nabývá hodnoty 1 při rychlosti 48 km/hod, což neodpovídá výsledkům analýzy, podle nichž tomu tak je již při cca 30 km/hod.

Na základě výsledků série testovacích výpočtů je navrženo použití lineární závislosti, vyjádřené členem (S/30). Výsledný návrh výpočetního vztahu má tedy tvar:

$$E_{PM10} [\text{kg/vozokm}] = 1,5 \times (s/12)^{0,9} \times (W \times 1,1023/3)^{0,45} \times (S/30) \times 0,2819.$$

Následné porovnání měřených a vypočtených hodnot pak ukazuje následující graf.

Obr. 17. Graf vypočtených a naměřených hodnot PM₁₀ pro proces „Pojezd po nezpevněných plochách“ [mg.m⁻³] – při použití korekčního členu pro rychlost (S/30)



K odvození výpočetního vztahu je nutno dále uvést několik poznámek:

- Kromě tohoto jednoduchého lineárního vztahu bylo testováno několik desítek dalších funkcí, které ale vesměs přinášely pouze složitější výpočetní vztah bez přesvědčivého přínosu ke zvýšení korelace měření a výpočtu. Z tohoto důvodu byla rovnice ponechána ve výše uvedeném tvaru.
- Při lineárním vztahu by dle provedených testů byl optimální tvar výpočetní členu poněkud odlišný: $(S/31,70577)$, pak by regresní funkce nabývala tvaru $y = x$. Avšak vzhledem k tomu, že výpočty i měření jsou v těchto případech zatíženy určitou nejistotou, která je ostatně patrná i z rozptylu obou veličin, jeví se jako vhodnější použití zaokrouhlené hodnoty.
- Kromě rychlosti jízdy byla jako další veličina, ovlivňující emise prachu z nebezpečných komunikací, uvažována vlhkost povrchu komunikace. Z analýz však vyplynulo, že pro vyjádření vlivů vlhkosti u nebezpečných komunikací (která je dána převážně intenzitou skrápění) je vhodnější přímé použití redukčních koeficientů, které byly rovněž navrženy v rámci projektu TA02020245 a jsou součástí samostatného výstupu – souboru opatření k omezení prašnosti ze stavební činnosti.

3.5. EMISE Z VNÁŠENÍ NEČISTOT NA VEŘEJNÉ KOMUNIKACE

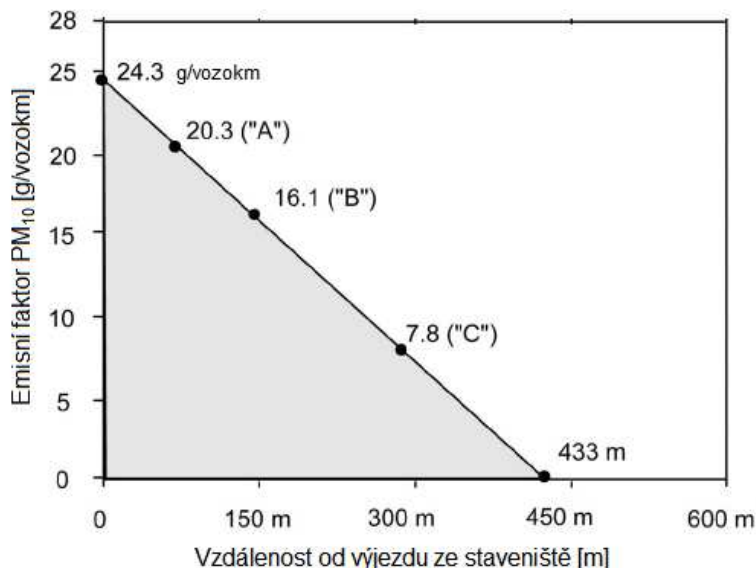
3.5.1. Přímý vliv – emise ze staveništní dopravy

Při hodnocení vlivu stavebních prací na kvalitu ovzduší je obvykle nutné kromě emisí z vlastního prostoru staveniště zohlednit také skutečnost, že vozidla vyjíždějící ze stavby vynášejí prachové částice na navazující veřejné komunikace, kde dochází k nárůstu emisí z resuspenze. Pro tento účel lze aplikovat výpočetní vztah uvedený ve studii MRI (Muleski, 2005):

$$EO_{PM10} [g/vozokm] = -56,12 \times D + 24,3,$$

kde EO je okamžitá emise produkovaná daným vozidlem, vyjíždějícím ze stavby a D je dráha ujeta vozidlem (v km) od místa vjezdu automobilu na veřejnou komunikaci. Ze vztahu je patrné, že okamžitá emise lineárně klesá, až ve vzdálenosti 433 m od vjezdu na komunikaci dosahuje nulové hodnoty (dále je nulová). Závislost emisního faktoru na vzdálenosti od bodu měření ukazuje obrázek 18. Plocha trojúhelníku tvořená dvěma osami a regresní přímkou představuje množství PM_{10} emitované z jednotlivých vozidel projíždějících přes dotčený úsek komunikace.

Obr. 18. Emisní faktory s narůstající vzdáleností od výjezdu ze staveniště



Emise z celého úseku o délce 433 m bude tedy rovna poloviční hodnotě v porovnání s emisí v místě výjezdu, tj. 12,15 g/vozokm, resp. 5,26 g/vozidlo z daného úseku.

V případě úseků komunikací kratších než 433 m je možné emise stanovit jako průměr hodnot na počátku a konci úseku, tj.:

$$E_{PM10} [g/vozokm] = (-56,12 \times D + 24,3 + 24,3)/2 = -28,06 \times D + 24,3.$$

3.5.2. Nepřímý vliv – nárůst emisí z ostatní dopravy

Kromě emisí z vozidel vyjíždějících přímo ze staveniště dochází na dotčených komunikacích též k nárůstu emisí z resuspenze z ostatní dopravy, neboť v bezprostředním okolí stavby je obvykle deponováno větší množství prachových částic na povrchu vozovky, než by odpovídalo standardnímu nastavení metodiky pro určení emisí z dopravy.

V tomto případě ovšem závisí produkovaná emise na intenzitě a skladbě dopravy na komunikaci – mění se jen hodnota sL pro daný úsek. Pro nastavení této hodnoty lze jako vodítko využít grafickou prezentaci, uvedenou na obrázku 19.

3.6. URČENÍ PODÍLU ČÁSTIC FRAKCE PM_{2,5} V EMISÍCH PM₁₀

Pro určení podílu jemných částic frakce PM_{2,5} v emisích PM₁₀ pro jednotlivé dílčí činnosti byly použity výstupy z rešerše odborných studií a metodik. V zásadě existují dva základní materiály, které se v určení podílu této frakce dosti liší, a to publikace SCAQMD „Methodology to Calculate Particulate Matter (PM) 2.5 and PM 2.5 Significance Thresholds“ SCAQMD (2006) a soubor metodik US EPA pro jednotlivé činnosti. Ostatní literatura je v zásadě sekundární a pouze přebírá údaje z uvedených pramenů. Porovnání obou podkladů uvádí následující tabulka.

Tab. 6. Podíl emisí PM_{2,5}/PM₁₀ pro jednotlivé skupiny zdrojů

Zdroj emisí	SCAQMD	US EPA
Stavby a demolice	0,208	0,100
Zpevněné komunikace	0,169	0,242
Nezpevněné komunikace	0,212	0,100
Nakládání se sypkými hmotami	-	0,150
Větrná eroze	-	0,150

Dokument SCAQMD pochází z roku 2006. Metodika AP-42 vychází (s výjimkou zpevněných komunikací) z metaanalýzy existujících studií, zpracované rovněž v roce 2006 (Cowherd, 2006), avšak později a diskutuje již i data publikovaná SCAQMD, přičemž na základě srovnání s jinými studii dochází k odlišným závěrům. V případě zpevněných komunikací byla celá metodika nově zpracována v roce 2011. Z těchto důvodů lze považovat za vhodnější použití podílů dle metodiky AP-42. Pro zemní práce a terénní úpravy byl použit shodný poměr jako pro nakládání se sypkými hmotami.

4. SOUHRN NAVRHOVANÝCH POSTUPŮ PRO URČENÍ EMISÍ

4.1. NÁVRH EMISNÍCH FAKTORŮ

V následujícím přehledu je nejprve uveden souhrn navrhovaných emisních faktorů odvozených v předchozí kapitole a dále pak doporučené „defaultní“ hodnoty vstupní parametrů, které lze použít v případě, že nejsou známy hodnoty z konkrétní lokality. Platí však, že při zadání „defaultních“ hodnot namísto dat z konkrétního stanoviště se často snižuje přesnost výpočtu. Soubor navržených emisních faktorů uvádí tabulka 7.

Tab. 7. Navrhované emisní faktory pro vybrané stavební činnosti

Činnost	Emisní faktor pro PM ₁₀	Podíl PM _{2,5} /PM ₁₀	Jednotka
Demolice			
Rozrušování konstrukcí hydraulickými nůžkami	2,52	0,1	kg.h ⁻¹ reálné práce stroje
Rozrušování povrchu sbíjecím kladivem	0,56	0,1	kg.h ⁻¹ reálné práce stroje
Frézování, broušení	3,6	0,1	kg.h ⁻¹ reálné práce stroje
Zemní práce a terénní úpravy			
Výkopy jemnozrnných zemin – ad 1	0,2	0,15	g/t vytěženého materiálu
Výkopy jemnozrnných zemin – ad 2	0,04	0,15	g/t vytěženého materiálu
Nakládka materiálu	$0,00056 \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$	0,15	kg/t naloženého materiálu
Vykládka materiálu	$0,00056 \times (U_v/2,2)^{1,3} / (M/2)^{1,4}$	0,15	kg/t vyloženého materiálu
Shoz materiálu	$0,0029 \times (d)^{0,7} / (M)^{0,3} \times 0,75$ tedy $0,0022 \times (d)^{0,7} / (M)^{0,3}$	0,15	kg/m ³ materiálu
Buldozerování	$0,34 \times (s)^{1,5} / M^{1,4}$	0,15	kg/hod/stroj
Vyrovnávání povrchu pomocí grejdrů	0,085	0,15	kg/vozokm
Vyrovnávání povrchu pomocí rypadla	0,00395	0,15	kg/t transportovaného materiálu
Zpevňování povrchu frézou a pojivy	$(U_v/2,2)^{1,3}$	0,15	kg/vozokm

Činnost	Emisní faktor pro PM ₁₀	Podíl PM _{2,5} /PM ₁₀	Jednotka
Zhutňování povrchu vibrační deskou a pčhem	$0,1 \times (s)^{1,5} / M^{1,4}$	0,15	kg/hod/stroj
Vyrovňávání povrchu skrejprem	2,8	0,15	kg/vozokm
Nakládání/vykládání skrejpru	0,0015	0,15	kg/m ³ materiálu
Vrty	0,31	0,15	kg/vrt
Pojezdy vozidel a strojů			
Pojezd po zpevněných plochách	$0,62 \times sL^{0,91} \times Wt^{1,02} \times 1,1023$ tedy $0,68 \times sL^{0,91} \times Wt^{1,02}$	0,242	g/vozokm
Pojezd po nezpevněných plochách	$1,5 \times (s/12)^{0,9} \times (Wt \times 1,1023)/3)^{0,45} \times (S/30) \times 0,2819$	0,1	kg/vozokm
Emise z vnášení nečistot na zpevněné veřejné komunikace (do vzdálenosti 433 m od výjezdu)*	$-28,06 \times D + 24,3$	0,242	g/vozokm

a) výkop zeminy s vlhkostí do 12 %, b) výkop zeminy vlhčí než 12 %

*) kromě emisí ze staveništní dopravy je nutno zohlednit i nárůst hodnoty sL na komunikacích v okolí staveniště

Vstupní veličiny:

- d – výška pádu [m]
- D – dráha ujetá po veřejné komunikaci od výjezdu ze staveniště
- U_v – průměrná rychlost větru [m/s]
- M – vlhkost materiálu [%]
- S – rychlost [km/hod]
- s – podíl jemných částic o velikosti menší než 75 μm v povrchovém materiálu [%]
- sL – množství prachových částic o velikosti menší než 75 μm usazených na povrchu vozovky [g/m²]
- Wt – průměrná hmotnost vozidel v metrických tunách [t]

4.2. STANOVENÍ VSTUPNÍCH HODNOT PRO EMISNÍ VÝPOČTY

Při vlastním provedení výpočtu je podstatná nejen znalost výpočetního postupu, ale též správnost a přesnost použitých hodnot jednotlivých parametrů, vstupujících do výpočtu. Nejvhodnější je přirozeně zjištění údajů pro konkrétní stavbu na základě ověření v terénu (u existujících staveb) nebo projektové dokumentace (u plánovaných staveb). Pro určité přiblížení však mohou sloužit i hodnoty, zjištěné v rámci přípravy této metodiky na jednotlivých stavbách, popřípadě údaje prezentované v literatuře apod. Tyto hodnoty a další doporučení jsou shrnuty v následujícím přehledu.

Tabulka 8 uvádí charakteristické hodnoty vstupních parametrů, zjištěné při měření na staveništích.

Tab. 8. Hodnoty vstupních parametrů pro stanovení emisí zjištěné v průběhu měření na staveništích

Charakteristika	Značka [jednotka]	Počet měřících stanovišť	Rozmezí	Průměr
Vlhkost	M [%]	74	0,3 až 33,8	6
Rychlost vozidel	S [km.h ⁻¹]	50	5 až 50	17
Množství jemných částic na povrchu vozovky	sL [g.m ⁻²]	17	0,6 až 30	13
Výška pádu	d [m]	23	0,5 až 3	1,3

Vlhkost materiálu M (v %) lze určit kromě měření také zjednodušeně na základě podkladů uvedených v metodice AP-42 (US EPA, 1998), která uvádí typickou vlhkost skrývky ve výši 7,9 %. Jedná se o jednu hodnotu, která zohledňuje jak rostlý, tak částečně odkrytý terén. Detailněji je vlhkost materiálů charakterizována v jiné části dokumentu AP-42 (US EPA 2006b), který kromě skrývky a pokrývky (zpevněný povrch) udává hodnoty pro další materiály. Jejich výčet uvádí následující tabulka.

Tab. 9. Obsah vlhkosti v materiálech [M]

Materiál	Vlhkost [%]
Vápenec	0,2
Drcený vápenec	0,7
Různé produkty vápence	2,1
Skrývka (odkrytá zem)	3,4
Struska, škvára, hlušina	3,6
Písek	7,4
Jíl	10
Výplňové materiály	11
Pokrývka	12
Jíl ve směsi s hlínou a prachem	14

zdroj: US EPA (2006b)

Důležité je upozornit, že se vlhkost v prostoru staveniště může velmi lišit. Zejména odkryté povrchy při slunečném počasí rychle vysychají a jsou výrazně sušší než materiál uvnitř deponií nebo rostlý terén v hloubce. Pro výpočet emisí lze doporučit následující postup:

- při nakládce právě vytěženého materiálu lze pro stanovení vlhkosti využít doporučené hodnoty dle metodiky AP-42 (tabulka 9)
- při stanovení vlhkosti částic při povrchu za slunečného počasí (např. buldozerování svrchní vrstvy) uvažovat redukovanou vlhkost ve výši cca 1/3 hodnot udávaných v tabulce 9

Procentuelní podíl jemných částic s průměrem menším než 75 μm v povrchovém materiálu je opět závislý na druhu materiálu. Pro jeho stanovení je rovněž možné využít metodiku AP-42 (US EPA 2006a), která udává hodnotu pro nezpevněné komunikace v prostoru staveb, a to ve výši 8,5 %. Pro jednotlivé materiály poté hodnoty udává metodika US EPA (2006b), jejich výčet uvádí tabulka 10.

Tab. 10. Obsah jemných částic [s]

Materiál	Obsah jemných částic [%]
Vápenec	1,0
Drcený vápenec	1,6
Písek	2,6
Struska, škvára, hlušina	3,8
Různé produkty vápence	3,9
Jíl	6,0
Pokrývka	9,0
Jíl ve směsi s hlínou a prachem	9,2
Výplňové materiály	12,0
Skrývka (odkrytá zem)	15,0

zdroj: US EPA (2006b)

V případě zpevněných komunikací nelze přirozeně použít procentuelní podíl jemných částic, vstupní veličinou je **množství částic deponovaných na povrchu vozovky** sL v g/m^2 . Metodika AP-42 uvádí charakteristické hodnoty sL pro různé typy průmyslových provozů, z nichž charakterově nejbližší staveništím – podle typu stavebních prací – mohou být např. skládky ($7,4 \text{ g}/\text{m}^2$), lomy ($8,2 \text{ g}/\text{m}^2$), betonárny ($12 \text{ g}/\text{m}^2$), v krajním případě pískovny a šterkovny ($70 \text{ g}/\text{m}^2$). Pro orientační kategorizaci

je možné dále použít následující obrázek, vytvořený zpracovatelem metodiky na základě porovnání měřených a vypočtených hodnot.

Obr. 19. Orientační hodnoty sL pro povrchy zpevněných komunikací (g/m²)



Rychlost pohybu vozidel S se na stanovišti pohybuje většinou do 30 km/hod, průměrná rychlost zjištěná při měření v rámci řešeného úkolu byla 17 km/hod.

Průměrná rychlost větru U_v (v m/s) je stanovena na základě větrné růžice platné pro posuzované území.

Hmotnost vozidel W_t (v metrických tunách) závisí na typu nákladního vozidla a jeho nákladu. Pohotovostní hmotnost čtyřnápravových vozidel užívaných zejména pro transport materiálu na/ze staveniště je rovna v průměru cca 15 tun. Pro učení celkové hmotnosti je potřeba přičíst užitkovou hmotnost, tedy zejména hmotnost nákladu. Běžný objem korby se rovná 9 až 18 m³ (bez přívěsu), běžné objemové hmotnosti materiálů poté ukazuje tabulka 11.

Tab. 11. Objemová hmotnost stavebních materiálů

Materiál	Objemová hmotnost (t/m³)
Jemnozrnná zemina	2,0 ¹⁾
Písek	1,75 ¹⁾
Štěrk	1,65 ¹⁾
Kamenivo	1,8 ²⁾
Suť	1,3 ²⁾

zdroj: ¹⁾portál TZB info, ²⁾norma ČSN 73 0037 a ČSN 73 1001

5. SEZNAM POUŽITÉ A SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

California Environmental Protection Agency (2011): Air Resources Board: The Carl Moyer program guidelines“, ARB, [online]. Dostupné z: http://www.arb.ca.gov/msprog/moyer/guidelines/2011gl/2011cmpgl_3_27_13.pdf

California Air Pollution Control Officers Association (CAPCOA) (2011): California Emissions Estimator Model (CalEEMod). [online]. Dostupné z: www.caleemod.com

Caterpillar: Machines, [online]. Dostupné z: <http://www.cat.com/equipment>

Cowherd O. (2006): Background Document for Revisions to Fine Fraction Ratios Used for AP-42 Fugitive Dust Emission Factors. Midwest Research Institute. [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/bgdocs/b13s02.pdf>

EMEP/EEA (2009): Příručka EMEP/EEA pro sestavování inventur emisí látek znečišťujících ovzduší, Evropská agentura pro životní prostředí, technická zpráva č. 9/2009, [online]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>

Hájek, P. a kol. (2011): Konstrukce pozemních staveb – Komplexní přehled, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Praha, [online]. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/KPKP/Hajek_Fiala_KPKP_skripta.pdf

Lumag CZ s. r. o.: vibrační pěch a vibrační deska, [online]. Dostupné z: <http://www.lumag.cz/vibracni-pech-vs80s>

Muleski, G. E., Cowherd, C., Kinsey, J. S. Jr (2005): Particulate Emissions from Construction Activities, In „Journal of the Air and Waste Management Association 55“, 772–783.

NPI (2012): Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities: National Pollutant Inventory – Emission Estimation Technique Manual For Mining, version 3.1, [online]. Dostupné z: <http://www.npi.gov.au/system/files/resources/7e04163a-12ba-6864-d19af57d960aae58/files/mining.pdf>

Phoenix-Zepellin., Stroje Caterpillar – Nakladače, [online]. Dostupné z: <http://www.p-z.cz/online-katalog/stavebni-stroje-caterpillar/nakladace>

Píša V. a kol. (2012): Vývoj aplikačního prostředí pro implementaci aktualizace metodiky MEFA, Technologická agentura ČR, Praha.

Ptáček a.s. – demolice a stavby, Technika, [online]. Dostupné z: <http://www.ptacek-eda.cz/cz/index.php?page=technika>

SCAQMD: Air Quality Analysis Guidance Handbook. South Coast Air Quality Management District, [online]. Dostupné z: <http://www.aqmd.gov/home/regulations/ceqa/air-quality-analysis-handbook>

SCAQMD (2006): Methodology to Calculate Particulate Matter (PM) 2.5 and PM 2.5 Significance Thresholds, [online]. Dostupné z: <http://www.aqmd.gov/home/regulations/ceqa/air-quality-analysis-handbook/pm-2-5-significance-thresholds-and-calculation-methodology>

US EPA (1988): Gap Filling PM₁₀ Emission Factors For Selected Open Area Dust Sources, Office of Air Quality, Midwest Research Institute.

US EPA (1995): Emissions Factors & AP 42 – Chapter 13: Miscellaneous sources: 13.2.3. Heavy Construction Operation, Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s02-3.pdf>

US EPA (1998): Emissions Factors & AP 42 – Chapter 11: Mineral Products Industry: 11.9 Western Surface Coal Mining, Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s09.pdf>

US EPA (2001): Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. US Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>

US EPA (2006a): Emissions Factors & AP 42 – Chapter 13: Miscellaneous sources: 13.2.2 Unpaved Roads, Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>

US EPA (2006b): Emissions Factors & AP 42 – Chapter 13: Miscellaneous sources: 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles, Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>

US EPA (2011): Emissions Factors & AP 42 – Chapter 13: Miscellaneous sources: 13.2.1 Paved Roads, Environmental Protection Agency, [online]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

TNO: The CEPMEIP project. [online]. Dostupné z: <http://www.air.sk/tno/cepmeip>

Zakládání staveb a. s.: typy pilot, [online]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz>