

# Ochrana a podpora zdraví obyvatel Vinohrad



## Kvantifikace významných environmentálních rizik na Vinohradech

RNDr. Bohumil Pokorný, CSc.

Brno, 2015

## OBSAH

OBSAH.....	2
Rizika zdravého života v ČR .....	3
Zátěž životního prostředí a jeho vliv na zdraví obyvatel.....	6
Demografický profil vinohradské populace.....	6
Objektivizace environmentálních rizik na Vinohradech .....	7
Ovzduší a zdraví.....	8
Imisní zátěž ovzduší v Brně a na Vinohradech .....	8
Měření imisní zátěže ovzduší na Vinohradech v roce 2013-2014 .....	10
Výpočet imisní zátěže Vinohrad z imisního modelu.....	14
Průměrné roční a nejvyšší denní koncentrace PM <sub>10</sub> .....	15
Průměrné roční koncentrace jemné frakce PM <sub>2,5</sub> .....	16
Průměrné roční koncentrace a maximální hodinové koncentrace NO <sub>2</sub> .....	17
Průměrné roční koncentrace – benzen .....	18
Průměrné roční koncentrace - benzo(a)pyren .....	18
Zdravotní rizika imisní zátěže ovzduší .....	19
Vyhodnocení zdravotních rizik obyvatel Vinohrad z imisní expozice identifikovanými škodlivinami.....	22
Riziko akutní a chronické expozice polévatého prachu obyvateli Vinohrad .....	22
Akutní zdravotní rizika expozice polévatým prachem. ....	23
Chronická zdravotní rizika expozice polévatým prachem. ....	24
Akutní zdravotní riziko expozice oxidem dusičitým.....	26
Rizika chronické expozice karcinogennímu benzenu a benzo-a-pyrenu pro obyvatele Vinohrad .....	26
Benzen, benzo-a-pyren – karcinogenní rizika .....	27
Závěry z hodnocení zdravotních rizik obyvatel Vinohrad z expozice zatíženým ovzduším....	28
Závěr hodnocení expozice imisních škodlivin .....	30
Hluk a zdraví.....	31
Nepříznivé účinky hluku na zdraví.....	32
Obtěžování hlukem (annoyance) .....	32
Rušení spánku (sleep disturbance).....	32
Kardiovaskulární nemoci .....	33
Hluková zátěž na Vinohradech .....	33
Zdravotní rizika hlukové zátěže občanů Vinohrad.....	34
Výpočet podílů obtěžovaných a ve spánku rušených osob.....	34
Výpočet hlukové expozice vybraných nejvíce exponovaných lokalit.....	36
Výpočet podílu obtěžovaných a ve spánku rušených osob ve vybraných obytných budovách stanovených jako referenční body na Vinohradech.....	39
Důsledky denního obtěžování hlukovou expozicí v dětské populaci .....	40
Rušení spánku obyvatel Vinohrad .....	41
Zhodnocení potenciálního zdravotního rizika akutního infarktu myokardu.....	42
Závěr hodnocení potenciálního zdravotního rizika hlukové expozice .....	44

## Rizika zdravého života v ČR

Pro hodnocení zdraví jedince existuje dostatek objektivních kritérií. U hodnocení zdravotního stavu populace je situace odlišná: měřítkem je nejvyšší dosažitelná úroveň zdraví na světě či v regionu. Kritérium dobrého zdravotního stavu tedy nemá absolutní, neměnnou úroveň, je relativní a mění se s rostoucí vyspělostí lidstva.

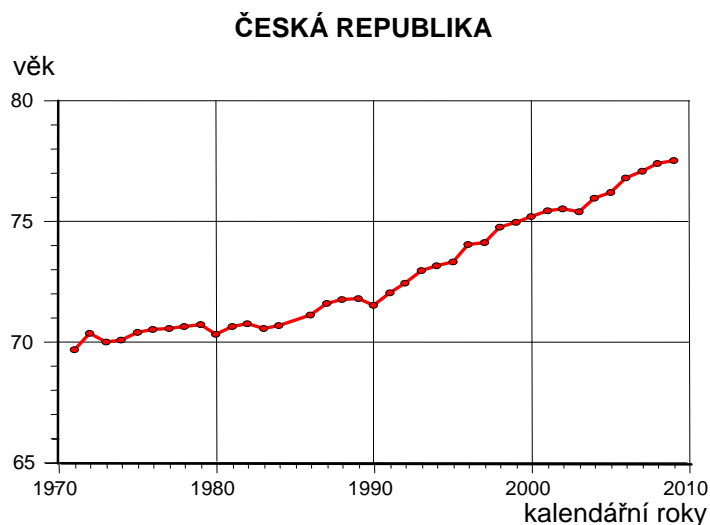
V současné době podle konstatování Světové zdravotnické organizace, charakterizuje problémy zdravotního stavu populace vyspělých států s tržní ekonomikou a bývalých zemí východní Evropy, deset hlavních příčin nemocnosti. Jsou to ischemická choroba srdeční, unipolární deprese, cévní mozkové nemoci, dopravní úrazy, následky konzumace alkoholu, osteoartróza, nádorové nemoci trávicího ústrojí, průdušek a plic, poranění a vrozené vady.

V celé řadě těchto frekventovaných poruch a nemocí zaujímá česká populace přední místa. Stále v ní přetrvává nízká úroveň vlastní péče o zdraví, mnozí stále podceňují výskyt rizikových faktorů u sebe samých či dávají přednost pouze farmakoterapii před vlastní aktivní starostí o zdravý život, zdravý životní styl. Většina českým zdravotnickým systémem současně prováděných preventivních opatření je navíc zaměřena pouze na sekundární prevenci, tj. vyhledávání osob s již přítomným rizikovým faktorem těchto nemocí nebo onemocněním samotným, nikoli na předcházení nebo oddálení vzniku choroby, tedy primární prevenci. Velkým problémem je fakt, že k aktivnímu předcházení chorob je potřeba také vlastní aktivní spolupráce. To je však běh na dlouhou trať.

Jistým úspěchem ČR je fakt, že v posledních desetiletích sice stále zřetelně klesá úmrtnost (ze 108 tisíc v roce 1995 k nynějším 105 tisíc v roce 2008), ale na druhé straně výskyt dlouhodobých a chronických nemocí, zejména nádorových, trvale stoupá. Tím narůstá počet nemocných, které je třeba léčit pomocí finančně velmi náročných terapií.

Dokladem pozitivního působení stále zdokonalovaného, ale nesmírně drahého medicínského komplexu je fakt, že průměrný věk obyvatel České republiky se několik posledních desetiletí trvale prodlužuje. Stálý vzestupný trend roků dožití mužů a žen v ČR za posledních 40let dokládá níže uvedený obrázek. Tento věk se v průběhu života jedné generace prodloužil o neuvěřitelných 17 let.

**Obr.1 : Růst průměrného věku dožití (muži, ženy) v ČR**



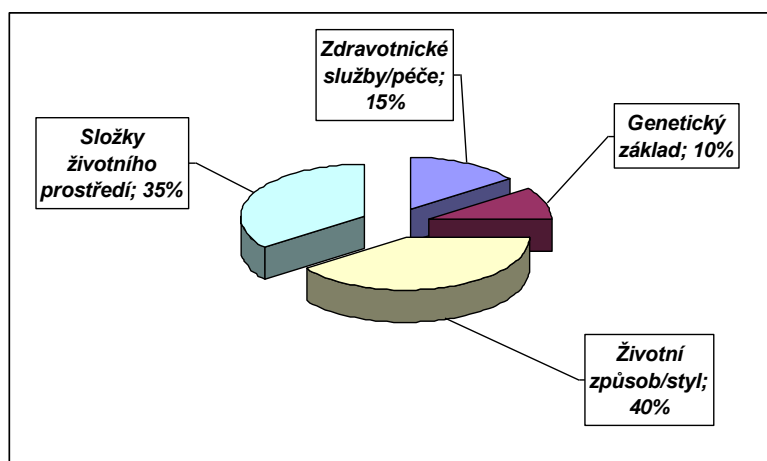
Stále však existuje a bude existovat rozdílný věk dožití u obou pohlaví. Muži, kteří se narodili v roce 1990, měli pravděpodobnost se dožít 67,5 let, chlapeci, narození po roce 2010, již mají naději dožití 75 let a ženy, které se narodily v roce 1990 měly naději dožití 75,5 roku, ale pro dívky narozené v roce 2012 je střední věk dožití již víc než 81 let. Průměrný věk dožití u české populace tedy roste se stále větší rychlostí. Jen za posledních dvacet let se u mužů zvýšil o 7,5 a u žen o 5,5 roku.

Zdá se tedy, že hranice lidského života jsou stále v nedohlednu. Proto se také stále posouvá myšlenková hranice tzv. předčasného úmrtí. Jím se nyní rozumí úmrtí před dosažením 75 let věku. S akceptováním této hranice v roce 2012 v ČR zemřelo předčasně 43 % obyvatel, většinou v důsledku chronických onemocnění, která jsou pod touto věkovou hranicí považována za odvrátitelná a je možné pečlivou individuální starostlivostí o svůj život ji také posunovat.

Údaje o úmrtnosti, jako ukazatel zdraví populace, se v posledním desetiletí doplňují daty o délce života ve zdraví, bez nemocí a zdravotních omezení. V ČR je nyní (rok 2012) naděje na dožití ve zdraví u mužů, kteří v tomto roce dosáhnou 65 let 8,4 roku, u žen je to pak 8,7 roku. Tyto údaje znamenají, že nejméně stejný počet let stráví starší člověk v nemoci, která nějakým způsobem omezuje jeho denní aktivity.

Lidský život je ovlivňován celou řadou pozitivních i negativních vlivů, jímž říkáme zdravotní determinanty. Valnou většinu z nich může člověk, pokud je pozná a akceptuje cesty ke snížení jejich negativních vlivů a posílení těch s vlivem pozitivním, může svým rozhodnutím ovlivnit-regulovat. Některé nepříznivé determinanty projevující se v důsledku stárnutí populace se však budou dále zřetelně podílet na zdraví i v příštích letech. Týká se to zejména našich nedostatků v životním stylu - kouření, nevyvážené výživy, nadměrné spotřeby alkoholu, nedostatku pohybu, stresu, zneužívání drog a podceňování rizika úrazů. Posuzujeme-li čtyři hlavní vlivy, které se v průběhu lidského života podílí na zdraví jedince, můžeme si jejich schematické znázornění prohlédnout na následujícím obrázku.

**Obr.2: Podíly základních determinant zdravého života a jejich podílu na lidském zdraví**



Z tohoto schematického rozdělení závažnosti jednotlivých podílů na zdraví jedince na první pohled vidíme, že velmi nákladná zdravotní péče, na kterou vynakládáme téměř 1/3 našeho státního rozpočtu se podílí na zachování zdraví pouhými 15% tedy druhým nejnižším podílem po našem genetickém základu, kterým jsme od narození dědičně vybaveni. Naopak na straně druhé vidíme, že obrovský podíl, téměř polovinou (40%) disponuje životní styl, tedy způsob, jak se jedinec ke svému životu staví, jak je ochoten „zdravě žít“.

My dnes soudíme, že zdravotní rozdíly mezi různými sociálními skupinami se zvyšují i snižují podle toho, jak se mění sociální a ekonomické podmínky takovéto sociální skupiny v populaci. Na celé řadě příkladů lze vidět, že se díky výrazně změně životního stylu dramaticky prodloužila střední délka života některých skupin obyvatelstva již během jedné, dvou generací. Na základě četných studií bylo definováno pět významným momentů, jimiž se socioekonomická situace jednotlivce zobrazuje ve zdraví jeho i celé populace.

1. S poklesem na sociálním žebříčku v jakékoliv společnosti se zkracuje střední délka života a zvyšuje se jak frekvence nemocí, tak jejich počet v této skupině.
2. Stresující podmínky, které lidi znepokojují, zvyšují jejich úzkost a vedou k pocitům, že se s nimi nedokáží vyrovnat, poškozují zdraví a mohou způsobit předčasné úmrtí.
3. Zdravotní důsledky raného vývoje jedince a jeho výchovy trvají po celý život.
4. Chudoba, sociální vyloučení a diskriminace mají na svědomí předčasná úmrtí tím, že způsobují utrpení.
5. Jistota zaměstnanosti podporuje pohodu, zdraví a spokojenost s prací, vysoká míra nezaměstnanosti však vede k vysoké nemocnosti a předčasným úmrtím.

Odstraňování nebo alespoň zmírňování těchto negativních vlivů by pravděpodobně mělo blahodárné důsledky na zvýšení zdraví velkých skupin naší populace. První podmínkou je však potřeba individuálního rozhodnutí ke změně alespoň některých sociálních a zdravotních determinantů svého života. Některé však osobním rozhodnutím změnit nelze. Týká se to zejména vlivů pocházejících ze životního prostředí, jenž je ovlivňováno převážně společenským rozhodnutím.

Jak bylo na předchozím obrázku ukázáno, má životní prostředí nezanedbatelný podíl na našem zdraví. My ho dnes v evropské populaci odhadujeme až na více než 1/3, tedy přibližně 35%. Životní vysoce urbanizované prostředí má kromě svých pozitiv i celou řadu negativních vlivů na zdraví. Jeho základními složkami v nichž se každý člověk pohybuje či přichází do styku jsou ovzduší, voda, půda. Dnes dovedeme definovat jak „čisté“ by tyto složky životního prostředí měly být, aby byly k životu co nejvíce přátelské. A na straně druhé také dovedeme specifikovat, jak jsou jeho jednotlivé složky zatěžovány průmyslovou výrobou automobilovým provozem a dalšími lidskými činnostmi.

Jednou z nejdůležitějších složek životního prostředí je ovzduší. Jistě je zřejmé, že potřeba dýchat je všem živým organismům vlastní a bez dostatku kyslíku je prakticky žít nemožný. Ale s ovzduším vdechujeme i škodlivé látky, které jsou ovzduším transportovány a jejichž koncentrace může způsobovat zdravotní poškození škodlivinou exponovaného jedince. Ve volném ovzduší velkých měst, za které v tomto ohledu můžeme Brno považovat, jsou dnes nacházeny vysoké koncentrace některých škodlivin, které mohou být zdravotně rizikové. Jsou to v první řadě prach, jeho jemné částice jejichž průměr není větší než 10 mikrometrů nazývané v odborné literatuře PM10 (polétavý prach do 10  $\mu\text{m}$ ), plynný oxid dusičitý a dvě kancerogenní organické sloučeniny benzen a benzo-a-pyren. Pro všechny tyto látky máme v naší legislativě uvedeny limity, jejichž dodržení je monitorováno orgány státní správy (MŽP, MZ).

Druhým významným typem škodliviny, shodou okolností také se šířícím ovzduším, je hluk. Jeho expozici je vystaven v průběhu dne prakticky každý člověk. I pro tuto škodlivinu máme legislativně stanovené limity pro ochranu lidí. Ve volném či urbánním prostředí jsou převážně určujícím zdrojem hluku všechny typy dopravy. Na Vinohradech je to potom jednoznačně doprava automobilová.

Tato studie realizovaná z rozhodnutí Rady městské části Vinohrad z podzimu 2013 měla tedy za úkol pokusit se zjistit významnost zdravotních rizik obou těchto škodlivin pomocí

měření a dalších moderních postupů a na základě takto zjištěných faktů vyjádřit případná zdravotní rizika expozice těchto pro Vinohrady nejvýznamnějších škodlivin – zátěže volného ovzduší chemickými látkami a prachem a hlukovou expozicí jeho obyvatel dopravním hlukem.

## **Zátěž životního prostředí a jeho vliv na zdraví obyvatel**

Podle Světové zdravotnické organizace způsobuje znečištění životního prostředí v evropském regionu až 25 % onemocnění. Pouze v důsledku znečištění ovzduší polétavým prachem předčasně zemře v Evropě zhruba 280 tisíc lidí ročně, odhad pro ČR činí 6–7 tisíc lidí, což pro Brno by znamenalo roční úmrtí 200-250 osob. Podíl předčasných úmrtí způsobených znečištěním ovzduší aerosolovými částicemi je v ČR tedy odhadován na téměř 7 % všech úmrtí a počet ztracených roků života lidí v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi je v ČR odhadnut na dokonce necelých 96 000 let, a co je významné, zkrácení naděje na dožití vlivem zátěže ovzduší činí celých 8,5 roku. Znečištění ovzduší prašností má v ČR za následek ročně také přibližně 900 hospitalizací pro akutní srdeční a 1400 hospitalizací pro akutní respirační obtíže.

Neméně tak významné jsou také dopady hlukové expozice obyvatel ČR. Všudypřítomná expozice hlukem přispívá k odhadovanému podílu téměř čtvrtiny nemocí jejichž důvodem je poškozené životní prostředí. Pokud jde o expozici hlukem je dokonce jedna třetina evropské populace denním hlukem obtěžována a jeden z pěti je rušen ve spánku vlivem dopravního hluku. Epidemiologické studie na desítkách tisíc evropských obyvatel velkých měst prokázaly, že chronická expozice vysokými hladinami hluku vede ke zvýšení rizika kardiovaskulárních onemocnění jako je akutní infarkt myokardu (AIM). Tedy hluková expozice je považována nikoliv pouze za environmentální újmu, ale také jako hrozba veřejného zdraví.

Téměř 20% obyvatel zemí Evropské unie, žijících v městských aglomeracích větších než 250.000 obyvatel, je exponováno dlouhodobě hlukem v pásmu 60-64 dB. Tato expozice s sebou nese relativní riziko navýšení akutního infarktu myokardu o 1,5% nad stav charakteristický pro populaci v daném státě. Co je však ještě závažnější v následujícím hlukovém pásmu 65-69 dB, čemuž odpovídá podíl rizika AIM již 6,3%, dlouhodobě žije ještě celých 10% této populace.

Shrneme-li předchozí konstatování, je zřejmé, že nejvýznamnějšími zdravotními dopady spojenými s expozicemi znečištěného životního prostředí jsou respirační onemocnění, alergie, kardiovaskulární a, stres a z něho vyplývající metabolická onemocnění, ale také nádorová onemocnění z expozice kancerogenních látek z ovzduší.

## **Demografický profil vinohradské populace**

Celkový počet obyvatel bydlících na Vinohradech činí k 1.1.2014 12.901 obyvatel. Obyvatelé Vinohrad obývají celkem cca 5600 bytových jednotek umístěných v pěti-, osmi- a dvanáctipodlažních domech. Malý podíl v lokalitě Révová je tvořen rodinnými domky. Největší počet bytových jednotek je tvořen kombinací 1+3 a 1+4. V průměrné bytové jednotce můžeme tedy počítat 2,3 členou rodinu.

Demografický profil je velmi podobný jako v celé České Republice. Rozdělení obyvatel Vinohrad na dětskou a dospívající populaci, populaci ekonomicky činnou a populaci starší je uveden v následující tabulce.

**Tab. 1: Věkové složení obyvatel Vinohrad (stav k 1.1.2014)**

Věková skupina	Počet obyvatel	Procentický podíl Vinohrady	Procentický podíl ČR
0 - 4	349	2,7	5,4
5 - 14	1.031	8,0	8,8
15 - 18	264	2,0	5,7(15-19)
19 - 64	9282	72,0	64,6 (20-64)
65+	1.974	15,3	15,5
Vinohrady celkem	12.900	100,0	100,0

Z tabulky je zřejmé, že na Vinohradech postupně ubývá dětské a dospívající populace, která je v obou kategoriích nižší než je její podíl v celé české populaci. Vzhledem k tomu, že generace starší 65let tvoří na Vinohradech prakticky totožný podíl jako je tomu v celé ČR, je zřejmé, že tato lokalita je obrazem postupně stárnoucí společnosti s nadprůměrným podílem ekonomicky činného segmentu populace starší 20let ( 72% proti 65% v %CR).

## Objektivizace environmentálních rizik na Vinohradech

Prašnost je, jak již bylo mnohokrát konstatováno významným, v poslední době zásadním zdravotním rizikem v České republice, tedy i v Brně. Město samo, či jeho značné části jsou pravidelně definovány metodikou MŽP jako území se zhoršenou kvalitou ovzduší.

Prašnost je tedy považována za jeden z významných škodlivých faktorů vedoucích k různým onemocněním exponované populace. Protože v lokalitě Vinohrady je významným zdrojem polévatého prachu pohyb motorových vozidel, byly již dříve učiněny pokusy o objektivizaci jeho koncentrace. Důvodem k měření imisí byl požadavek na znalost imisní zátěže na okraji sídliště Vinohrady poblíž křižovatky komunikací třetí třídy Žarošická(642)-Jedovnická(373). První měření imisí proběhlo v desetidenním nepřetržitém režimu již v únoru roku 2009. Podle údajů odboru dopravy MMB z roku 2007, projíždělo touto křižovatkou kolem 18-20 tis. vozidel denně. Je to tedy komunikace s vysokým stupněm dopravního zatížení, produkující velké množství imisních škodlivin. Výsledky tohoto měření jasně prokázaly, že doprava je určujícím zdrojem kontaminace ovzduší Vinohrad.

Zde je však nutné konstatovat, že pro zcela objektivní hodnocení zdravotního rizika jak krátkodobých, tak zejména dlouhodobých koncentrací je desetidenní imisní měření z roku 2009 příliš krátká doba. V případě města Brna si sice můžeme pomoci porovnáním naměřených koncentrací s údaji z dalších imisních stanic, jimiž v brněnské aglomeraci průběžně hodnotíme stav imisní zátěže na jejím území, či úhrnnou rozptylovou studií popisující stav imisní zátěže na území celé brněnské aglomerace, ale generalizace stavu poplatná šíří záběru popisovaného území, nedovoluje dokonale hodnotit situaci v menších částech Vinohrad. Cílovým řešením je tedy objektivizace imisní zátěže až na úroveň

jednotlivých ulic, či domů na Vinohradech pomocí vhodného rozptylového modelu, doplněného opakovaným imisním měřením v několika typických vinohradských lokalitách.

Druhým neméně významným environmentálním rizikem je zátěž hlukem. V prostředí Vinohrad je tato zátěž životního prostředí způsobována zejména hlukem dopravním, který se šíří podél komunikací vedoucích jak vně, tak uvnitř Vinohrad. Hluk z dopravy představuje nežádoucí element ve vnějším prostředí, který ruší a obtěžuje exponované osoby a může ohrozit i jejich zdraví.

K přesnějšímu poznání jeho expozičních úrovní může přispět , tak jako v případě hodnocení imisní zátěže, pouze detailní model hlukové zátěže. Ten byl spolu s aktuálním průzkumem četnosti dopravy na Vinohradech zhotoven jako součást podkladů pro zhodnocení těchto environmentálních rizik.

## Ovzduší a zdraví

Zhoršená kvalita ovzduší je zásadním problémem životního prostředí ČR a zůstává nevyhovující nejen ve většině velkých měst, ale také v malých sídlech, kde se spalují pevná paliva na zastaralých zařízeních. Hlavním problémem z hlediska vlivu na zdraví je emisní znečištění jemnými suspendovanými prašnými částicemi, takzvaným pevným aerosolem. Podle kvalifikovaného odhadu představuje chronická expozice aerosolovým částicím v ČR ztrátu zhruba 96 tisíc let života ročně v důsledku předčasné úmrtnosti, která představuje 6 až 7 % všech úmrtí, a zkrácení naděje dožití o téměř 9 měsíců.

Při tomto konstatování však nesmíme zapomenout, že na projevech zhoršení nemocí vlivem expozice zatíženého ovzduší se může významně podílet i znečištění vnitřního prostředí, které způsobují životní podmínky v obytných místnostech. Je to zejména málo uvážené používání bytové chemie, případně kouření v bytě. Tabákový kouř, při jehož dýchání dochází jednoznačně k poškozování zdraví, může být významným zdrojem dýchacích potíží a alergií dětí, které jsou mu v domácnostech nedobrovolně vystavovány. Kouření rodičů je totiž dosud nejběžnějším zdrojem dětské expozice tabákovému kouři se všemi negativními důsledky tohoto jevu.

## ***Imisní zátěž ovzduší v Brně a na Vinohradech***

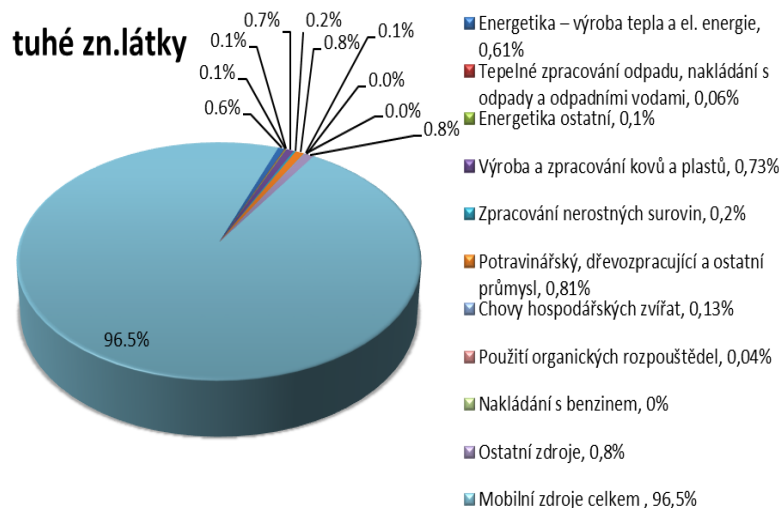
Pro město Brno existuje díky zákonu o ochraně ovzduší velice přesná a časově platná dokumentace o emisních zdrojích, které ovzduší ve městě ovlivňují. Z celkového počtu jednotlivě evidovaných emisních zdrojů podle povinností jejich majitelů daných Zákonem o ovzduší č. 201/2012 Sb., činí více jak tři čtvrtiny emisí zdroje, vyrábějící elektřinu a teplo. Zákonem jsou sledovány u těchto zdrojů emise tuhých znečišťujících látek (TZL), oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>), dusičitého (NO<sub>2</sub>) a také některých dalších specifických emisních škodlivin. Všechny zvláště velké a velké emisní zdroje jsou poměrně přesně tímto zákonem podchyceny a jsou také jím dobře regulovány. Daleko větší problém v zátěži ovzduší však dnes tvoří zdroje malé a zejména automobilová doprava.

Není proto žádným tajemstvím, že na emisích tuhých znečišťujících látek (TZL a jemných frakcí polétavého prachu PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>) se v Brně zcela dominantním způsobem podílejí mobilní zdroje (automobilová doprava všech typů). Mobilní zdroje totiž v brněnské aglomeraci tvoří více než 95% celkové emisní zátěže polétavým prachem. V přímém kontrastu s tímto faktem je opakovaně potvrzovaný poznatek, že významnost zdrojů kategorie velkých, zejména energetických ale i jiných průmyslových zdrojů (kontrolovaných podle



seznamu znečišťujících zdrojů , REZZO1), je v Brně prakticky okrajová (pouhých 6% celkové zátěže). Schematicky je to uvedeno na následujícím obrázku.

**Obr.3: Podíl jednotlivých skupin zdrojů na celkových emisích tuhých znečišťujících látek, statutární město Brno, stav z roku 2011**



### Celková emisní bilance

Jak již bylo naznačeno, pravidelné inventarizace emisí znečišťujících látek jsou prováděny orgány státní správy v intencích požadavků zákona o ovzduší č. 201/2012 Sb. Podle tohoto zákona o ochraně ovzduší jsou definovány typy emisních zdrojů v jednotlivých kategoriích, které jsou označeny následovně :

**REZZO1** – zvláště velké emisní zdroje (obvykle zásobování teplem apod.) na území města Brna je těchto podniků současně identifikováno celkem 51

**REZZO2** – Tzv. střední zdroje znečišťování ovzduší, většinou průmyslové podniky , celkem v Brně 689 takovýchto podniků a provozoven

**REZZO3** – Tzv. malé zdroje zahrnují také emise z vytápění domácností, ze zemědělských činností, ze stavebních prací a z plošného použití organických rozpouštědel (stanice výdeje PHM)

**REZZO4** – Jedná se o emise z provozu všech typů dopravy na území města Brna.

Z těchto pravidelně obnovovaných emisních údajů je možno soudit na trendy a předpoklady emisních zátěží v Brně. Jako důležité škodliviny jsou v Brně identifikovány chemické látky (plynné a pevné povahy) , z nichž ze zdravotních důvodů nejdůležitější jsou plynné oxidy dusíku, zejména oxid dusičitý NO<sub>2</sub>, polévatý prach frakce PM<sub>10</sub> a jemné frakce PM<sub>2,5</sub>, dále benzen (BZ) a polyaromatický uhlovodík benzo(a)pyren (BaP).

Jejich podíl na celkové zátěži ovzduší je uveden v následující tabulce.

**Tab. 2: Emisní bilance stacionárních a mobilních zdrojů ročních objemů látek znečišťujících ovzduší v členění podle kategorií jejich zdroje, statutární město Brno a podíl Vinohrad (2013)**

Kategorie zdroje	Popis zdroje	NO <sub>x</sub> (t/r)	PM <sub>10</sub> (t/r)	PM <sub>2,5</sub> (t/r)	BZ (t/r)	BaP (kg/r)
REZZO 1	Největší bodové zdroje	552,73	49,08	31,71	0,22	0,01
REZZO 2	Velké bodové zdroje	115,05	13,63	8,31	0,15	0,00
REZZO 3	Plošné zdroje – vytápění domácností, spalovací procesy, stavební práce, použití org. rozpouštědel a emise PHM	97,40	39,84	14,87	17,46	5,88
<b>REZZO 4</b>	<b>Liniové zdroje</b>	<b>1 825,53</b>	<b>821,08</b>	<b>465,06</b>	<b>31,21</b>	<b>22,33</b>
<b>Celkem</b>		<b>2 590,70</b>	<b>922,6</b>	<b>519,95</b>	<b>49,04</b>	<b>28,22</b>
<b>Podíl REZZO 4 na celkových emisích v Brně</b>		<b>70,5</b>	<b>89,0</b>	<b>89,4</b>	<b>63,6</b>	<b>79,2</b>
Emisí REZZO 3 a 4 , Brno-Vinohrady		23,75	11,23	6,0	1,012	0,32
<b>Podíl Vinohrad na celkových emisích Brna</b>		<b>0,92</b>	<b>1,22</b>	<b>1,15</b>	<b>2,06</b>	<b>1,13</b>

Z tabulky je zcela názorně vidět, že naprostou převahu v imisní zátěži tvoří emise všech typů automobilové dopravy (červeně vyznačený řádek REZZ4). Její podíl na celkové zátěži ovzduší je prakticky pro všechny v tabulce uvedené škodliviny rozhodující, přičemž prašnost je tvořena dopravou téměř z 9/10. Je také zajímavé, že prakticky velice podobný je podíl dopravy (takřka 90%) na celkových imisích karcinogenního benzo-a-pyrenu, který obecně vzniká jako produkt všech typů spalovacích procesů. Z toho je vidět, jak jsou velké spalovací procesy pečlivě v Brně vedeny, protože jejich způsoby spalování produkují podstatně méně této karcinogenní škodliviny než pohon automobilů.

V posledních dvou řádcích tabulky jsou potom uvedeny hodnoty emisí těchto význačných škodlivin jimiž se na imisní zátěži Brna podílí Vinohrady. Zde jsou evidovány pouze zdroje REZZO 3 a 4, tedy zdroje místního vytápění, manipulace s PHM, ale co je pro Vinohrady významné, také imisní zátěž dopravou. Nejvyšší relativní podíl však na Vinohradech tvoří imise benzenu (více než 2% celobrněnských emisí), jejichž zdrojem je společně doprava ale zejména nakládání s PHM.

### **Měření imisní zátěže ovzduší na Vinohradech v roce 2013-2014**

Základem pro hodnocení zdravotních rizik je poměření imisních zátěží volného ovzduší s aktuálními koncentracemi v něm se nalézajících imisních škodlivin. Zákon o ochraně ovzduší uvádí platné legislativní limity pro ochranu zdraví několika nejvýznamnějších imisních škodlivin. Jejich výčet je uveden v následující tabulce.

**Tab. 3 : Výběr Imisních limitů vyhlášených pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid dusičitý	1 hodina	200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Benzen	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0

Tyto legislativní limity jsou tedy stanoveny zákonem a to na základě obecného konsensu odborníků, přičemž ne vždy jsou to koncentrace, které nemají žádný negativní vliv na zdraví exponované populace. V častých případech je nutno takovýto limit stanovit s ohledem na možnost škodlivinu v těchto koncentracích detekovat, ale také se musí uvažovat například o možnostech zda lze příslušnou škodlivinu ze životního prostředí částečně nebo zcela eliminovat.

K pochopení jaké zdravotní problémy mohou být spojovány s aktuálními a dlouhodobými koncentracemi imisních škodlivin se musí v daném místě realizovat podpurná imisní měření, jež spolu s dalšími podklady mohou být základem pro kvantifikaci imisní zátěže ovzduší v uvažované lokalitě a sloužit pro následný výpočet míry zdravotního rizika.

Z tohoto důvodu tedy bylo v roce 2013 Radou MČ rozhodnuto o provedení podrobnějšího zhodnocení vlivu imisí zásadních škodlivin pomocí imisních měření na několika exponovaných místech Vinohrad a v následném kroku o zpracování speciální rozptylové imisní studie zátěže ovzduší Vinohrad. S těmito daty lze následně kvantifikovat případná zdravotní rizika imisní zátěže ovzduší.

Jako referenční místa pro střednědobá imisní měření byly vytipovány tři lokality, dvě s významným podílem dopravy na Vinohradech a jedno v relativně klidné části obce. Pro měření byla zvolena následující měřicí místa :

1. Dům s pečovatelskou službou, Věstonická 1, nacházející se v jihovýchodní části obce v okolí křižovatky Jedovnická-Křtinská. Měření bylo provedeno imisním měřicím vozem Magistrátu města Brna ve dnech 28.9.-13.10.2013.
2. Severní okraj Vinohrad u komunikace Žarošická na vrcholu stoupání této komunikace u komplexu patrových garáží Žarošická 6. Měření bylo provedeno stejným zařízením ve dnech 6.12.-17.12.2013.
3. Prostranství před ÚMČ Vinohrady, Velkopavlovická 25. Měření proběhlo ve dnech 16.-28.4.2014.

Mobilní měřicí jednotka je osazena analyzátory, které umožňují měření následujících znečišťujících látek:

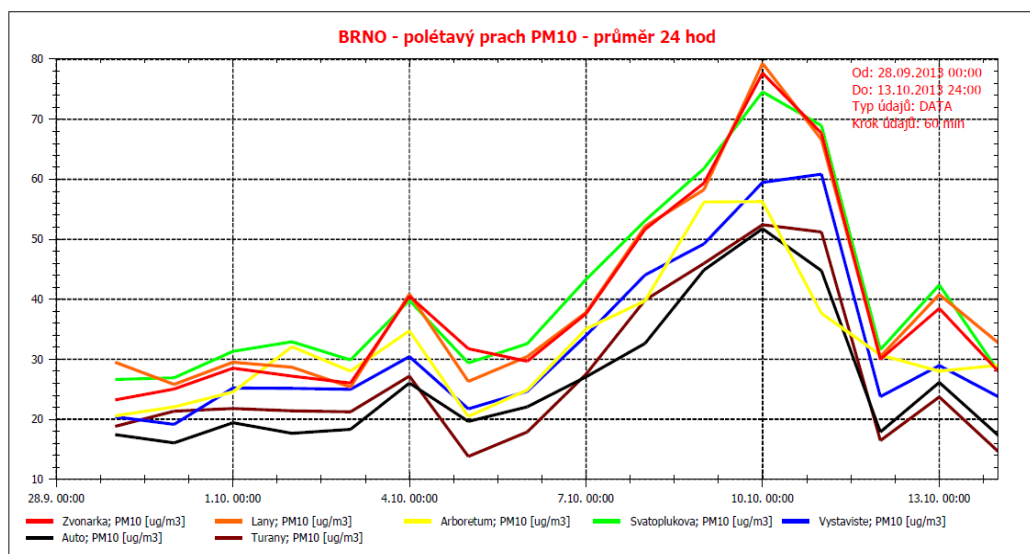
- prašný aerosol frakce PM10
- oxid siřičitý SO<sub>2</sub>
- oxidy dusíku NO, NO<sub>2</sub>
- oxid uhelnatý CO

Měřicí vůz je také vybaven přístroji pro měření základních meteorologických veličin - relativní vlhkosti, barometrického tlaku, směru a rychlosti větru. Výsledky jsou zpracovány

do protokolů o jednotlivých měřeních doplněných grafickým vyjádřením průběhu koncentrací měřených veličin. Protokoly ze všech tří měření jsou uvedeny jako samostatné přílohy této zprávy.

Výsledek jednoho měření pro prach PM10, které proběhlo v areálu DPS Věstonická 1 začátkem října 2013 je uveden na následujícím obrázku.

**Obr.4: Průběh imisních koncentrací polévatého prachu z první měřicí kampaně na Vinohradech a srovnání s výběrem brněnských stacionárních měřicích stanic v říjnu 2013.**



Z tohoto typického grafu (podobné byly získány i pro další měření polévatého prachu ale i pro oxidy dusíku, jakožto dvě nejvýznamnější škodliviny z dopravy) jsou patrné dvě zásadní informace :

1. Z charakteru průběhu imisních koncentrací získaných ve stejnou dobu na různých místech Brna je zřejmé, že prachová imisní zátěž významně podléhá regionálním až nadregionálním meteorologickým podmínkám (daných teplotou, směrem a silou větru), což znamená, že všechny stanice měří velice podobné průběhy koncentrací, v tomto případě s maximy kolem 10.října a minimy kolem 5.října.
2. Rozdíly jsou pouze v aktuálních hodnotách imisních koncentrací naměřených v různých místech Brna. Ty jsou téměř vždy nejnižší pro vinohradská měření (černá křivka), jenž jsou ponejvíce srovnatelná s brněnskou pozadřovou imisní stanicí umístěnou v Tuřanech na letišti (hnědá křivka). Další měřicí místa jsou potom stanice registrující imisní zátěže dopravně, či průmyslově více exponovaných lokalit v Brně. Maxima poskytují stanice na lokalitách Zvonarka (červená křivka) a Svatoplukova (křivka zelená). Obě stanice jsou umístěny v místech extrémně zatížených dopravou.

Z těchto informací můžeme učinit následující závěr:

*Imisní stanici Tuřany, jejíž aktuální hodnoty imisí jsou uváděny na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu, můžeme považovat ve většině dnů v roce za směrodatnou pro krátkodobé imisní k zátěže polévatého prachu na Vinohradech. Tyto informace jsou volně přístupné na adrese <http://www.chmu.cz>*

Z protokolů o imisním měření na všech třech vytipovaných místech je zřejmé, že hodnoty imisí oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>) a oxidu uhelnatého (CO) jsou tak nízké, že dosahují jednotky procent imisního limitu a tudíž jejich zdravotní riziko je prakticky nulové. V dalším se tedy jimi nemusíme zabývat. V následující tabulce jsou tedy souhrnně uvedeny pouze naměřené hodnoty pro polévatý prach a oxidy dusíku. Jak již bylo řečeno, obě imisní škodliviny jsou spojovány převážně s dopravou, tedy s její intenzitou. V tabulce jsou pro všechna tři střednědobá měření uvedeny vždy hodnoty minimální, maximální a aritmetický průměr.

**Tab.4 : Hodnoty 24hodinových imisních koncentrací naměřených na Vinohradech**

Data měření	Veličina Jednotka	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO [µg/m <sup>3</sup> ]
28.9.-13.10. 2013	Průměr	25,7	18,5	12,1
	Minimum	16,1	12,6	4,9
	Maximum	51,8	36,4	28,2
6.12.-17.12. 2013	Průměr	16,0	24,5	19,4
	Minimum	7,2	12,9	4,5
	Maximum	29,1	30,1	46,8
16.4.-28.4. 2014	Průměr	15,1	6,5	3,0
	Minimum	8,2	1,6	1,7
	Maximum	24,7	13,0	6,6
Průměr tří kampaní	Průměr	18,9	16,5	11,5
	Minimum	10,5	9,0	3,7
	Maximum	35,2	26,5	27,2

**Tab. 5 : Hodnoty 1hodinových imisních koncentrací naměřených na Vinohradech**

Data měření	Veličina Jednotka	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO [µg/m <sup>3</sup> ]
28.9.-13.10. 2013	Minimum	0,4	7,2	0,8
	Maximum	99,6	50,1	91,7
6.12.-17.12. 2013	Minimum	0,0	4,8	3,7
	Maximum	45,7	46,5	94,2
16.4.-28.4. 2014	Minimum	1,5	1,4	1,4
	Maximum	61,6	23,2	27,4

V obou tabulkách jsou uvedeny imisní hodnoty získané ve všech třech turnusových měřeních na Vinohradech a to jako výsledky jednodenních (24hodinových) průměrů z každého z těchto tří měření a rozpětí denních i krátkodobých jednodinových koncentrací stejných škodlivin v těchto měřeních.

Z těchto výsledků můžeme učinit následující závěry :

1. Průměry imisních koncentrací zjištěných v podzimní, zimní a jarní části roku nabývají hodnot 18,9 (15,1-25,7)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro PM10 a 16,5 (6,5-24,5)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro NO<sub>2</sub>, přičemž spodní mez rozpětí tvoří vždy hodnoty jarní (dubnové) a horní mez hodnoty zimní, či podzimní (PM10). To potvrzuje platnost nejhorších imisních podmínek v zimním období roku.
2. Rozpětí krátkodobých 1hodinových imisních koncentrací tvoří hodnoty 0,0-96,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro PM<sub>10</sub>, 1,4-50,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro NO<sub>2</sub> a 0,8-91,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro NO.
3. Poměrně vysoké podíly nalezené imisní koncentrace oxidu dusnatého (NO) ve srovnání s hodnotami pro oxid dusičitý lze interpretovat tak, že za zásadní zdroj těchto oxidů je nutno pokládat automobilovou dopravu. Ta totiž produkuje převážně NO, jenž je ve volném ovzduší velice rychle oxidován na NO<sub>2</sub>. Právě tento oxid je zdraví rizikovou sloučeninou, která má pro hodnotu krátkodobé 1hodinové koncentrace stanoven imisní limit 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Této koncentrace však nikdy v průběhu měření (ani po přepočtu obou oxidů na NO<sub>2</sub>), nebylo dosaženo. Tyto hodnoty tedy nepřekračují v žádném měřeném intervalu legislativou limitované imisní koncentrace, hodnoty blízké se této hranici však mohou již pro citlivou populaci být určitým rizikem.
4. Pro polévatý prach PM10 bylo v jednom případě indikováno překročení limitní hodnoty 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , přičemž překročení této hodnoty dovoluje současná právní úprava v roce 36krát.

Jak již bylo dříve řečeno, jsou výsledky imisních měření pořizovaných přímo na místě významným údajem o okamžité nebo krátkodobé imisní situaci tohoto místa. Jejich význam pro hodnocení a interpretaci zdravotního rizika, které je obecně založeno na dlouhodobém hodnocení expozice nějakou škodlivinou, jsou však tyto výsledky nedostačující. Jsou však významnou pomůckou pro ověření a případnou kalibraci teoretického modelu, kterým se vypočítává plošná imisní zátěž definované lokality. Výstupy individuálních imisních měření byly v dalším postupu použity pro výpočet plošné imisní zátěže na území Vinohrad.

### ***Výpočet imisní zátěže Vinohrad z imisního modelu***

Na základě našeho požadavku byla vypracována Mgr.J.Buckem imisní rozptylová studie (RS) městské části Brno – Vinohrady, která kvantifikuje stávající imisní zatížení území této městské části. Zhotovená RS kromě jiného také uvádí stav emisí jednotlivých znečišťujících látek a jejich dlouhodobý vývoj na území města Brna a jejich vliv na kvalitu ovzduší v městské části Vinohrady.

Konstatuje, že kvalitu ovzduší ovlivňuje na Vinohradech zásadním způsobem doprava a to jak osobní, tak i dálková/nákladní. Pro město Brno existuje pravidelně inovovaná mapa dopravní sítě uvádějící intenzity všech druhů dopravy ve městě (Intenzity dopravy 2012, Brněnské komunikace a.s., Brno). Tato brněnská základní síť komunikací v délce 356 km byla pro detailní posouzení imisí z dopravy doplněna o podrobnější komunikační úseky na území Vinohrad. Všechny údaje o intenzitách automobilové dopravy byly standardizovány do struktury potřebné pro imisní výpočet.

Kvalitu ovzduší v naší městské části ovlivňují také výrazným způsobem zdroje znečišťování nacházející se mimo její území. Rozptylová studie byla zpracována na základě obou zdrojů dat z roku 2012 a s předpokladem pro rok 2016 a to podle standardní metodiky Ministerstva životního prostředí ČR.

Rozptylová studie počítá imisní koncentrace polévatého prachu frakcí (PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>), koncentrace oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>), benzenu BZ a benzo-a-pyrenu (BaP) ze všech těchto

emisních zdrojů a to matematickým postupem, který dovoluje vyjádřit tyto koncentrace v plochách ohraničených odstupňovanými imisními koncentracemi dané škodliviny ve zvoleném koncentračním inkrementu příslušné škodliviny. Získané výsledky pro jednotlivé identifikované škodliviny jsou uvedeny v dalších kapitolách této zprávy a jednotlivé koncentrační plochy imisní zátěže promítnuté na mapový podklad Vinohrad jsou uvedeny v jejích přílohách.

### Průměrné roční a nejvyšší denní koncentrace PM<sub>10</sub>

Vypočtené hodnoty pro imisní koncentrace PM<sub>10</sub> jsou uvedeny v tabulce č. 7. Hodnoty průměrných ročních koncentrací se na celém území katastru pohybují v rozmezí 16,9 až 20,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  s průměrnou hodnotou 18,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Protože celé území městské části Vinohrady, jako části k.ú. Židenice, zahrnuje jak část západní vysoce ovlivněnou intenzivní průmyslovou a zejména dopravní situací této části Brna (Židenice, Husovice a Zábrdovice s komunikacemi I. třídy 42 a 50), tak i naopak část severovýchodní, zasahující do relativně čisté Hádecké oblasti s nízkými koncentracemi škodlivin v ovzduší, budou zde pro poléťavý prach a dále pro všechny další imisní polutanty vyjádřeny koncentrace nacházené v zastavěném území vlastního vinohradského sídliště. V této zastavěné části jsou to koncentrace PM<sub>10</sub> průměr 18,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  s rozpětím (17,4-19,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Hodnoty získané z rozptylové studie pro roční průměry velmi dobře korespondují s hodnotami získanými na třech měřených lokalitách. Je tedy zřejmé, že i časově kratší lokální imisní měření může poskytnout poměrně dobrý údaj o zátěži touto škodlivinou.

Pro nejvyšší denní koncentrace PM<sub>10</sub> byly na území městské části vypočtené koncentrace v rozmezí 97,3 – 180,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  s průměrem necelých 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tyto hodnoty však nelze porovnat s přímým imisním měřením, protože to neobsahuje měření v celém ročním období v němž zejména v lednu a únoru jsou obvykle zaznamenávány vysoké denní koncentrace prachu díky déletrvajícím inverzním situacím.

Z grafických údajů rozptylové studie plyne (viz přílohy), že nejvyšší vypočtené roční koncentrace jsou lokalizovány do prostoru křižovatky Jedovnická-Žarošická a nejvyšší hodnoty denních 24h koncentrací jsou potom získávány pro nejjihnější část sídliště v prostoru křižovatky Jedovnická-Křtinská a DPS.

**Tab. 6: Vypočtené a naměřené koncentrace pro škodlivinu PM<sub>10</sub>**

Poléťavý prach PM <sub>10</sub>	průměrné roční koncentrace [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
	celé území katastru	zastavěné území	imisní měření 2013/14
Průměrná hodnota	18,5	19,0	18,9
Minimální hodnota	16,9	17,8	10,5
Maximální hodnota	20,4	20,1	35,2
Poléťavý prach PM <sub>10</sub>	nejvyšší denní 24h koncentrace [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
Tabulka 1:	celé území katastru	zastavěné území	imisní měření 2013/14
Průměrná hodnota	139,9	138,7	-
Minimální hodnota	98,1	97,3-120	8,2*
Maximální hodnota	270,9	160-180	51,8*

\* pro výpočet těchto hodnot je počet měřicích dnů nedostatečný

Použitá metodika dovoluje také vypočítat počet dnů v roce, ve kterých by denní imisní zátěž mohla překročit legislativní hodnotu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tato hodnota by mohla být na Vinohradech překračována přibližně 20 – 30 dnů/rok, přičemž prakticky na celém území sídliště je to pouze do 20 dnů/rok. Hodnoty kolem 30 dnů/rok, tj. jednoho měsíce, jsou potom identifikovatelné pouze v okolí Křižovatky Jedovnická-Křtinská. Hodnoty těchto výpočtů jsou uvedeny v tab.č.8.

**Tab. 7 : Četnosti překročení povoleného počtu dnů se zátěží vyšší než  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

Poléťavý prach $\text{PM}_{10}$	četnost překročení IL $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [dnů/rok]	
	celé území katastru	zastavěné území
Průměrná hodnota	21,7	23,0
Minimální hodnota	19,8	19,8
Maximální hodnota	30,1	27,0

Z uvedených výsledků je tedy zřejmé, že jak dlouhodobé, tak krátkodobé imisní zátěže na celém území Vinohrad vyhovují legislativním limitům definovaným v zákoně o ochraně ovzduší ve všech parametrech.

#### **Průměrné roční koncentrace jemné frakce $\text{PM}_{2,5}$**

Velmi jemné frakce poléťavého prachu, které reprezentuje v naší legislativě frakce  $\text{PM}_{2,5}$  jsou v posledním desetiletí podrobeny intenzivnímu výzkumu a sledování. Soudí se, že jejich zdravotní rizika jsou podstatně vyšší než rizika hrubších částic a také jejich výskyt je spojován především s automobilovou dopravou. Proto i zhotovená RS se touto frakcí zabývá. Vypočtené hodnoty imisního zatížení  $\text{PM}_{2,5}$  se pohybují v rozmezí 14,4 až  $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V zastavěné části obce je to potom v průměru  $16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s rozpětím ( $15,6$ - $16,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nejvyšší koncentrace byly vypočteny pro prakticky celý prstenec okružních komunikací Žarošická-Jedovnická-Křtinská-Věstonická s průnikem této zátěže do jihozápadní a severovýchodní části sídliště, tedy do oblastí ovlivněných dopravně více zatíženími místními komunikacemi.

**Tab. 8: Vypočtené dlouhodobé imisní koncentrace pro škodlivinu  $\text{PM}_{2,5}$**

Poléťavý prach $\text{PM}_{2,5}$	průměrné roční koncentrace [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	celé území katastru	zastavěné území
Průměrná hodnota	15,9	16,2
Minimální hodnota	14,4	15,6
Maximální hodnota	17,4	16,8

Pro poměr imisních koncentrací frakcí  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$  platí obecně přijímaná hodnota  $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10} = 0,7$ , která by měla zohledňovat mix různých emisních zdrojů. V případě imisního zatížení Vinohrad má tento poměr hodnotu 0,86, což implikuje zvýšený podíl jemných frakcí poléťavého prachu pocházející z dopravních emisí, které jsou pro tuto lokalitu dominantní. Situace na Vinohradech je tedy v tomto ohledu poněkud rizikovější, protože jak



již bylo řečeno, zdravotní rizika rostou s klesající velikostí inhalovaných částic polévatého prachu, tedy tím více, čím se poměr obou frakcí blíží hodnotě jedna.

### Průměrné roční koncentrace a maximální hodinové koncentrace NO<sub>2</sub>

Hodnoty imisního zatížení odečtené z rozptylové studie se pro tuto škodlivinu pohybují pro průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub> v rozmezí 22,9 až 30,4 µg/m<sup>3</sup>. Pokud jde o zátěž pouze v ploše zastavěné části Vinohrad, jsou tyto koncentrace velmi podobné s tím, že minimální hodnoty jsou poněkud vyšší díky tomu, že do souboru hodnot nejsou zahrnuty nezastavěné části území s nízkou intenzitou dopravy a naopak maximální hodnoty jsou identifikovány v jihozápadní části území přiléhajícímu k židenické zástavbě. Průměrné hodnoty jsou potom přibližně stejné (26,8 proti 27,6 µg/m<sup>3</sup>).

Pro maximální hodinové koncentrace NO<sub>2</sub> potom platí podobná úvaha, přičemž průměrné koncentrace jsou v obou případech shodně rovny 91,3 µg/m<sup>3</sup>.

V tomto případě jsou však imisní koncentrace NO<sub>2</sub> naměřené na třech lokalitách podstatně nižší než předpokládá použitý model. Je to dáno dvěma okolnostmi. Tak jako v případě polévatého prachu jsou tyto krátkodobé koncentrace závislé na počtu měření v zimních měsících a za druhé model používá přepočtení obou identifikovatelných oxidů na oxid dusičitý, tedy s výsledky přibližně dvojnásobnými.

Nejvyšší průměrné roční koncentrace škodliviny NO<sub>2</sub> byly modelem identifikovány v jihozápadní a střední části území, v oblastech ovlivněných dopravně více zatíženími komunikacemi. Maximální hodinové koncentrace téže škodliviny pak dosahují nejvyšších hodnot v jihovýchodní části tohoto území.

**Tab. 9 : Vypočtené koncentrace pro škodlivinu NO<sub>2</sub>**

Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	průměrné roční koncentrace [µg/m <sup>3</sup> ]		
	celé území katastru	zastavěné území	imisní měření 2013/14
Průměrná hodnota	26,8	27,6	16,5
Minimální hodnota	22,9	25,5	9,0
Maximální hodnota	30,4	29,6	26,5
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	nejvyšší 1hodinové koncentrace [µg/m <sup>3</sup> ]		
	celé území katastru	zastavěné území	imisní měření 2013/14
Průměrná hodnota	91,3	91,3	-
Minimální hodnota	80,9	76,0	1,4*
Maximální hodnota	134,7	106,5	50,1*

\* pro výpočet těchto hodnot je počet měřících dnů nedostatečný

Tak jako pro polévatý prach, i pro oxid dusičitý je možno vyjádřit počet dnů, ve kterých je překračována krátkodobá (jednohodinová) imisní koncentrace této škodliviny 200 µg/m<sup>3</sup>. Její překračování již může vyvolávat u zdravotně predisponovaných osob (zejména dětí) určité dýchací potíže.

**Tab. 10 : Četnosti překročení povoleného počtu dnů se zátěží vyšší než 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** 

Oxid dusičitý $\text{NO}_2$	četnost překročení IL 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [dnů/rok]	
	celé území katastru	zastavěné území
Průměrná hodnota	1	0,5
Minimální hodnota	0,2	0,2
Maximální hodnota	1,5	0,6

Z tabulky č.10 je zřejmé, že na celém území Vinohrad je to jen do výše jediného dne, pro vlastní zastavěné území potom dokonce vychází hodnoty menší než jeden den, tedy riziko minimální.

#### Průměrné roční koncentrace – benzen

V další části studie jsou hodnoceny imisní koncentrace dvou karcinogenních látek, které se ve venkovním prostředí obecně nacházejí v takových koncentracích, jenž je třeba regulovat limitními hodnotami pro ochranu ovzduší. Jsou to organické sloučeniny benzen a benzo-a-pyren. Tyto látky jsou za normálních atmosférických podmínek v plynném stavu (zejména benzen), nebo jsou pevně vázány k povrchu pevných prachových částic (zejména BaP). Protože jsou to oba kancerogeny, jsou i koncentrace, které by měly být „bezpečné“ pro populaci stanovovány legislativou na velmi nízkých úrovních. Pro benzen je to hodnota 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro BaP dokonce hodnota 0,001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy hodnota 1  $\text{ng}/\text{m}^3$ .

Modelem vypočtené hodnoty imisního zatížení benzenem na celém území městské části Brno – Vinohrady se pohybují v rozmezí 1,17 až 1,63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . V referenčních bodech nacházejících se na zastavěném území městské části byly vypočteny koncentrace v rozmezí 1,31-1,73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nejvyšší koncentrace byly vypočteny pro severovýchodní části podél komunikací Jedovnická a Žarošická včetně jejího odbočení do sídliště, tedy komunikace vedoucí do centra sídliště k Pálavskému náměstí. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č. 11.

**Tab. 11: Vypočtené koncentrace pro škodlivinu benzen**

Benzen	průměrné roční koncentrace [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	území podle katastru	zastavěné území
Průměrná hodnota	1,36	1,52
Minimální hodnota	1,17	1,31
Maximální hodnota	1,63	1,73

#### Průměrné roční koncentrace - benzo(a)pyren

Vypočtené hodnoty imisního zatížení pro tuto škodlivinu se ve městské části Brno – Vinohrady pohybují v rozmezí 0,25 až 0,63  $\text{ng}/\text{m}^3$  s průměrem 0,45  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Pro zastavěnou část Vinohrad to jsou koncentrace velmi podobné s průměrem téměř totožným 0,49  $\text{ng}/\text{m}^3$ .

Nejvyšší koncentrace byly modelem lokalizovány do jihozápadní a střední části území Vinohrad, v oblastech ovlivněných dopravně více zatíženími komunikacemi.

**Tab. 12 : Vypočtené koncentrace pro škodlivinu BaP**

Benzo-a-pyren	průměrné roční koncentrace [ng/m <sup>3</sup> ]	
	území podle katastru	zastavěné území
Průměrná hodnota	0,45	0,49
Minimální hodnota	0,25	0,39
Maximální hodnota	0,63	0,59

Z hodnot uvedených v tabulce č. 12 i z mapových podkladů je zřejmé, že za imisní zátěž touto škodlivinou jsou v první řadě odpovědné dálkové přenosy jemných prachových částic, na kterých jsou sloučeniny tohoto typu (polyaromatické uhlovodíky) pevně adsorbovány. Tedy jemný prach slouží jako jejich vehikulum. Tomu odpovídá velmi uniformní plošné zatížení touto škodlivinou velkých oblastí/aglomerací České republiky.

### Zdravotní rizika imisní zátěže ovzduší

Hodnocení zdravotních rizik z expozice škodlivých látek z ovzduší má vypracovaný, obecně přijímaný postup, jenž pochází z americké agentury pro životní prostředí US EPA. Tento obecně přijímaný postup sestává ze čtyř na sebe navazujících kroků, jejichž výsledkem je kvantifikace (určení míry a závažnosti) zdravotního rizika vyjádřeného příslušnou zdravotní diagnózou ve vztahu ke koncentraci posuzované škodliviny.

Postup můžeme schematicky uvést jako následující kroky :

1. Identifikace škodliviny
2. Vztah dávka – účinek
3. Výpočet expoziční dávky/expozice
4. Kvantifikace/charakterizace zdravotního rizika

První krok, jímž je identifikace škodlivin, musí definovat ty škodliviny v ovzduší, které jsou nebo mohou být v dané lokalitě pro lidské zdraví závažné. V ovzduší se vyskytuje celá řada látek/škodlivin, k jejichž hodnocení není dostatek údajů, nebo jejichž rizikovost není dostatečně prozkoumána. Proto se hodnocení zdravotních rizik imisní expozice ze zatíženého venkovního ovzduší koncentruje na skupinu imisních škodlivin, které jsou legislativně regulovány a jsou tedy podrobovány pravidelnému měření na imisních stanicích, případně jsou známy (zákonu podléhají) údaje o množství jejich emisí z různých technologických a průmyslových procesů.

Výběr škodlivin vzhledem k tomu, že zásadním zdrojem znečištění ovzduší na Vinohradech je doprava, byl omezen jen na škodliviny pro dopravu majoritní a pro něž také máme dostatek údajů k jejich hodnocení. Proto byly identifikovány jako významné imise polétavého prachu, oxidu dusičitého, benzenu a benzo-a-pyernu. Zdravotní důvody jejich výběru jsou uvedeny v následujících částech této kapitoly.

Pro tyto škodliviny se v dalším kroku postupu kvantifikace jejich zdravotního rizika musí definovat zásadní vztah, jímž je vztah dávka-účinek. Tedy jaká koncentrace způsobuje příslušné zdravotní riziko z expozice takovouto látkou. Obecně lze zdravotní účinky škodlivin na živý organismus rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Krátkodobé neboli **akutní** zdravotní účinky se projevují již při expozici jedné nebo při několika málo opakovaných dávkách v průběhu krátkého času (často 24 hod ale i doba kratší, např. 1 hod). Dlouhodobé, tj.

**chronické** účinky se projevují teprve s odstupem doby od zahájení expozice, případně po jejím skončení a předpokládá se dlouhodobá stálé expozice příslušnou škodlivinou (nejméně jeden rok, ale i více).

U toxikologicky významných chemických látek/škodlivin je sledován jednak jejich **systémový toxický účinek**, tedy účinek na nějaký orgán exponovaného člověka, přičemž můžeme poměrně přesně definovat takzvanou prahovou účinnost (tj. koncentraci, pod kterou již není zaznamenán žádný negativní účinek příslušné látky na tento cílový orgán) nebo **karcinogenní efekt**, při kterém nelze určit prahovou dávku. V tomto druhém případě se tedy myšlenkově předpokládá, že neexistuje žádná bezpečná „prahová“ koncentrace pro expozici dané látky a měli bychom se snažit aby její expoziční koncentrace byla co nejnižší. .

Pro kvantifikaci tohoto vztahu dávka-účinek máme k dispozici toxikologické databáze v nichž jsou odvozeny pro expozici systémově působících škodlivin takzvané referenční koncentrace (RfC). Dosažení jejich hodnoty znamená, že při daném způsobu expozice je právě dosaženo stavu poškozujícího zdraví exponované osoby.

Ve třetím kroku se musíme pokusit pokud možno co nepřesněji vypočítat **expozici** daného člověka. Tento proces není bez problémů. Je jisté, že člověk se v daném prostředí nevyskytuje celý svůj život bezvýtku. K určení doby expozice z prostředí, které je základem pro další stanovení míry zdravotního rizika se tedy musíme pokusit o odhad možné expozice pomocí takzvaných expozičních scénářů, pomocí kterých se dá expozice odhadnout s potřebnou přesností. V tomto procesu se vždy dopouštíme určitých zjednodušení, které jsou v dalším postupu kompenzována například tím, že pro výpočet rizika používáme nejnepříznivější odhad potenciální expozice, jeho délku a pobyt člověka v takovémto prostředí. Tomuto principu v hodnocení zdravotních rizika často používanému, říkáme princip předběžné opatrnosti.

Pro inhalační expozici jsou výpočetní konstanty stanoveny tak, abychom popsali průměrné chování „ideálního člověka“ a k odhadu expozice mohli použít přímo imisní koncentrace příslušné škodliviny.

Konečně poslední, čtvrtý krok k výpočtu zdravotního rizika, jemuž říkáme **charakterizace rizika**, je závěrečným shrnutím všech předchozích úvah a dílčích výpočtů. Tímto krokem určíme pravděpodobnost poškození cílového organismu rizikovým faktorem nejprve na základě kvantifikace, tzn. aplikace matematických modelů sloužících k výpočtu rizika, a dále na základě interpretace výsledků a konečného vyhodnocení rizika.

Jím se dosáhne jednoho čísla, které charakterizuje míru zdravotního poškození nebo také závažnost zdravotního rizika pro exponovaného člověka v daném prostředí.

Základní údaje o rizikovosti významných škodlivin, které se nalézají v ovzduší, zejména jako důsledek jeho znečišťování lidskou činností (tedy pro Vinohrady signifikantním zdrojem jímž je automobilová doprava), jsou uvedeny v následující části této kapitoly.

**Poléťavý prach** je široký pojem, zahrnující mnohé formy tuhých aerosolů, způsobovaných člověkem nebo pocházejícími z přírodních zdrojů. Za 95% prašnosti však odpovídá lidská činnost. Signifikantním zdrojem částic je také kondenzace plynů, jako je oxid siřičitý, čpavek a oxidy dusíku za vzniku pevných velice jemných aerosolů. Z tohoto jevu může pocházet při vhodných meteorologických podmínkách až jedna polovina celkového množství prachu. Na prachových částicích se nachází organické škodliviny, které mohou mít velmi závažný zdravotní význam a souvisejí s toxicitou, ale i karcinogenitou prachu. Nejjemnější částice v ovzduší jsou produkovány člověkem, a to zejména spalováním fosilních paliv. Chemické a fyzikální vlastnosti prašných částic předjímají jejich další chování a reakce organismu.

Částice větší než 10 mikronů jsou deponovány v horních cestách dýchacích a odtud jsou vykašlávány, v horším případě polknuty, částice 5 - 10 mikronů jsou vdechnuty a deponovány nejbližší průdušinkám, částice pod 5 mikronů vnikají do alveolů a jejich další osud se řídí podle jejich rozpustnosti. Nejzajímavějšími ze zdravotního hlediska se ukazují být v posledních letech částice menší než 2,5 mikronů, které pronikající nejhlouběji do dolních dýchacích cest. Chronický efekt dlouhodobé inhalace polévatého prachu, zjištěný ve velkých epidemiologických studiích, je vázán na úmrtnost. V USA byla zjištěna výrazná vazba na nemoci srdeční a oběhové. Je také popsán těsný vztah mezi vzrůstem koncentrace jemných frakcí prachu s nárůstem předčasných úmrtí. Dnes se soudí, že :

- prachové částice v ovzduší obecně způsobují vzrůst rizika úmrtí na respirační choroby a to zejména u dětí do 1 roku života, ovlivňují u dětí rychlost vývoje plic, zhoršují astma a způsobují další respirační symptomy jako kašel a bronchitidu;
- frakce PM10 má vliv na nárůst nových případů respiračních chorob, což je zřejmé z počtů hospitalizací v důsledku nemocí dýchacích cest;
- frakce PM2,5 vážně ovlivňuje zdraví, zvyšuje počty předčasných úmrtí zejména starší populace, počty chronických onemocnění dolních cest dýchacích dětí i dospělých a dalších onemocnění spojovaných s výskytem vyšších koncentrací prachu v ovzduší.

Pro hodnocení zdravotních rizik z inhalace prašného aerosolu byly stanoveny jasné závislosti. Změna imisní koncentrace prachu způsobuje změnu počtu výskytu některé z těch chorob, které jsou svázány s touto změnou imisní koncentrace polévatého prachu. Nejčastěji to jsou nárůsty hospitalizací s dýchacími problémy, přírůstky dnů omezené aktivity, či onemocnění horních a dolních cest dýchacích.

**Oxid dusičitý** – Obecně jsou oxidy dusíku reprezentanty spalování fosilních paliv, zejména těch, které hoří při vysokých teplotách nad 1 000 stupňů, t.j. benzínu, mazutu, ropy, svítiplynu, zemního plynu, uhlí a dalších. Jedním z největších přispěvatelů tohoto plynu do volného ovzduší je však doprava. V zemích OECD se doprava považuje za zdroj 10% z celkového množství všech oxidů dusíku, ovšem v rozvinutých zemích včetně ČR je to více, než 50%. V Brně potom podle emisní inventury to činí celých 70%. Z jejich reaktivity a chemismu v ovzduší vyplývá, že se primárně tvořený oxid dusnatý (NO) poměrně rychle oxiduje na oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>), který tvoří hlavní inhalační riziko pro člověka.

Z 80 - 90 % se tyto oxidy absorbují v dolních dýchacích cestách, lépe pronikají při inhalaci otevřenými ústy. V plicích, dochází k interakci s hlenem, který slouží k ochraně dýchacích cest. I v nízkých koncentracích dochází při jeho inhalaci ke konstrikcii dýchacích cest, což s sebou nese zhoršení dýchání, zejména u osob s dýchacími problémy (děti, astmatici). Ve velmi vysokých koncentracích se váže na hemoglobin a podílí se na methemoglobinemii s projevy dušení. Tak vysoké koncentrace se však ve volném ovzduší nenalézají.

### **Volatilní organické látky (benzen), Polyaromatické uhlovodíky (PAH), vyjádřené jako benzo-a-pyren.**

**Benzen** je stabilní bezbarvá kapalina s charakteristickým zápachem, nízkým bodem varu s vypařováním při pokojové teplotě, je tedy vysoce volatilní. Ve vyráběném benzínu pro zvýšení oktanového čísla může být až 5% benzenu. V ovzduší se nalézá v čistých oblastech v koncentracích do 0,2 µg/m<sup>3</sup>. Ve znečištěných městech může jeho koncentrace dosahovat až desítky mikrogramů.

Je to prokázáný zvířecí i lidský karcinogen. Pro jeho expozici je nejdůležitější ovzduší, kterým člověk obdrží více než 99%. Po jeho vdechnutí je předpokládán vstřebání až 50% při trvalé expozici. Při krátkodobé i dlouhodobé expozici shodně vzniká poškození kostní dřeně vedoucí k anemii, jsou nalézány chromozomální změny a z toho resultující karcinogenita. Ochotně prochází placentou, čímž je rizikový i pro nenarozený lidský plod.

WHO uvádí pro karcinogenní riziko celoživotní inhalační expozice spojované s rizikem vzniku 1 onemocnění leukémií na milion exponovaných obyvatel nad přirozený výskyt v populaci pro koncentraci benzenu rovnu  $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Naše legislativa však doposud umožňuje akceptovat dlouhodobou hodnotu imisní koncentrace benzenu ve výši  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**PAH , mezi nimi i BaP** představují skupinu organických látek, které kontaminují všechny složky životního prostředí a to půdu, vodu, potraviny i ovzduší. Jsou to produkty všech typů hoření organických látek při teplotách kolem  $700\text{C}^\circ$ . Soudí se, že všechny spalovací procesy vytvářejí celosvětově celkem 80 % polyaromátů, zbytek, tj. 20% z celosvětové produkce, je z mobilních zdrojů. Složení PAHů ve volném ovzduší závisí na typu zdroje, vzdálenosti od jeho zdroje, druhu spalovaného materiálu, přístupu kyslíku. V ovzduší je prokázána vazba polyaromátů na částice menší  $5 \mu\text{m}$ . Z atmosféry jsou vymývány do prostředí. Identifikováno bylo na 500 sloučenin tohoto typu, z nichž ovšem jen malá část je zdraví riziková. Mezi ně patří asi 16 výrazně rizikových z nichž byl jako jejich zástupce pro hodnocení rizika celé skupiny zvolen benzo-a-pyren (BaP)

Americká organizace pro ochranu životního prostředí US EPA hodnotí několik z nich jako karcinogenní. V buněčných lidských kulturách vyvolávají mutagenní změny a cílovým orgánem pravděpodobného vzniku nádoru je epitel dýchacího systému. Expozice PAH, resp. BaP jsou tedy spojovány nejvíce s rakovinou plic, močového měchýře, případně kůže.

WHO považuje koncentraci benzo(a)pyrenu v ovzduší za vhodný ukazatel karcinogenního potenciálu celé frakce. Jako jednotku karcinogenního rizika pro celoživotní expozici  $1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  uvádí hodnotu  $8,7 \times 10^{-5}$ , takže koncentrace odpovídající přijatelnému riziku  $10^{-6}$  je  $0,012 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ , což je hodnota podstatně nižší než současně platný imisní limit  $1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  i než jsou koncentrace běžné v ovzduší, zejména městských aglomerací.

## **Vyhodnocení zdravotních rizik obyvatel Vinohrad z imisní expozice identifikovanými škodlivinami**

### ***Riziko akutní a chronické expozice poléťavého prachu obyvateli Vinohrad***

Na obrázcích imisní rozptylové studie můžeme pro dlouhodobé koncentrace poléťavého prachu frakce PM10 odečíst hodnoty v pásmu  $17,8 - 20,1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jižní část Vinohrad je exponována imisemi o koncentraci  $18,75$  v severní polovině  $18,35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Severní okraj Vinohrad je díky své provětrávané poloze exponován nejméně, průměrná koncentrace v této zastavěné části činí pouze  $17,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Za střední hodnotu imisní zátěže obyvatel Vinohrad můžeme vzhledem k poměrně malému rozpětí těchto koncentrací, aritmetický průměr imisní koncentrace, tj. hodnotu  $19,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Prakticky stejná úvaha (pouze s o něco nižšími koncentracemi) platí i pro imisní zátěž frakcí PM2,5. Zde jsou reálné imisní expozice koncentrací v mezích  $15,6 - 16,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  s průměrem  $16,2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Na severním okraji Vinohrad je to expozice  $15,7$ , na jihu  $16,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Expozice na západním a východním okraji Vinohrad je o něco vyšší v důsledku vlivu

okružních komunikací Žarošická a Věstonická, ale ani zde se nejedná o nijak výrazně zvýšení koncentrace této škodliviny ( $16,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

### Akutní zdravotní rizika expozice polétavým prachem.

Metodika hodnocení akutních zdravotních rizik imisních škodlivin typu polétavého prachu používá konstanty z modelů a epidemiologických studií pro dlouhodobá imisní zatížení. Proto i pro výpočet akutního zdravotního rizika vinohradské populace vycházíme z těchto hodnot. Z populačních expozičních studií na velkých skupinách obyvatel evropských, ale i amerických městských aglomeracích, byly zjištěny závislosti změn/přírůstků těchto diagnóz souvisejících se zvýšením imisní koncentrace polétavého prachu. Výběr těchto vztahů pro hodnocení významných dopadů expozice prachu na zdraví jsou uvedeny v tabulce č.13.

K odhadu jejich závažnosti pro vinohradskou populaci vycházíme z průměrné roční imisní koncentrace definované modelem imisního rozptylu v hodnotách  $\text{PM}_{10} = 19,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a  $\text{PM}_{2,5} = 16,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , protože důvodně předpokládáme, že tyto imisní koncentrace polétavého prachu jsou odhadem nejméně příznivé imisní situace vztažené na celou populaci Vinohrad. Od těchto průměrných hodnot podle platné metodiky výpočtu rizik odečítáme imisní koncentraci považovanou za hodnotu, která nemá zdravotní riziko akutní expozice, Expoziční koncentrace expozice s vlivem na zdraví jsou tedy  $4,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pro  $\text{PM}_{10}$  resp.  $2,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pro frakci  $\text{PM}_{2,5}$ .

Populace, pro kterou jsou tato rizika počítána vychází z údajů statistického šetření v české populaci. Použité demografické údaje odpovídají ke stavu k 31.12.2013. Celkový počet obyvatel Vinohrad činí 12.900 a další demografické údaje jsou uvedeny v tab.č.1 této studie.

Nejdříve je třeba konstatovat, že tyto poměrně nízké koncentrace budou mít jen malý vliv na možná uvažovaná rizika, zejména pak rizika spojená s fatálním poškozením lidského organismu. Proto se ve výpočtu soustředíme pouze na odhad míry těch zdravotních komplikací, jejichž rizika jsou spojována i s relativně menšími nárůsty prašných imisí.

Použitá metodika hodnocení zdravotního rizika je postavena na vztazích založených na přírůstcích příčinných diagnóz vyvolaných nárůstem imisní koncentrace polétavého prachu o definovanou hodnotu  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pro hodnocení závažnosti zdravotních rizik z expozice prachem na Vinohradech jsme použili vztahy pro hospitalizace exponovaných obyvatel a příznaky projevovaného astmatického symptomu (tj. stavu, který vyžaduje opatrování dítěte a s ním také částečně spojených počtů dnů s omezenou aktivitou dospělého člověka. Tyto příčinné vztahy jsou uvedeny v tabulce 13 a výpočty jakým způsobem se tato expozice projeví u vinohradských obyvatel, potom v tabulce následující (tab. 14).

**Tab. 13 : Vztahy pro akutní expozici polétavým prachem**

Nárůst imisní koncentrace polétavého prachu o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Zdravotní projev této změny
akutní hospitalizace dospělých s dýchacími problémy (expozice $\text{PM}_{2,5}$ )	26,9/100.000 exponovaných
akutní hospitalizace dospělých s kardiovaskulárními problémy (expozice $\text{PM}_{2,5}$ )	25,4/100.000 exponovaných
přírůstek počtu dnů s příznaky astmatu a jeho symptomů (expozice $\text{PM}_{10}$ )	10 dnů/rok na 1000 exponovaných astmatických dětí v populaci 5-18let
počet dnů omezené aktivity dospělých (expozice $\text{PM}_{10}$ )	893 dnů/rok v exponované populaci 1000 osob (19-64 let)

**Tab. 14 : Výpočet akutních zdravotních rizik expozice polétavým prachem**

Diagnóza	Přírůstek případů/událostí			
	Zdravotní rizika současného stavu		Rizika z maximální/minimální expozice	
	Relativně na 100.000 obyv.	na počet exponovaných obyvatel	Relativně na 100.000 obyv.	na počet exponovaných obyvatel
akutní případy hospitalizace pro respirační onemocnění (PM2,5)	7,3	<b>0,8</b>	5,7/8,9	<b>0,65/1,02</b>
akutní hospitalizace dospělých s kardiovaskulárními problémy (PM2,5)	6,9	<b>0,8</b>	5,3/8,4	<b>0,61/0,97</b>
přírůstek počtu dnů s příznaky astmatu a jeho symptomů (PM10)	4*	<b>5,8</b>	2,7/5,1*	<b>3,9/7,3</b>
počet dnů omezené aktivity dospělých (PM10)	357**	<b>4115</b>	250/455**	<b>2880/5247</b>

\* počet dnů s dalšími respiračními syndromy jako je dušnost, bolest na hrudi, krátký dech a kašel u dětské populace ve věku 5-18let vztaženo na 1000 exponovaných dětí

\*\* počet dnů omezené aktivity při expozici 1000 obyvatel Vinohrad 19-64let

Hodnotíme-li akutní zdravotní rizika expozice dětské a dospělé populace z expozice polétavým prachem, můžeme konstatovat, že současná akutní expozice polétavým prachem frakce PM10 neznamená prakticky žádné významnější zdravotní riziko spojené s hospitalizací exponované osoby ať už na respirační/dýchací nebo kardiovaskulární obtíže. Potenciální přírůstek takovýchto hospitalizací v důsledku expozice prachem z vinohradského ovzduší je v obou případech nižší než jedna osoba z obyvatelstva Vinohrad, či se této hodnotě jen blíží. Tento počet je vzhledem k počtu obyvatel Vinohrad a počtům obou hospitalizací z obou důvodů, prakticky zanedbatelný.

Jako důsledek takovéto expozice lze na Vinohradech pozorovat pouze období definovaná jako dny se sníženou aktivitou vlivem zhoršení dýchacích problémů u dospělých, případně zvýšení počtu dnů s dalšími příznaky astmatu a astmatických stavů u dětské populace, která již astmatem trpí. V tomto případě můžeme vlivu prašné zátěže ovzduší přičítat pouze nepatrnému zlomku dnešní dětské populace.

Počet dnů s různě omezenými aktivitami dospělé populace můžeme odhadovat v řádech  $10^3$ . V tomto případě je však nutné si uvědomit, že tato metodika počítá jako dny s omezenou aktivitou dospělých nejen ty dny, ve kterých musí dospělý člověk „zůstat v posteli“, ale i ty dny, které musí rodič věnovat opatrování dítěte s diagnostikovanými chorobami horních nebo dolních cest dýchacích, které v chladném období roku nabývají četnosti u desítek procent dětské populace.

### **Chronická zdravotní rizika expozice polétavým prachem.**

Pro kvantifikaci zdravotního rizika dlouhodobé (několikaleté) expozice polétavým prachem jsme vybrali pouze dvě nejčastěji se s touto expozicí pojící diagnózy. Jsou to výskyty chronických onemocnění dolních cest dýchacích, notoricky známé jako bronchitidy. K hodnocení jejich závažnosti pro vinohradskou populaci potom použijeme stejné koncentrace polétavého prachu jako pro hodnocení akutních rizik s tím, že předpokládáme dlouhodobé (víceleté) zatížení takovouto imisní koncentrací polétavého prachu. Hodnoty



vztahu mezi přírůstkem imisní koncentrace ve volném ovzduší a počtem nově se vyskytujících případů mezi exponovanými osobami je uveden v tabulce 15.

**Tab. 15 : Vztahy pro chronickou expozici polétavým prachem**

Nárůst imisní koncentrace polétavého prachu o $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ PM10	Zdravotní projev této změny
chronické respirační onemocnění dospělých starších 27let	45,6 nových případů bronchitidy na 100.000 exponovaných dospělých
chronická bronchitida dětí 5-14 let	80/1000 exponovaných dětí

V další tabulce je potom vyčíslen vliv vinohradských koncentrací prachu v ovzduší na navýšení počtu chronických bronchitid dětské a dospělé vinohradské populace.

**Tab. 16 : Výpočet chronických zdravotních rizik z expozice polétavým prachem**

Diagnóza	Přírůstek případů/událostí			
	Zdravotní rizika současného stavu		Rizika z maximální/minimální expozice	
	Relativně na 100.000 obyv.	na počet exponovaných obyvatel v lokalitě	Relativně na 100.000 obyv.	na počet exponovaných obyvatel v lokalitě
chronické respirační onemocnění dospělých starších 27let	18,2	<b>1,9</b>	2,8/5,1	<b>1,3/2,4</b>
chronická bronchitida dětí 5-14let	32*	<b>33</b>	21,6/40,8*	<b>22/42</b>

\* počet případů chronické bronchitidy na 1000 exponovaných dětí ve věku 5-14let vlivem expozice PM10

Chronická, tedy dlouhodobá expozice polétavým prachem znamená pro vinohradskou dospělou populaci určitý byť relativně malý přírůstek chronických respiračních onemocnění. Tedy lépe řečeno můžeme odhadnout, že pro dospělého může tato expozice být důvodem pro projevení se některého z typů chronického onemocnění dýchacích cest v jednom až dvou případech. Toto onemocnění se může projevit jako astmatický stav, bronchitida, zánět dolních cest dýchacích apod..

Pokud jde o dětskou populaci, zde jsou výsledky poněkud méně příznivé. Dlouhodobou expozicí polétavého prachu o koncentraci kolem  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  může být důvodem pro nové chronické bronchitidy ve vinohradské dětské populaci ve více než 30 případech. To je z celkového počtu cca 1000 dětí ve věku 5-14let, žijících v současné době na Vinohradech pouze přibližně 3%. Máme-li v současné dětské populaci kolem 5,8% takto postižených dětí, je tedy možné vliv (poměrně čistého vinohradského ovzduší) přičítat vzniku asi poloviny bronchitických onemocnění.

## **Akutní zdravotní riziko expozice oxidem dusičitým**

Pro hodnocení **akutního rizika** expozice oxidu dusičitého NO<sub>2</sub> sice nemáme referenční hodnotu toxikologického rizika, ale můžeme v tomto případě použít referenční koncentraci doporučenou WHO tj. 200 µg.m<sup>-3</sup> (pro 1h koncentraci), která chrání před akutními účinky rizika dýchacích obtíží právě vnímavější jedince se sníženou plicní funkcí a astmatiky.

Hodnocení akutních inhalačních zdravotních rizik z expozice imisními jednodinovými koncentracemi NO<sub>2</sub> vypočítáme pomocí vztahu pro výpočet koeficientu rizika HQ dané škodliviny z její inhalační koncentrace C<sub>inh</sub> a referenční hodnoty RfC pro oxid dusičitý.

$$HQ_i = \frac{C_{inh}}{RfC_i}$$

Výsledkem tohoto výpočtu je bezrozměrné kladné číslo, jehož hodnota poměruje míru zdravotního rizika expozice danou škodlivinou. Konvenčně je stanoveno, že do hodnoty HQ = 1 je riziko málo významné až nevýznamné (pro HQ 0,1-0,5).

Do vzorce pro výpočet zdravotního rizika systémového akutního působení oxidu dusičitého tedy dosadíme hodnotu jeho průměrné 1hodinové koncentrace spolu s oběma mezemi odečtenými z modelu rozptylové studie pro Vinohrady (NO<sub>2</sub> (1h) = 91,3 (76,0-106,5) µg.m<sup>-3</sup>). Touto koncentrací tedy může být exponováno maximálně cca všech 12900 obyvatel Vinohrad. Její riziko je následující.

$$HQ = 91,3 (76,0-106,5) [\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}] / 200 [\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}] = 0,45 (0,38 - 0,53)$$

Hodnota akutního inhalačního rizika **HQ = 0,45**, včetně jeho horní a dolní meze je dostatečně vzdálena od jedničky, tedy akutní zdravotní riziko expozice oxidem dusičitým lze pokládat za málo významné až minimální. Navíc vypočítaný model expozice stanovuje, že i v nejnejpříznivějších rozptylových podmínkách (zimní období, inverze) je dosažení hodnoty 200 µg.m<sup>-3</sup>, tedy hodnoty koeficientu rizika HQ=1, na Vinohradech prakticky mimořádné, ve výpočtu menší než jeden den v roce.

**Akutní inhalační riziko z expozice NO<sub>2</sub> je možné považovat sice za zaznamenané, ale málo významné.**

## **Rizika chronické expozice karcinogennímu benzenu a benzo-a-pyrenu pro obyvatele Vinohrad**

Výpočty karcinogenních rizik expozice škodlivin z volného ovzduší jsou obvykle vztahovány ke dvěma standardně v ČR monitorovaným imisním škodlivinám, a to k benzenu (BZ) a benzo(a)pyrenu (BaP). Pro tyto škodliviny jsou také k dispozici koncentrační údaje o jejich dlouhodobém výskytu v lokalitě Vinohrady. V rozptylové studii byly identifikovány obě tyto škodliviny jejichž hlavní podíly pochází z automobilové dopravy a jejich koncentrace tedy mohou být použity k odhadu karcinogenního rizika expozice v této lokalitě.

Míru karcinogenního rizika vyjadřujeme pouze jako nárůst pravděpodobnosti vzniku onkologického onemocnění v důsledku dlouhodobé (celoživotní) expozice škodliviny a to nad přirozený výskyt příslušné diagnózy v hodnocené populaci. Současně předpokládáme, že hladiny koncentrace škodliviny budou dlouhodobě (teoreticky celoživotně) neměnné. Potom celoživotní karcinogenní riziko můžeme kvantifikovat pomocí vztahu

$$\text{ILCR} = \text{UCR} \cdot C_i$$

kde UCR (Unit Cancer Risk) je jednotka karcinogenního rizika pro inhalační expozici, vyjadřující zvýšení pravděpodobnosti rizika nádorového onemocnění při celoživotní expozici jednotkové koncentrace látky v ovzduší (obvykle  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a hodnota  $C_i$  je dlouhodobá (nejméně jeden rok) průměrná imisní koncentrace v posuzovaném prostředí. Pro přibližný odhad výpočtu rizika karcinogeneze slouží hodnota „Přijatelná míra individuálního karcinogenního rizika ILCR“, jež je závislá na naměřené koncentraci kancerogenních látek.

V současnosti jsou považovány za akceptovatelné hodnoty ILCR  $1,0 \cdot 10^{-6}$  - pro celoživotní expozici osob. Tuto hodnotu ILCR lze interpretovat jako pravděpodobnost vzniku zhoubného onemocnění nad přirozený výskyt u jednoho člověka z milionu.

Pro výpočet karcinogenního, tedy bezprahového rizika můžeme zvolit UCR z toxikologické databáze USEPA IRIS jež uvádí pro benzen hodnotu  $6,0 \cdot 10^{-6}$  pro koncentraci benzenu  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pro koncentraci benzo(a)pyrenu  $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  je hodnota UCR z téže databáze  $5 \cdot 10^{-7}$ .

### Benzen, benzo-a-pyren – karcinogenní rizika

Do výše uvedeného vzorce dosadíme průměrné roční hodnoty koncentrací obou škodlivin odečtené z modelu imisní studie včetně jejich dolních a horních mezí koncentračního rozpětí. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tab. 17 : Pravděpodobnost vzniku onkologického onemocnění expozicí BZ a BaP**

Expoziční scénář	Benzen			Benzo-a-pyren		
	$C_{\text{rok}}$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	ILCR	PLCR	$C_{\text{rok}}$ ( $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ )	ILCR	PLCR
Současné průměrné dlouhodobé zatížení lokality	1,52	$9,1 \cdot 10^{-6}$	0,12	0,49	$2,45 \cdot 10^{-7}$	0,003
Horní identifikovaná mez	1,73	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,13	0,59	$2,95 \cdot 10^{-7}$	0,004
Dolní identifikovaná mez	1,31	$7,9 \cdot 10^{-6}$	0,10	0,39	$1,95 \cdot 10^{-7}$	0,003

Obě individuální celoživotní expoziční rizika (ILCR) jsou tedy **akceptovatelná** pro hodnocení vinohradské populace, která má cca 12.900 obyvatel. Hodnocení je založeno na předpokladu teoretické celoživotní expozice v trvání 70let o této vypočtené koncentraci. Vypočtené hodnoty budou příslušně nižší, pokud bude kratší doba expozice (například poloviční při expozici 35let).

Prostým vynásobením zjištěné hodnoty individuálního rizika (ILCR) počtem exponovaných obyvatel získáme hodnotu takzvaného populačního rizika (PLCR). Z ní je zřejmé, že obě rizika jsou nižší než jedna, tedy to znamená, že tato celoživotní expozice obyvatel Vinohrad je riziková pro méně než jednoho jejího obyvatele, přičemž významnější je expozice karcinogenním benzenem.

## **Závěry z hodnocení zdravotních rizik obyvatel Vinohrad z expozice zatíženým ovzduším**

Pro zhodnocení zdravotního rizika obyvatel Vinohrad, pocházejícího ze zatíženého venkovního ovzduší jsme použili údaje o imisních koncentracích některých významných škodlivin, které se ve volném ovzduší měst standardně nalézají. Jsou to plynné a pevné škodliviny, jejichž vliv na lidské zdraví je dobře znám, tyto škodliviny jsou díky tomu docela dobře ve volném ovzduší monitorovány a máme tedy dostatek údajů ke stanovení jejich koncentrací v prostředí a kvalifikovanému odhadu jejich rizikovitosti.

Pro ovzduší velkých měst jsou zdravotně významné škodliviny typu, jemné frakce polévatého prachu o velikosti částic 1 – 10 mikrometrů (nazýváme je PM s indexem značícím střední velikost/průměr těchto částic), plynné škodliviny typu oxidy dusíku (NO a NO<sub>2</sub>), oxid uhelnatý (CO), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), organické škodliviny pocházející převážně z dopravy ve městech mezi nimi zvláště rizikové benzen (BZ) a benzo-a-pyren (BaP). Tyto škodliviny jsou také identifikovány a monitorovány v ovzduší Brna i jeho částí, tedy i na Vinohradech.

Z jejich koncentrací byly také vypočítána a vyhodnocena zdravotní rizika z jejich přítomnosti v ovzduší naší lokality.

Tato studie identifikovala jako rizikové následující imisní škodliviny ve volném ovzduší Vinohrad :

- Polévatý prach frakcí PM10 a PM2,5
- Oxid dusičitý
- Benzen
- Benzo-a-pyren

### **Zdravotní riziko imisí PM10 a PM2,5 – shrnutí**

Akutní zdravotní riziko z expozice polévatým prachem je na celém území Vinohrad prakticky zanedbatelné. I pokud bychom vztáhli na celou populaci Vinohrad údaje o imisní koncentraci těchto částí, které se nacházejí nejbližšími okružními komunikacemi, byla by rizika obou hospitalizací z důvodu těchto imisí vždy maximálně pro jednu osobu v roce. To je počet vzhledem k celkovým počtům obou těchto hospitalizací u brněnských občanů, na Vinohradech prakticky zanedbatelný.

Dlouhodobá expozice polévatým prachem znamená pro vinohradskou dospělou populaci určitý, byť relativně malý přírůstek chronických respiračních onemocnění charakterizovaný nejvíce 1-2 případy chronické bronchitidy za rok jako podíl vlivu imisní koncentrace polévatého prachu na Vinohradech, což je jen zanedbatelné 0,01-0,02% dospělé vinohradské populace. Chronickou bronchitidou trpí v České republice přibližně 15% obyvatel, přičemž tato nemoc postihuje více než dvakrát častěji mužskou část populace. Vinohradský „roční příspěvek“ k takto nemocným osobám vlivem zátěže ovzduší, je tedy nepatrný.

Vlastní nemoc je charakterizována jako zánět průdušek, kterým postižený trpí déle než tři měsíce v roce po dobu nejméně dvou let. Původcem tohoto onemocnění, které vede k nadměrné produkci hlenu v průduškách a zhoršuje dýchání, jsou cizí látky, které nemocný pravidelně vdechuje. Dvakrát častěji tímto onemocněním trpí lidé z velkých měst než na vesnici. Hlen, který se tvoří v napadených průduškách, vysiluje sliznici a oslabený organismus je pak náchylný k dalším chorobám. Onemocnění může vyvolávat i alergie na určitou látku, jejíž působení je člověk dlouhodobě vystaven. To je jedna z hlavních příčin soustavného růstu těchto onemocnění v české populaci.

### **Zdravotní riziko imisí oxidu dusičitého – shrnutí**

Pro hodnocení zdravotních rizik expozice NO<sub>2</sub> můžeme uvažovat pouze jeho akutní projevy, jež jsou spojovány s růstem dýchacích obtíží a to zejména u predisponovaných osob (bronchitici, astmatici). Světová zdravotnická organizace z tohoto důvodu stanovila bezpečnou imisní koncentraci pro zamezení rizika těchto zdravotních obtíží pro krátkodobé, jednodinové výskyty koncentrací NO<sub>2</sub> ve venkovním, ale i vnitřním prostředí. Tato limitní hodnota je 200 µg.m<sup>-3</sup>. Z předešlého v textu této studie je zřejmé, že těchto koncentrací je ve vinohradském ovzduší dosahováno jen zcela ojediněle a to i přes poměrně vysokou intenzitu osobní i nákladní automobilové dopravy na komunikacích Žarošická, Jedovnická a dalších.

Z imisní rozptylové studie (viz také imisní mapy v přílohách) je zřejmé, že na celém území Vinohrad je této koncentrace dosaženo maximálně jeden den v roce (pravděpodobně v zimním období) a pro vlastní zastavěné území potom dokonce vychází hodnoty menší než jeden den, což lze tedy považovat za riziko minimální.

Chronická inhalační rizika bohužel prozatím neumíme dost dobře vypočítat. Tato rizika jsou vzhledem k jejich podobnému působení jako expoziční rizika polévatého prachu a také proto, že vlastně vždy společně s touto škodlivinou působí, je jen obtížné je separátně vyhodnotit. Proto se v současné době oprávněně a pro zjednodušení situace předpokládá, že obě škodliviny působí společně (což je pravda) a tak mohou být vlastně hodnocena jako společné riziko expozice polévatým prachem, v němž je dílčí zdravotní riziko expozice oxidem dusičitým již zahrnuto (což je pravděpodobně také správná úvaha). Proto také zde hodnotíme pouze akutní zdravotní rizika spojená s okamžitou expozicí NO<sub>2</sub>.

### **Zdravotní riziko imisí benzenu a benzo-a-pyrenu - shrnutí**

Tyto dvě organické sloučeniny, které jsou produkty využívání pohonných hmot k zabezpečení automobilového provozu, jsou z hlediska svého rizika jistě významné, neboť to jsou obě látky s kancerogenním účinkem a jejich dlouhodobá expozice je významně riziková. Z vypočtených údajů pro Vinohrady je zřejmé, že daleko významnějším je pro obyvatele Vinohrad riziko expozice benzenem, které tvoří přibližně 98,5% celkového rizika karcinogeneze ze současné expozice oběma těmito sloučeninami. Tento podíl obou rizik je pro Vinohrady poněkud specifický a je dán relativně vysokou místní koncentrací stanic výdeje pohonných hmot, jež jsou standardním zdrojem benzenu, tvořícího, byť omezený, podíl v těchto pohonných hmotách.

Ovšem vypočtená výše rizika výskytu některého z karcinomů v exponované populaci Vinohradských občanů je prakticky mizivá. Odhad rizika vzniku nádorového případně leukemického onemocnění jako důsledku skutečně dlouhé (celoživotní) expozice touto škodlivinou totiž zdaleka nedosahuje ani jedné osoby ze zde žijících obyvatel a proto je toto riziko tedy **plně akceptovatelné**.

## Závěr hodnocení expozice imisních škodlivin

Imisní zátěž volného ovzduší škodlivinami s určitým zdravotním rizikem nelze z principiálních důvodů (volné šíření v ovzduší) zcela přesně a bezzbytku lokalizovat k určitému bodu v prostoru. Je tedy nutné používat imisní rozptylové modely, které ukazují s určitou definovanou přesností a správností nejpravděpodobnější koncentrační plochu vymezující příslušné koncentrace škodliviny v zájmovém prostoru. Dosavadní praxe se ustálila ve způsobu geografického vyjadřování koncentračních izolinií spojujících na mapách lokality místa se stejnou imisní koncentrací a vyznačujících na takového mapě plochu pro kterou je platný odhad tohoto vymezeného koncentračního gradientu. V přílohách studie jsou uvedeny tyto imisní rozptylové mapy s barevně vyznačenými škálami vzestupných/ sestupných imisních koncentrací pro příslušnou škodlivinu a čas jejího výskytu. Z těchto údajů potom standardní metodikou počítáme nejpravděpodobnější odhad zdravotního rizika vzhledem k místu, času a koncentraci dané škodliviny.

Z pohledu na tyto mapy je zřejmé, že pro plochu Vinohrad jsou imisní koncentrace sice různé (zejména se projevuje závislost na intenzitě dopravy) , ale jejich rozsah ve většině případů není zásadní. Z těchto důvodů byla také zdravotní rizika pro expozici škodlivin ve většině případů hodnocena pro odhad jejich průměrné imisní koncentrace, doplněný oběma mezemi tedy nejnižší a nejvyšší identifikovanou koncentrací škodliviny na zastavěném území Vinohrad. Detailním pohledem na příslušné imisní rozptylové mapy můžeme potom identifikovat, která hodnota je platná pro danou lokalitu reprezentovanou například určitým obytným domem na Vinohradech. I v těchto případech je však zřejmé, že hodnota odhadu míry zdravotního rizika je především platná pro větší vinohradské území, nejpravděpodobněji pro celou jeho zastavěnou část. Dá se tedy i důvodně předpokládat že snaha o takovou podrobnější kvantifikaci místní koncentrace je spojena s chybou podstatně převyšující správnost vypočteného zdravotního důsledku této koncentrace. Tímto přístupem jsou ostatně kvantifikována i populační zdravotní rizika pro imisní expozice v této studii.

## Hluk a zdraví

Hlukem se rozumí každý zvuk, který je nechtěný, obtěžující nebo může mít škodlivé účinky pro lidské zdraví (*námi slyšitelný zvuk je mechanické kmitání a vlnění v hmotném prostředí, jenž se nachází v rozsahu kmitočtů od 16 [Hz] do 20 [kHz]*). Hluk je tedy fyzikální faktor, který může na člověka působit nepříznivě. Do jisté míry lze považovat hluk za bezprahově působící škodlivinu a pro zdravotní hodnocení hluku rozlišujeme tři základní hlediska:

- **hladinu**, projevující se jako hlasitost zvuku;
- **frekvenci**, projevující se jako výška zvuku;
- **časový průběh** hlukové události, její trvání.

Vnímání hluku je subjektivní pocit, který se může lišit s vysokou mírou individuální variability, nicméně je možné stanovit teoretickou fyzikální míru přípustné hlukové expozice. Pro působení hluku v subjektivní sféře byly zavedeny diferencované pojmy pro charakterizaci účinků na člověka. Jsou to :

- **rušení**, při němž hluk interferuje s nějakou činností (spánkem, duševní prací, řečovou komunikací apod.);
- **rozmrzelost a pocit nepohody**, vznikající působením hluku a prožívaný negativně hlukem postiženým člověkem nebo skupinou;
- **hlučnost**, což je subjektivní hodnocení pocitu s nepatřičností hluku v konkrétním prostředí;
- **obtěžování**, což představuje nepřipustné ovlivňování životního prostředí, případně skupinových či osobních práv.

Působení hluku se posuzuje většinou z hlediska obtěžování lidí, rušení jejich spánku a ztížené komunikace řeči. Přitom u každého člověka existuje rozdílný stupeň tolerance k rušivému účinku hluku. V normální populaci je 10 – 20% vysoce citlivých osob a prakticky stejné procento velmi tolerantních osob. Pro zbývajících 60 – 80% populace platí kontinuální závislost míry obtěžování na intenzitě hlukové zátěže.

Podle zprávy WHO o zdravotních účincích a následcích zátěže evropské populace hlukem je, po znečištění ovzduší hluk druhou nejvýznamnější environmentální determinantou zdraví. Dostatečně prokázaným zdravotním účinkem hluku je jeho vliv na kardiovaskulární systém, rušení spánku, nepříznivé ovlivnění osvojování řeči a čtení u dětí, a ušní šelesty (tinitus) jako následek poslechu z reprodukované hudby.

Základním kritériem pro kvantifikaci hluku v životním prostředí je hladina akustického tlaku. Jeho průměrná hodnota naměřená za definovanou dobu se vyjadřuje jako ekvivalentní hladina akustického tlaku ( $L_{Aeq,T}$  [dB]). Legislativně definovaná přípustnost hlukové zátěže je v ČR určována hygienickými limity uvedenými v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Základní hodnota hygienického limitu pro denní hluk se rovná 50 dB . Tu je možno ještě korigovat s ohledem na typ hluku a prostředí ve kterém se hluk vyskytuje. Pro noční dobu má pak limit hodnotu  $L_{Aeq,n} = 40$  [dB].

Pro hodnocení zdravotních rizik však potřebujeme vyjádřit hlukovou expozici pro delší časové údobí den, rok. Proto se používá hodnota vypočteného nebo naměřeného deskriptoru celodenní hlukové expozice vyjadřovaná jako  $L_{dvn}$ , případně hluku nočního  $L_n$ .

## **Nepříznivé účinky hluku na zdraví**

Za prokázané nepříznivé účinky hluku, jsou v současnosti považována specifická poškození sluchového aparátu (při ekvivalentní hladině hluku > 80 dB, případně dlouhé době trvání hlukové zátěže i s nižší intenzitou, majoritně v pracovním prostředí).

Za nspecifické účinky je pak považován vliv dopravního hluku na kardiovaskulární systém, rušení spánku, zhoršení osvojování řeči u dětí a omezeně kromě vlivu na některé fyziologické funkce, i vliv na mentální zdraví a výkonnost člověka. Tyto aspekty jsou spojovány s dlouhodobým trváním hlukové zátěže v životním prostředí exponované osoby. Navíc může působení hluku v průběhu dne vyvolávat celou řadu negativních emočních stavů, k nimž patří pocity rozmrzelosti, nespokojenosti a špatné nálady, deprese, obavy, pocity beznaděje nebo vyčerpání.

V ČR bylo výzkumem zaměřeným na hlukovou expozici zjištěno, že hladinou celodenního hluku vyšší než 55 dB je exponováno cca 1,8 milionu obyvatel, přičemž převážnou část (přes 85 %) tvoří obyvatelé velkých českých aglomerací. Je prokázáno, že dlouhodobá noční expozice hluku ze silniční dopravy o průměrné hladině  $L_n = 55$  dB a více vede k významnému zvýšení koncentrace tzv. stresových hormonů v krevní plazmě s následnými negativními důsledky pro celý organismus.

K popisu zdravotních rizik hlukové expozice můžeme mluvit o jeho třech účincích. Jsou to :

1. obtěžování hlukem
2. rušení spánku
3. rozvoj kardiovaskulárních chorob

### **Obtěžování hlukem (annoyance)**

Obtěžování hlukem je považováno spíše za psychosociální příznak hlukové expozice než za klinickou diagnózu a bývá definováno jako „pocit nelibosti spojený s působením činitele nebo podmínek, o kterých jedinec nebo skupina ví nebo se domnívá, že na ně negativně působí“. Riziko obtěžování však považujeme (s určitou výhradou k silnému obtěžování, které můžeme také kvantifikovat) spíše pouze za snížení komfortu takto hlukem exponované populace s tím, že míru zdravotního rizika vyjádřeného nějakou diagnostikovanou chorobou je v tomto případě velice obtížné kvantifikovat.

Obtěžování hlukem je definováno pro oblast hodnot celodenní hlukové expozice  $L_{dvn} = 45-75$  dB pro dopravní zdroje hluku a  $L_{dvn} = 35-65$  dB pro stacionární zdroje hluku.

### **Rušení spánku (sleep disturbance)**

Pro hodnocení závažnosti možného poškození zdraví můžeme použít kvantifikaci hlukové expozice pro noční hluk. Hlukový ukazatel  $L_n$ , tj. průměrná hluková expozice zjištěná v nočních hodinách (22-06h), je totiž významně svázán s mírou rizika rušení spánku jenž může zapříčínovat celou řadu specifických onemocnění, jejichž počátečním spouštěcím mechanismem je stres.

Podle posledních odborných závěrů WHO je vysoké rušení spánku způsobené hlukem ze silniční dopravy zařazeno mezi parametry zdravotního poškození. Uvádí se, že snížená kvalita spánku má negativní vliv na celkovou kvalitu života, neboť snižuje i denní pohodu obyvatel. Rušení spánku je definováno pro oblast hodnot  $L_n = 40-70$  dB.

S využitím závěrů epidemiologických a experimentálních studií, můžeme vztah mezi dlouhodobou expozicí nočnímu hluku  $L_n$  a jeho vlivem na zdraví shrnout následovně :



Do úrovně Ln 30 dB nejsou obvykle pozorovány žádné účinky na spánek, kromě mírného nárůstu v četnosti pohybů těla během spánku. Doposud také neexistuje dostatek důkazů, že biologické účinky pozorované na úrovni pod 40 dB Ln jsou zdraví škodlivé. Nicméně na úrovni nad 40 dB Ln jsou již pozorovány nepříznivé zdravotní účinky, jako je individuální pocit poruch spánku, nespavost, zvýšené používání léků proti nespavosti a sedativ.

Proto hodnota Ln 40 dB je považována na nejnižší hodnotu pozorovaného nepříznivého zdravotního účinku (LOAEL) pro noční hluk. Avšak teprve expozice **větší než 55 dB** jsou již spojovány s vyhodnotitelnými kardiovaskulární účinky na zdraví exponované populace. U nich je navíc velmi pravděpodobné, že již v podstatě nemusí být přísně závislé ani na povaze/zdroji hluku.

### **Kardiovaskulární nemoci**

Vedle subjektivně deklarovaných psychosociálních efektů jako je pocit obtěžování nebo rušení spánku, je dlouhodobá expozice chronickému hlukovému stresu podle epidemiologických studií objektivně spojována se zvýšením rizika kardiovaskulárních chorob, v tomto případě se zvýšením počtu akutního infarktu myokardu. Pro závislost expozice celodenním dopravním hlukem byl odvozen vztah mezi tímto hlukem a zvýšením pravděpodobnosti rizika infarktu myokardu, který je platný pro dlouhodobou hlukovou expozici  $L_{Aeq,16h} > 60$  dB. Nárůst pravděpodobnosti rizika takovéto diagnózy je při hodnotách 65 dB roven přibližně 3,5%.

### **Hluková zátěž na Vinohradech**

Informace o dopravě po komunikacích Žarošická, Jedovnická, Věstonická, Pálavské náměstí a Blatnická byly získány z podkladů hodnocení dopravní zátěže na brněnských komunikacích Intenzity dopravy 2012, Brněnské komunikace a.s., Brno. Zpřesněné informace o dopravě po rozhodujících komunikacích uvnitř vinohradského sídliště tj. na ulicích Vlčnovská, Prušánecká, Bzenecká, Velkopavlovická, Valtická, Mutěnická, Bořetická a Čejkovická byly získány vlastním 24hodinovým sčítáním dopravy, které provedl Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě ve dnech 8.-9.10.2013.

Takto získané údaje o intenzitách a složení dopravních proudů sloužily jako podklad pro matematické modelování intenzit hlukové zátěže podél těchto komunikací. Výpočet ekvivalentních hladin akustického tlaku A v chráněném venkovním prostoru staveb byl proveden pomocí počítačového programu CADNA 32A. Výpočty doplněné grafickým zobrazením hlukové situace provedla hluková laboratoř Zdravotního ústavu ve třech zobrazeních

1. denní hluková zátěž vyjádřená jako hlukový deskriptor Ld (06 -22 hod)
2. noční hluková zátěž Ln (22-06hod)
3. celodenní hluková zátěž vyjádřená jako deskriptor Lden

Výpočty tak byla stanovena výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku v ploše vyznačené v pásmech po 5ti decibelech. Výpočty hlukové zátěže s uvažovaným odrazem od fasád okolních budov byly provedeny pro hlukovou expozici ve výškách 2, 10, 20 a 30m nad zemí. Tyto výšky zohledňují situaci v úrovni stojícího člověka, resp. 1.podlaží- 2m, 4.podlaží – 10m, 8.podlaží - 20m a 12.podlaží – 30 metrů nad komunikací.

## **Zdravotní rizika hlukové zátěže občanů Vinohrad**

Stejným myšlenkovým postupem jako byl použit při hodnocení závažnosti zdravotního rizika z expozice škodlivin z ovzduší, můžeme postupovat i při hodnocení závažnosti expozice hlukové.

Jak již bylo naznačeno u hlukové expozice rozlišujeme několik způsobů zdravotního ovlivňování, které jsme schopni kvantifikovat. Jsou to v první řadě pocity obtěžování denním, případně celodenním hlukem, dále rušení spánku nočním hlukem a třetí zdravotně nejvýznamnější expozice celodenním hlukem o dostatečně vysoké intenzitě a délce trvání, je rozvoj kardiovaskulárních chorob, které mohou ústít do akutního infarktu myokardu. Smrtnost této choroby je i přes dosavadní zásadní úspěchy v jeho léčení stále vysokých 30%.

V hlukové studii, která byla vypracována Zdravotním ústavem Ostrava, pracoviště Brno, jsou vypracovány a graficky vykresleny mapy hlukové zátěže pro všechny tři hlukové deskriptory, které potřebujeme znát pro výpočet a zhodnocení zdravotního rizika této zátěže. Jsou to tedy mapy hlukových zátěží (expozic), definované jako plošný výskyt příslušného pásma hlukové expozice vyhodnocené jako hlukový ukazatel  $L_{dB}$ , a to:

$L_{DEN}$  pro výpočet procentického podílu různě obtěžovaných osob

$L_N$  pro výpočet procentického podílu hlukem rušené populace

$L_{D(16h)}$  pro výpočet přírůstku pravděpodobnosti postižení akutním infarktem myokardu

### **Výpočet podílů obtěžovaných a ve spánku rušených osob**

Hlukové mapy tedy vyznačují pásma s předem definovaným odstupem (zde 5ti decibelů-dB) ve škále od nejnižšího hluku 25 dB až po nejvyšší 80 dB. K jednotlivým hranicím těchto hlukových pásem jsou vypočítány procentické podíly obtěžovaných nebo v noci rušených osob v závislosti na intenzitě na fasádu dopadajícího hluku z dopravy, vyjádřeného jako  $L_{DEN}$  pro celodenní hlukovou expozice nebo  $L_N$  pro expozici noční, vždy v decibelech. Tyto hodnoty potom platí pro obyvatele žijící v takto exponovaném domě na Vinohradech, tedy i v příslušné bytové jednotce. Protože většina domů/bytů se nalézá uvnitř některého na mapě identifikovatelného pětidecibelového pásma, tak také příslušná hodnota vypočteného podílu obtěžované nebo rušené populace se nachází někde mezi těmito dvěma vypočtenými hodnotami, platnými pro hlukové hranice pásma.

I když závislost podílu obtěžovaných nebo rušených osob na intenzitě hluku není lineární, ale lze ji popsat pomocí určitého polynomického vztahu, lze pro malou diferenci hlukové intenzity, jakou je pásmo 5ti decibelové škály, považovat tuto závislost za lineární a skutečnou hodnotu hlukové expozice platnou pro dům/byt ležící uvnitř jednoho hlukového pásma, můžeme vypočítat z obou krajních hodnot odhadu hlukové intenzity z mapy příslušného pásma a identifikace polohy hodnoceného domu/bytu.

V následujících tabulkách jsou uvedeny propočty závislostí podílů různě hlukem obtěžovaných obyvatel ve vztahu k intenzitě celodenního hluku a v další potom podíly obyvatel, jejichž spánek je slabě, středně nebo silně rušen.

**Tab.18 : Podíl vysoce (HA), středně (A) a slabě (LA) hlukem obtěžovaných obyvatel**

<b>L<sub>DEN</sub></b>	<b>% HA</b>	<b>% A</b>	<b>% LA</b>
<b>40</b>	0,0	1,8	8,3
<b>45</b>	1,4	5,7	16,0
<b>50</b>	<b>3,7</b>	<b>10,9</b>	<b>24,9</b>
<b>55</b>	6,3	17,5	34,8
<b>60</b>	10,2	25,7	45,0
<b>65</b>	16,0	35,5	55,2

**Tab.19: Podíl vysokého (HSD), středního (SD) a slabého (LSD) rušení spánku obyvatel**

<b>L<sub>N</sub></b>	<b>% HSD</b>	<b>% SD</b>	<b>% LSD</b>
<b>35</b>	2,3	4,5	13,8
<b>40</b>	2,6	6,5	19,3
<b>45</b>	<b>3,6</b>	<b>9,8</b>	<b>23,1</b>
<b>50</b>	5,5	13,1	27,4
<b>55</b>	8,0	17,6	32,3
<b>60</b>	11,3	22,9	37,7

Chceme-li získat přesnější hodnotu hlukové intenzity platnou pro určitou přesně definovanou polohu našeho objektu, musíme se pokusit odečíst co nejpřesněji jeho polohu z příslušné hlukové mapy a jí přiřadit vypočtenou hodnotu hlukové expozice. Návod na tento postup uvádí následující příklad.

### **Příklad**

Obytný dům se nachází uvnitř pásma 50-55 dB a to v jeho polovině. Tedy hluková expozice v daném místě je přibližně 52,5 dB. Víme-li z tabulky, že pro hodnotu nočního hluku  $L_N$  50 dB je procento silně rušené populace 8,0% a pro hodnotu hluku 55 dB je tato hodnota rovna 11,3%, pak prostou úměrou vypočítáme, že v příslušných bytech orientovaných ke zdroji hluku v této budově ležící uprostřed pásma 50-55 dB, bude výsledný podíl vysoce ve spánku rušených obyvatel roven hodnotě  $((11,3-8,0)*1/2)+8,0 = 9,65\%$ .

Tedy, má-li tento bytový dům například 8 bytových jednotek orientovaných souhlasně ke zdroji hluku a v každém bytě žije čtyřčlenná rodina, jsou s vysokou pravděpodobností nejméně tři obyvatelé těchto bytů vysoce rušeni ve spánku.

Podobným způsobem můžeme vypočítat zátěž jednoho bytu, či naopak celé uliční fronty sestávající z více budov.

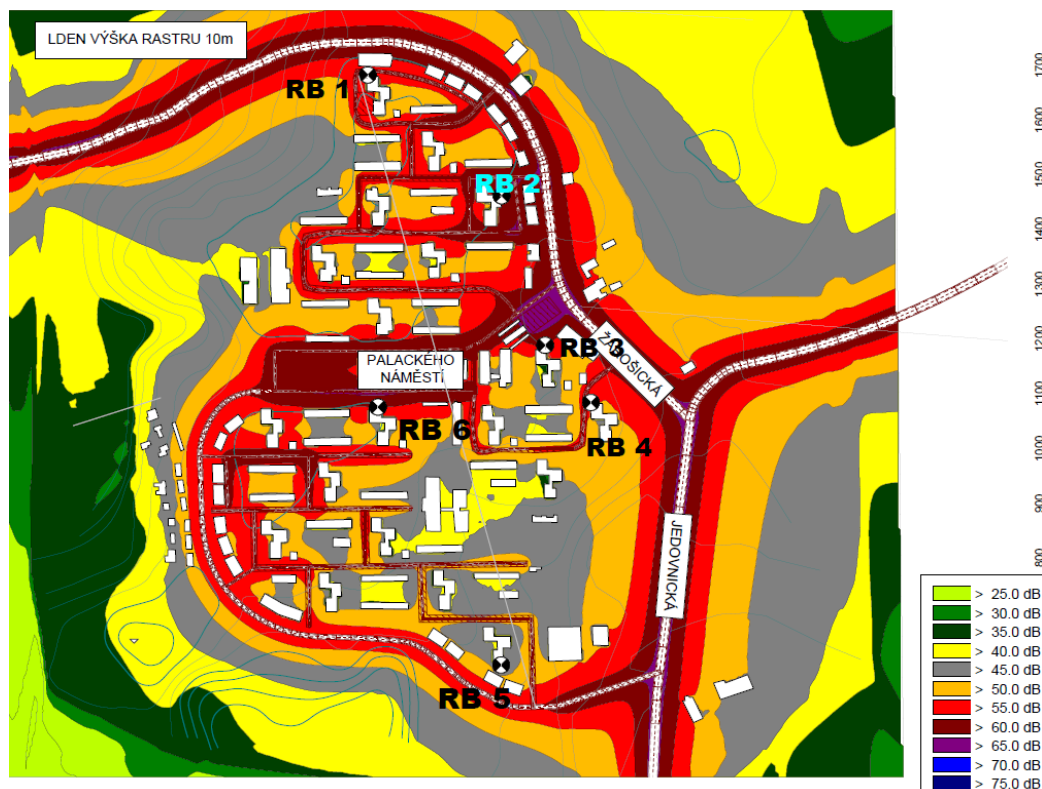
## Výpočet hlukové expozice vybraných nejvíce exponovaných lokalit

K posouzení významnosti/rizikovosti hlukové expozice byly na Vinohradech identifikovány lokality, u nichž jsme předpokládali, že mohou být významně hlukem exponovány. Takto jsme identifikovali šest, podle jejich umístění značně exponovaných lokalit na ulicích Vlčnovská, Prušánecká, Mikulovská, Čejkovická, Valtická a Velkopavlovická. V nich byly stanoveny referenční body (jako domovní objekty), jejich umístění poblíž vysoce exponovaných obvodových i vnitřních komunikací, je dostatečným důvodem pro přesné vyhodnocení jejich hlukové expozice. Jejich lokalizace je uvedena v následující tabulce a 3D mapě zobrazující hlukovou situaci na Vinohradech. Seznam je uveden v následující tabulce a jejich lokalizace na Obr. .

**Tab. 20 : Identifikace referenčních výpočtových bodů pro hodnocení hlukového zatížení**

Referenční bod výpočtu	Lokalizace RB
RB 1	Vlčnovská 16
RB 2	Prušánecká 4
RB 3	Mikulovská 8
RB 4	Velkopavlovická 1
RB 5	Čejkovická 6
RB 6	Valtická 19

**Obr.5: Příklad grafického vyhodnocení celodenní hlukové zátěže ve výšce 10m (RB – referenční body pro výpočet hlukové zátěže)**



Pro těchto šest referenčních bodů byly pomocí modelu CADNA vypočítány hlukové expozice na fasádě příslušného domu orientované ke zdroji dopravního hluku a to pro všechny uvažované výšky nad komunikací, tedy pro 2m, 10m, 20m a 30m nad úroveň terénu/komunikace. Na obrázku je uvedena situace pro celodenní hlukovou expozici  $L_{DEN}$  a výšku 10 metrů nad terénem a v následující tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty celodenního ( $L_{DEN}$ ), denního ( $L_D$ ) a nočního ( $L_N$ ) hluku v těchto referenčních místech.

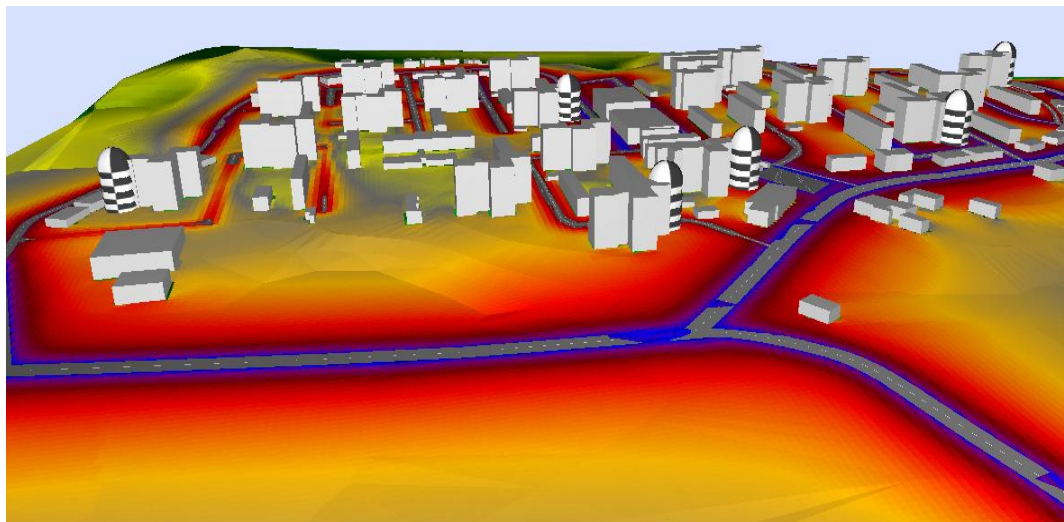
Další situace hlukové zátěže jsou uvedeny jako mapové podklady v přílohách této studie.

**Tab. 21 : Výpočet celodenní a noční hlukové expozice v referenčních bodech ve čtyřech výškových hladinách**

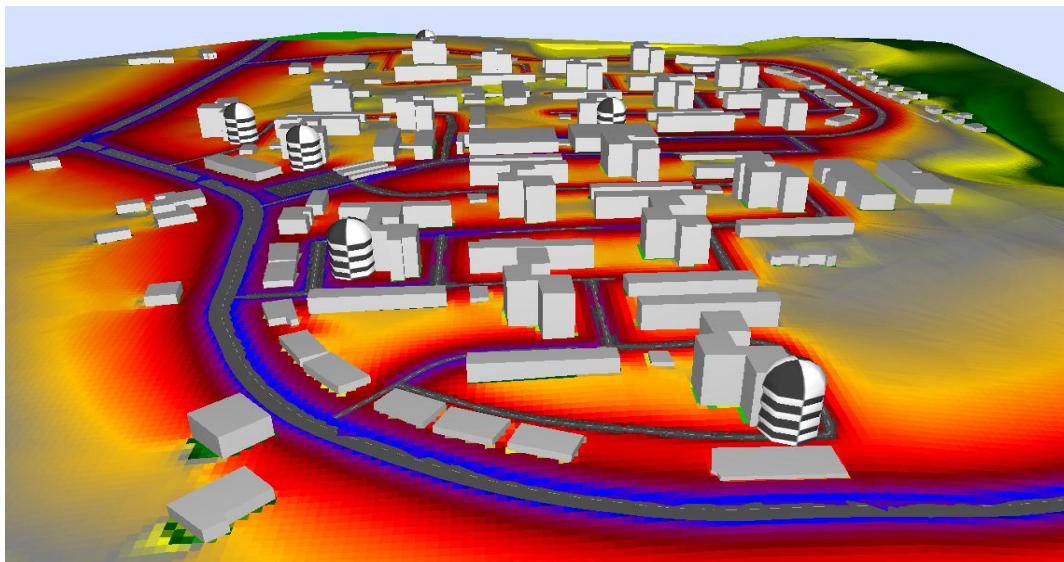
Výpočtové místo	Výška nad terénem (m)	$L_D$ [dB]	$L_{DEN}$ [dB]	$L_N$ [dB]
<b>RB 1</b> Vlčnovská 16	2	56,3	56,9	48,0
	10	58,0	58,1	48,4
	20	58,9	58,8	48,7
	30	58,7	58,5	48,3
<b>RB 2</b> Prušánecká 4	2	57,3	59,7	52,4
	10	59,7	<b>62,1</b>	54,8
	20	<b>60,1</b>	<b>62,0</b>	54,3
	30	<b>60,1</b>	<b>61,6</b>	53,6
<b>RB 3</b> Mikulovská 8	2	55,2	57,6	50,3
	10	57,5	<b>60,1</b>	52,9
	20	58,3	<b>60,7</b>	53,3
	30	58,8	<b>60,8</b>	53,1
<b>RB 4</b> Velkopavlovická 1	2	54,7	55,6	47,0
	10	55,1	55,8	46,9
	20	55,4	55,8	46,5
	30	55,8	56,1	46,6
<b>RB 5</b> Čejkovická 6	2	47,3	47,1	36,7
	10	49,2	49,0	38,6
	20	52,8	52,6	42,1
	30	53,2	52,9	42,5
<b>RB 6</b> Valtická 19	2	58,1	59,2	50,8
	10	<b>60,2</b>	<b>61,3</b>	52,8
	20	<b>60,1</b>	<b>61,1</b>	52,7
	30	59,5	<b>60,6</b>	52,1

Vypočtené hladiny hluku pro chráněné venkovní prostory staveb bytových domů na Vinohradech byly pro názornost doplněny axonometrickým 3D pohledem. Zde jsou uvedeny dva pohledy na celkovou situaci hlukové expozice Vinohrad a to východní a severní pohled.

### **Vinohrady východní pohled**



### **Vinohrady severní pohled**



Z obou 3D zobrazení je názorně vidět významné hlukové zatížení obou obvodových komunikací (modrá barva), jež je navíc přenášeno i do sídliště dopravou po komunikaci k Pálavskému náměstí. (severní pohled).

### Výpočet podílu obtěžovaných a ve spánku rušených osob ve vybraných obytných budovách stanovených jako referenční body na Vinohradech

Z tabulky č.21 s výpočty hlukové zátěže v referenčních bodech je zřejmé, že hluková zátěž se zvyšující se výškou nad komunikací až do určité hodnoty (obvykle 20m) mírně roste. To je dáno charakteristickou vlastností vzduchem se šířící zvukové vlny, která vlivem potenciálně četných odrazů od fasád okolních budov může interferovat a v konečném výsledku intenzitu jejího dopadu na fasádu zesilovat. Teprve od určité výšky nad komunikací dochází k postupnému útlumu vlivem zvyšující se vzdáleností od zdroje hluku, tj. vozidla pohybujícího se po komunikaci.

Pro výpočet celodenním hlukem obtěžovaného a nočním hlukem rušeného podílu exponovaných obyvatel postup poněkud zjednodušíme tak, že vyjádříme hlukovou expozici na fasádě referenčního místa jako průměr všech modelovaných zátěží pro 2m,10m, 20m a 30m nad komunikací a z této hodnoty vypočteme procentické podíly obtěžovaných a ve spánku rušených obyvatel bydlících v těchto domech definovaných jako referenční body pro výpočet hlukového rizika. Hodnoty jsou tedy vypočteny pro „nejvíce hlukem exponovanou fasádu“, což je termín, který se používá pro hodnocení zdravotních rizik „za touto fasádou bydlících, případně spících“ obyvatel příslušného bytu. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v následujících souhrnných tabulkách č. 22 - 24.

**Tab.22 : Výpočet průměrných hodnot hlukové expozice pro všechna referenční místa**

Výpočtové místo	* Výška nad terénem(m)	L <sub>DEN</sub> [dB]	L <sub>N</sub> [dB]	L <sub>D</sub> [dB]
RB 1	15	58,1	48,4	58,0
RB 2	15	61,4	53,8	59,3
RB 3	15	59,8	52,4	57,5
RB 4	15	55,8	46,8	55,3
RB 5	15	50,4	40,0	50,6
RB 6	15	60,6	52,1	59,5

\* - střední vypočtená výška nad terénem obytného domu

**Tab.23 : Výpočet potenciálně hlukem obtěžovaných obyvatel referenčního místa**

Výpočtové místo	L <sub>DEN</sub> [dB]	HA%	A%	LA%
RB 1	58,1	8,5	22,4	41,1
RB 2	61,4	11,6	28,2	47,9
RB 3	59,8	10,0	25,3	44,6
RB 4	55,8	6,8	18,7	36,4
RB 5	50,4	3,8	11,4	25,7
RB 6	60,6	10,8	26,8	46,3

Hodnoty vypočtené jako procentický podíl hlukem silně (HA), středně (A) a mírně (LA) obtěžovaných osob jsou vypočteny pro osoby bydlící v bytech obrácených ke zdrojům hluku, což jsou v tomto případě zejména hlavní dopravní komunikace na Vinohradech a je tedy tyto a jim podobné adresy možné považovat za výběr hlukem nejvíce exponovaných vinohradských objektů.

Hodnoty podílů silného obtěžování v těchto bytových objektech se ve většině případů pohybují v rozmezí 5 – 10 %. Tato hodnota sice neznamená, když v průměrném vinohradském bytě žijí 2-3 obyvatelé, že jeden by měl být vysoce hlukem obtěžován, ale vezmeme-li v potaz pocity lehkého obtěžování (kolem jedné poloviny exponovaných), pak je možno předpokládat, že v každém takovém bytě existuje alespoň jeden obyvatel, který pociťuje obtěžování hlukem.

Působení hluku v průběhu dne vyvolává celou řadu negativních emočních stavů, k nimž patří pocity rozmrzelosti, nespokojenosti a špatné nálady, deprese, obavy, pocity beznaděje nebo vyčerpání, jenž jsou souhrnně považovány za obtěžování hlukem. Tyto aspekty jsou spojovány s dlouhodobým trváním hlukové zátěže v životním prostředí exponované osoby, což je ve většině případů celoživotního setrvání/bydlení v jednom místě nutné předpokládat.

Jedním z nejrizikovějších aspektů stále vysoké denní hlukové zátěže je zhoršení porozumění mluvenému slovu. Zhoršení komunikace řeči v důsledku zvýšené hladiny hluku má řadu prokázaných nepříznivých důsledků v oblasti chování a vztahů, vede k podrážděnosti, nejistotě, poklesu pracovní kapacity a pocitům nespokojenosti. Nejvíce citlivou skupinou jsou staří lidé, osoby s částečnou sluchovou ztrátou, ale zejména malé děti v období osvojování řeči. Jde tedy o významnou část populace. Pro dostatečně srozumitelné vnímání složitějších zpráv a informací by rozdíl mezi hlukovým pozadím a hlasitostí vnímané řeči měl být nejméně 15 dB. Tento stav však umožňují pouze uzavřená okna, jenž zabezpečí útlum hlukové intenzity až o 20 dB. Máme-li tedy venkovní hluk (hluk na fasádě objektu) přibližně 50-55 dB, je potom hluk uvnitř dokonale izolované místnosti (tedy se zavřenými okny) přibližně 30-35 dB. Taková hluková expozice je více než dostatečná k jasné a srozumitelné řečové komunikaci. Bohužel tento stav nelze obvykle realizovat v teplém období roku.

### **Důsledky denního obtěžování hlukovou expozicí v dětské populaci**

Významným účinkem hlukové expozice je zhoršení schopnosti soustředění a schopnosti porozumět výkladu ve škole, což je efekt souhrnně označován jako kognitivní poruchy. Kognitivní poruchy nejsou výstupem nějaké klinické diagnózy, není tedy možné pro ně odvodit konvenční vztah dávka – účinek pro výpočet zdravotní zátěže. Bývá proto raději definován jako poškození poznávacích schopností dítěte „zpožděním jeho psychomotorického rozvoje“ a zhoršení výkonnosti v jazykových dovednostech, motorických schopnostech a koordinaci, vedoucí k určitému deficitu na škále IQ.

Kognitivní deficit vlivem hlukové expozice můžeme pozorovat již od celodenní hlukové expozice  $L_{DN}$  50-55 dB, při hodnotách kolem 60 dB, při níž je negativně ovlivňováno na 20% exponované dětské populace. Snížení kognitivní schopnosti u dětí školního věku, k němuž dochází při těchto hlukových expozicích, navíc přetrvává ještě nějakou dobu po jejím ukončení. Je-li tedy žák dopoledne exponován ve škole určitou hlukovou zátěží, je její účinek trvalý ještě v odpoledních hodinách, v nichž by byl případně vystavován zátěži nižší. V podmínkách Vinohradské dětské populace je však možné často předpokládat jev opačný.

Se znalostí hlukové situace se můžeme pokusit o kvalitativní výpočet hlukové expozice žáka navštěvujícího vinohradskou školu a teoreticky bydlícího v jedné z oněch nejvíce exponovaných budov vybraných jako referenční body pro výpočet hluku na Vinohradech.



Zvolíme vinohradskou školu na ul. Mutěnická jejíž učebny na čelní fasádě obrácené do ulice Mutěnická jsou vystaveny hlukové expozici  $L_D = 45$  dB a byt hypotetického žáka ve výškovém domě Valtická 19 (RB6) jehož severní fasády jsou exponovány hlukem z komunikace Pálavské nám. v průměrné výši  $L_D 59,5$  dB. Z těchto údajů lze vypočítat průměrnou celodenní hlukovou expozici po dobu např. 6hod. denní výuky a následného teoretického pobytu dítěte/žáka ve zbytku dne v bytě (učení, spánek) a vypočítat vliv této expozice na potenciální snížení jeho kognitivních znalostí.

Průměrná hodnota denní hlukové expozice takového žáka je tedy složena z expozice ve škole (6 hodin), následné expozice odpoledne a noc v obydlí (pro určité zjednodušení nepočítáme jeho případné pobyty v jiných prostředích). Výsledná celodenní hluková zátěž (počítáno jako logaritmický součet jednotlivých hlukových expozic) je dána výslednou hodnotou  $L_{DEN} = 59,7$  dB. To je hodnota, jak již bylo konstatováno u cca 20% takto exponovaných dětí k poklesu jejich kognitivních vlastností, tedy ztíženému učení a dalších na tento efekt navazujících dějů. A to i přes relativně velmi dobrou situaci hlukové expozice v době návštěvy školy, která se nalézá v tak klidném prostředí, že i případná otevřená okna (důležitý efekt přívodu venkovního čistšího ovzduší vedoucího ke snížení nevhodně vyšších koncentrací oxidu uhličitého a polévatého prachu v učebnách), nepovedou k rizikové hlukové expozici v tomto prostředí. Kritickou pro dobré porozumění učiva a komunikace tedy zůstává pobyt v tak vysoce hlukem exponované místnosti. Zde je tedy pouze jeden prostředek, izolovat hlukový průnik dovnitř místnosti dobře utěsněnými okny (s zajistitelným poklesem hluku až o 20 dB).

### **Rušení spánku obyvatel Vinohrad**

Podle odborných závěrů Světové zdravotnické organizace WHO je vysoké rušení spánku způsobené hlukem ze silniční dopravy zařazeno mezi zdravotní parametry s přímým vlivem na četné zdravotní projevy noční hlukové expozice. Uvádí se, že snížená kvalita spánku má negativní vliv na celkovou kvalitu života, neboť snižuje i následnou denní pohodu exponovaných obyvatel.

Rušení spánku je definováno pro oblast hodnot  $L_N = 40-70$  dB. Četnosti různých fyziologických projevů rušení spánku jsou závislé na hodnotě průměrné noční hlukové zátěže vyjadřované jako  $L_N(\text{dB})$ .

- Do úrovně 30 dB nejsou obvykle pozorovány žádné účinky na spánek, kromě mírného nárůstu v četnosti pohybů těla během spánku. Doposud také neexistuje dostatek důkazů, že biologické účinky pozorované na úrovni pod 40 dB  $L_N$  jsou zdraví škodlivé. Nicméně na úrovni nad 40 dB  $L_N$  jsou již pozorovány nepříznivé zdravotní účinky, jako je individuální pocit poruch spánku, nespavost, zvýšené používání léků proti nespavosti a sedativ.
- Proto hodnota  $L_N 40$  dB je považována na nejnižší hodnotu pozorovaného nepříznivého zdravotního účinku (LOAEL) pro noční hluk. Avšak teprve expozice **větší než 55 dB** jsou již některými odborníky spojovány s kardiovaskulární účinky na zdraví exponované populace. U nich je navíc velmi pravděpodobné, že již v podstatě nemusí být závislé na povaze/zdroji hluku.

Podle četných studií způsobuje noční hluk zejména častá probuzení, v lepším případě neklid na lůžku s ranním pocitem špatného vyspání. Již pro hodnoty v pásmu  $L_N 50-55$  dB je nárůst neklidného spánku spojený se zvýšenými pohyby na lůžku nad normál až o 20% a počet neplánovaných probuzení je přibližně 40x za rok. Proto tyto hodnoty také charakterizují přibližně 5-10% ve spánku vysoce rušené populace.

V následující tabulce jsou pro vinohradské referenční body vypočteny podíly hlukem ve spánku různě rušených osob.

**Tab. 24 : Výpočet potenciálně ve spánku hlukem rušených obyvatel referenčního místa**

Výpočtové místo	$L_N$ [dB]	%HSD	%SD	%LSD
RB 1	48,4	4,8	11,8	26,0
RB 2	53,8	7,3	16,4	31,1
RB 3	52,4	6,6	15,1	29,7
RB 4	46,8	4,2	10,6	24,6
RB 5	40,0	2,6	6,5	19,3
RB 6	52,1	6,4	14,9	29,4

V těchto referenčních bodech může být středně, případně slabě ve spánku rušeno kolem 10 - 30% exponované populace. Již toto číslo znamená počínající zdravotní ohrožení, případně komplikace u tohoto nezanedbatelného podílu obyvatel.

Zcela zásadní je potom podíl často přesahující 5% exponované populace, která pociťuje silné rušení spánku. **Tento stav je již pokládán za zdraví ohrožující a je tedy žádoucí ho všemi prostředky eliminovat.**

Naštěstí tento stav nemusíme předpokládat u dalších souborů obytných budov na Vinohradech. Pro většinu z nich je noční hluková expozice v pásmu 40-45 dB, což pro většinu obyvatel Vinohrad také znamená, že při spánku mohou mít pootevřené okno, snižující hlukovou expozice u lůžka až o 10 dB. Tyto hodnoty dosahované uvnitř sídliště mimo dosah hlavních komunikací jsou akceptovatelné pro nerušený spánek většiny vinohradské populace.

### **Zhodnocení potenciálního zdravotního rizika akutního infarktu myokardu**

Přes částečně pozitivní hodnocení hlukové expozice většiny obyvatel Vinohrad existuje i nepočtená skupina, která je díky poloze jejich bytů vystavována vyšším hlukovým expozicím, které již mohou být zdravotně provázána s poměrně těžkými chorobami. Jednou z významných zdravotních komplikací za jehož nástup můžeme činit spoluodpovědným, je akutní infarkt myokardu (AIM).

Pro hodnocení potenciálního zdravotního rizika akutního infarktu myokardu z celodenní expozice dopravním hlukem byly v odborné literatuře odvozeny vztahy mezi rizikem předčasného výskytu této diagnózy ve vztahu k dlouhodobému exponování populace denním hlukem z přilehlé komunikace. Toto hodnocení využívá velké epidemiologické studie učiněné na populaci evropských měst, o níž je předpokládáno, že je dlouhodobě (nejméně 10 let) exponována dopravním hlukem z takovéto městské komunikace. I přes to, že se na těchto komunikacích se předpokládá celodenní provoz, byly tyto vztahy odvozeny pro denní dopravní hluk v trvání 16 hodin (06-22 hod). Tyto expoziční hodnoty zobrazuje na hlukových mapách v přílohách této studie situace hlukových zátěží definovaných hlukovým deskriptorem  $L_D$ .

Závislost rizika výskytu této nepříjemné diagnózy vlivem celodenní hlukové expozice není lineární a začíná platit pro hlukovou zátěž větší než  $L_D = 60\text{dB}$ . Pro úplnost a možný výpočet takového rizika i pro jiné hodnoty celodenního hluku jsou v další tabulce uvedeny hodnoty příslušné hlukové expozice a jim odpovídající relativní riziko pravděpodobnosti této diagnózy pro rozpětí hlukové expozice  $L_D$  60-70 dB.

**Tab. 25 : Závislost hlukové expozice na relativním riziku přírůstku diagnózy AIM**

$L_{D,16h}$ (dB)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
RR (%)	0,7	1,2	1,9	2,7	3,6	4,7	6,0	7,4	9,1	10,1

Hodnoty uvedené v této tabulce musíme chápat tak, že hodnota relativního rizika (RR) takovéto dlouhodobé expozice hlukem o určité v tabulce definované intenzitě hluku může být určena jako podíl akutního infarktu myokardu vlivem této expozice z hodnoty kterou je možno pro obyvatele Brna nalézt v údajích zdravotnických ročenek vydávaných každoročně Ústavem zdravotnických informací Praha jako počet hospitalizovaných osob na tuto diagnózu na 100.000 žijících obyvatel. Z posledních údajů je četnost této diagnózy pro obyvatele Brna vypočtena na 220/100.000 obyvatel, tedy hodnota docela nízká zejména vzhledem k počtu obyvatel Vinohrad. Onemocnění AIM je však nebezpečné svou smrtností, která může dosahovat až jedné třetiny akutně touto nemocí postižených obyvatel.

Tedy s použitím údajů o četnosti indikace AIM a hodnoty hlukové expozice například 65 dB můžeme vypočítat podíl této diagnózy jako na pouhých 8 osob ze 100.000 v tomto prostředí trvale žijících obyvatel. Tedy hodnota skutečně velmi nízká, závislá na počtu takto exponovaných obyvatel ovšem relativizovaná její vysokou mírou smrtnosti.

Tímto způsobem můžeme odhadnout pouze potenciální rizika obyvatel žijících ve vysoce exponovaných místech na Vinohradech. Tyto lokality se však naštěstí na Vinohradech v bezprostřední blízkosti fasád obytných domů (tedy v takzvaném chráněném venkovním prostoru staveb, viz. Tab.21) prakticky nevyskytují. Pouze ve dvou referenčních bodech byly vypočteny průměrné hladiny hluku dopadajícího na fasádu přivrácenou ke komunikaci větší než  $L_D = 60$  dB. Tyto hodnoty leží na samém počátku hlukového rizika ústícího do AIM (RR <1%). Je ovšem znepokojující, že jeden z těchto objektů leží uvnitř Vinohrad (Valtická 19-RB6), tedy v blízkosti hlavního okružního průtahu Vinohrady. Druhý objekt je potom Prušánecká 4-RB2, jehož lokalizace v blízkosti nejvyššího bodu komunikace ul.Žarošická, tento předpoklad naplňuje.

Jak již bylo naznačeno hodnoty 60-63dB můžeme spojovat s relativními riziky do 2% a jejich významnost není naštěstí tak velká. Hodnoty vyšší než LD 65dB s riziky dosahujícími 5% jsou potom identifikovatelné pouze v bezprostředním okolí vinohradských komunikací.

## Závěr hodnocení potenciálního zdravotního rizika hlukové expozice

Jak již bylo v úvodu této kapitoly řečeno, hluk, je fyzikální veličina, kterou lze poměrně přesně měřit a definovat tím její expozici a tudíž také zdravotní rizika, ale jeho vnímání je naopak pocit vysoce subjektivní, který se může lišit s vysokou mírou individuální variability. V normální populaci je 10 – 20% na hluk vysoce citlivých osob a prakticky stejné procento osob velmi tolerantních. Pro zbývajících 60 – 80% populace platí kontinuální závislost míry obtěžování nebo rušení spánku na intenzitě hlukové zátěže.

Pro působení hluku v subjektivní sféře byly pojmenovány jeho základní diferencované pojmy pro charakterizaci účinků na člověka. Jsou to :

- **rušení**, při němž hluk interferuje s nějakou činností (spánkem, duševní prací, řečovou komunikací apod.);
- **rozmrzlost a pocit nepohody**, vznikající působením hluku a prožívaný negativně hlukem postiženým člověkem nebo skupinou;
- **obtěžování**, což představuje nepřijatelné ovlivňování životního prostředí, případně skupinových či osobních práv.

Hlukovou expozici lze na rozdíl například od imisní zátěže poměrně přesně identifikovat určitým bodě v prostoru. Je to dáno způsobem šíření hlukové vlny v prostoru.

I zde však pro lepší pochopení situace používáme takzvaných hlukových map, které ukazují s určitou definovanou přesností a správností nejpravděpodobnější hlukovou expozici v tomto případě intenzitu hluku danou příslušným deskriptorem pro hluk dopadající na určitou fasádu obytné budovy obvykle přivrácenou ke zdroji hluku. Nynější praxe se ustálila ve způsobu barevného vyznačení ploch vymezených 5ti decibelovým odstupem příslušného deskriptoru (například denní, noční hluk o dané délce jeho působení). Hodnoty výpočtu hlukových ploch o stejné intenzitě jsou konstruovány pomocí poměrně složitých iteračních programů jimiž se počítá intenzita zvukové vlny pro dané místo včetně započítání případných odrazů od pevných překážek.

V přílohách této studie jsou uvedeny takto pořízené hlukové mapy s barevným vyznačením izolinií o stejné hodnotě hlukové intenzity (v případě hluku nazývané izofony). Z těchto údajů potom standardní metodikou počítáme nejpravděpodobnější odhad zdravotního rizika vzhledem k místu, času a denní době hlukové expozice.

Hodnotíme-li tyto hlukové mapy je zřejmé, že pro Vinohrady jsou hlukové zátěže odstupňované pro denní hluk ve škálách 40-60 dB pro denní hluk a 35-50 dB pro hluk noční.

Z těchto hodnot jsou potom počítána zdravotní rizika ve třech základních specifikacích:

1. zdravotní rizika silného obtěžování a rušení poznávacích schopností dětské populace denním hlukem
2. zdravotní rizika silného a středního rušení spánku nočním hlukem
3. zdravotní rizika předčasného výskytu akutního infarktu myokardu při expozici celodenním hlukem

Vezmeme-li v potaz jakési střední hodnoty obou pásem denního a nočního hluku, které jsou identifikovatelné na Vinohradech (přičemž nelze říci, že je takto exponovánými polovina vinohradských obyvatel), lze k nim přiřadit procentické podíly hlukem různě rušených a obtěžovaných obyvatel (viz. tab.č. 26 a tab. Č.18, 19). Tři až čtyři procenta silně

obtěžovaných a ve spánku rušených osob jsou v tomto pásmu rovněž uvnitř odhadovaného podílu cca 10% vysoce ke hluku tolerantních, i když 3,6% silně a téměř 10% středně ve spánku rušených osob je již při těchto expozicích více než pravděpodobně vystaveno zdravotnímu riziku.

**Tab. 26 : Hodnoty podílů obtěžovaných a ve spánku rušených osob**

$L_{DEN}$	% HA	% A	% LA
50 dB	3,7	10,9	24,9
$L_N$	% HSD	% SD	% LSD
45 dB	3,6	9,8	23,1

Pochopitelně reálná hodnota procenta obtěžování či rušení spánku platná pro určitou fasádu a za ní se nacházejícího bytu v některém z obytných domů na Vinohradech se musí vypočítat s použitím příslušné hlukové mapy a výpočtu nejlepšího odhadu podílu takto exponovaných osob.

Pro hodnoty hlukové expozice fasád pěti referenčních bodů o nichž jsme v předchozím průzkumu předpokládali, že budou nejvíce hlukem exponovány byly v této studii vypočteny hodnoty hlukových deskriptorů  $L_D$ ,  $L_N$ ,  $L_{DEN}$  pro všechny čtyři výšky nad úroveň terénu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v textu této studie. Zde byly skutečně identifikovány zdravé rizikové hodnoty některých z těchto deskriptorů. Jim odpovídající zdravotní rizika můžeme kvantifikovat ve výši až kolem 10% vysoce obtěžovaných a ve spánku rušených osob bydlících v těchto bytech.

V těchto bytech, ale také v bytech s celodenní hlukovou expozicí 50-55 dB můžeme také zcela jistě předpokládat začátek zhoršené komunikace řeči a tím možnost nástupu redukce kognitivních vlastností zejména mladších dětí ve věku 5-10let. To je již poměrně vážná indikace zdravotního rizika.

V bytech, jejichž fasády jsou exponovány celodenním hlukem převyšujícím  $L_D = 60$ dB potom hrozí riziko předčasného výskytu akutního infarktu myokardu. Toto riziko sice není na Vinohradech významné, ale existuje. Hodnoty 60-63dB, které lze na Vinohradech jako maximální nalézt, můžeme spojovat s relativním rizikem AIM do 2% a jejich významnost tedy není vzhledem k nepatrnému počtu takto exponovaných osob naštěstí velká.

I tento fakt, spolu s významnějším podílem vysoce ve spánku rušených osob, by si zasluhoval potvrzení těchto teoretických závěrů pomocí následného měření celodenní hlukové expozice za standardních podmínek vinohradského automobilového provozu na několika významných hlukem exponovaných místech Vinohrad.