

WHO tweet, Feb 2020 “FACT: #COVID19 is NOT airborne,”

# Jak se doopravdy šíří COVID?

Vladimír Ždímal

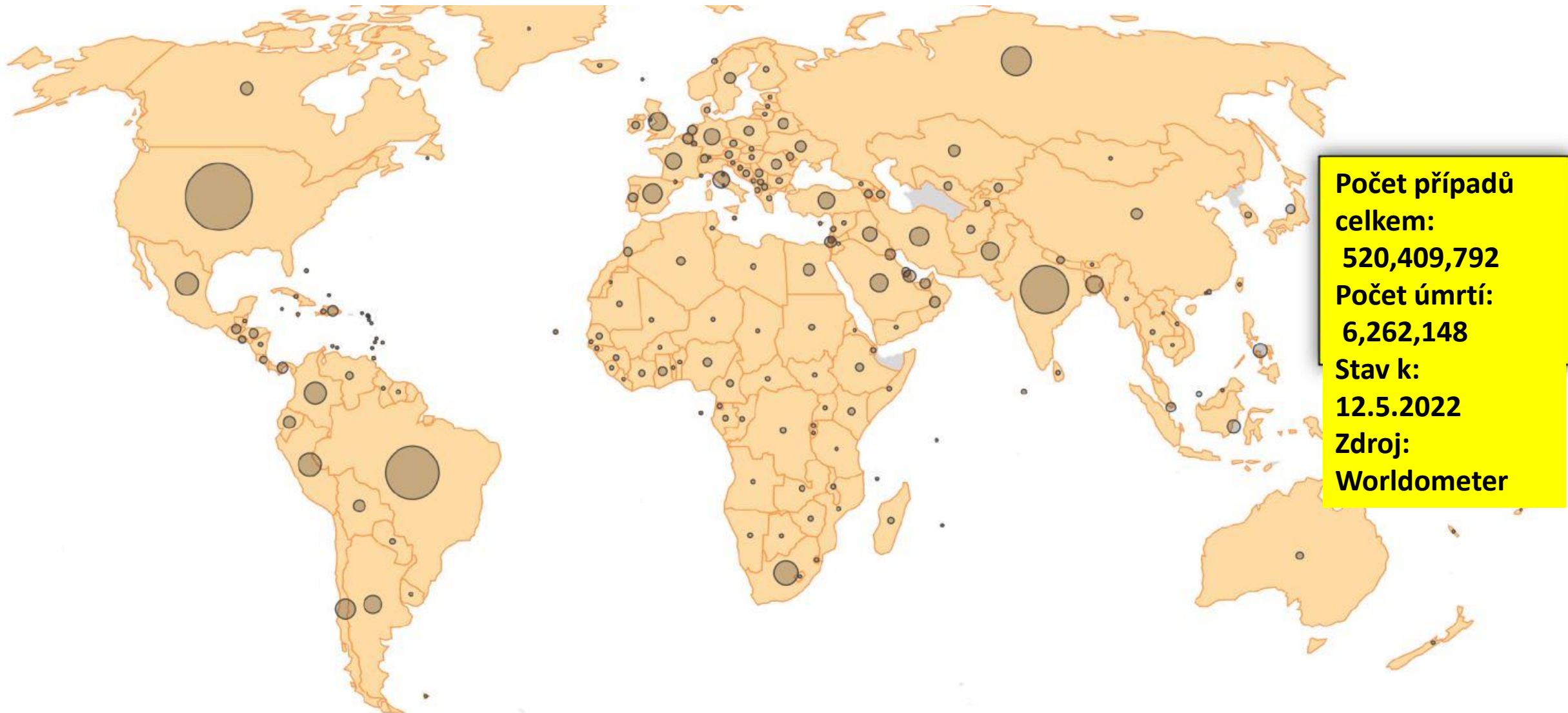
Akademie věd České republiky  
Ústav chemických procesů  
Oddělení chemie a fyziky aerosolů

WHO webpage, Dec 23, 2021:

‘Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?’  
“long-range airborne transmission”

# Globální pandemie COVID-19

Přes 520 milionů případů ve 222 zemích a teritoriích



# Trocha názvosloví

Virus dostal jméno:  
**SARS-CoV-2**

Onemocnění jím přenášené se nazývá:  
**COVID-19**

# Zrádní asymptotiční přenašeči

# Dynamika přenosu lidských koronavirů (CoV)

	SARS-CoV-1	MERS-CoV	SARS-CoV-2
Inkubační doba, Medián (rozsah)	4-6 dní, (až 16 dní)	4-6 dní, (2-14 dní)	4-6 dní, (2-14 dní)
Presymptom.přenos	Ne	Ne	Ano!

## Virus SARS-CoV-2:

- Nejvyšší nakažlivost 1-2 dny před nástupem příznaků (presymptomatická) a krátce potom
- Významný podíl přenosu nákazy, podle dnešních odhadů více než 50 %, je od osob bez příznaků (asymptomatických)

Lauer 2020, *Ann Intern Med*; doi:10.7326/M20-0504. Du 2020, *Emerg Infect Dis*; doi.org/10.3201/eid2606.200357.

Nichiura 2020, *Int J Infect Dis*; doi.org/10.3201/eid2606.200357. Lipsitch 2003, *Science*;300(5627):1966-70.

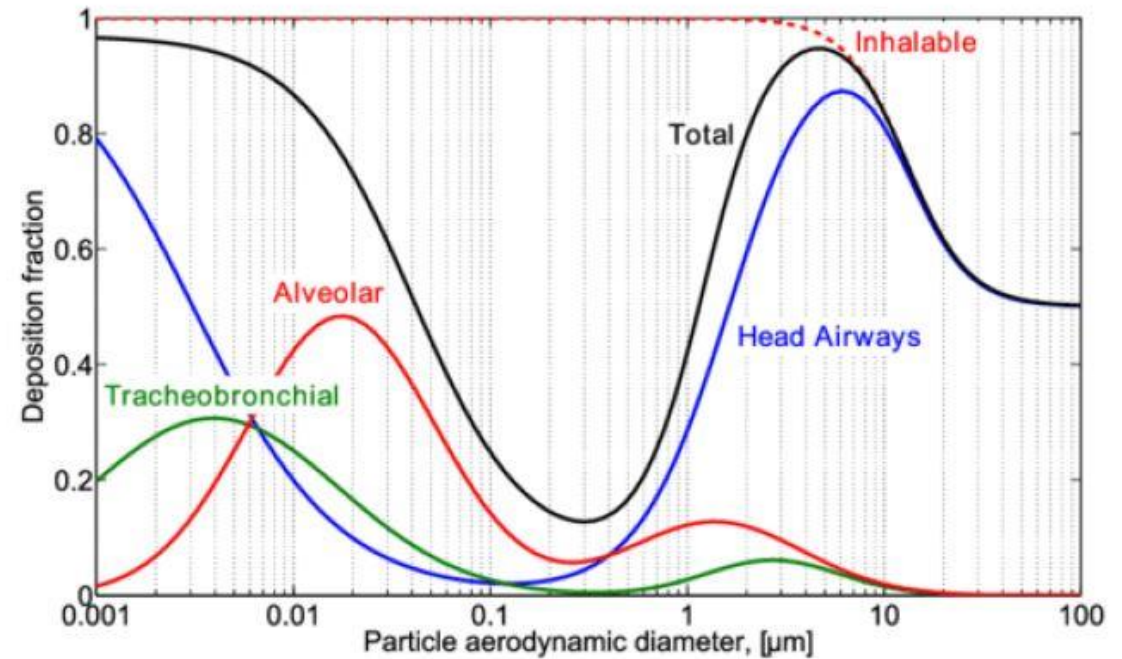
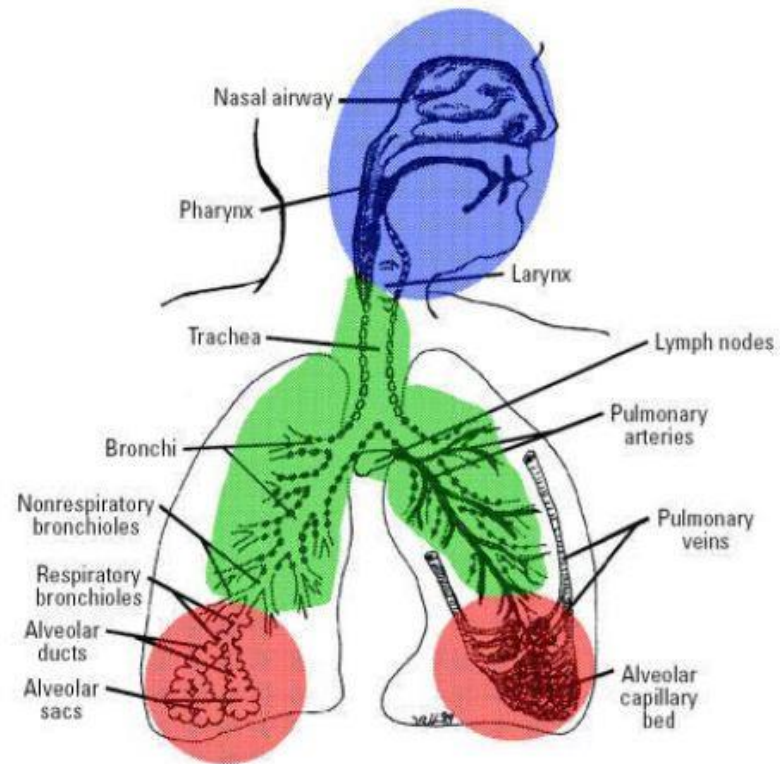
Park 2018, *BMC Public Health*; doi.org/10.1186/s12889-018-5484-8



# Jak překonat sráz na infekční křivce

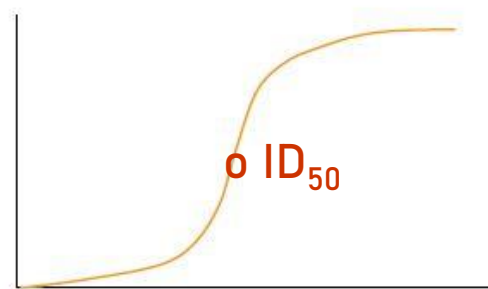


# SARS-CoV-2: Infekční dávka



Pravděpodobnost  
vzniku nákazy

Křivka odezvy na dávku viru



Počet částic s virionem

(1) Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J., 2005, Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles, *Environ Health Persp*, 113, 823-839 (2) Kovisto, A.J., 2013, Source specific risk assessment of indoor aerosol particles, Ph.D. dissertation (3) Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., et al., 2010, Development of a Dose-Response Model for SARS Coronavirus, *Risk Anal*

# SARS-CoV-2: Infekční dávka

- Zatím nejsou žádné experimentální studie na lidech
- Zvířecí studie na syrských křečcích prokázaly **100% pravděpodobnost nákazy při přenosu 1000 virionů SARS-CoV-2**
- Výsledek je podobný pro virus SARS-CoV-1



$ID_{50} = <1000$  infectious virus (PFU)



Tak kapénky nebo aerosoly?  
Hlavně se páni vědci dohodněte.

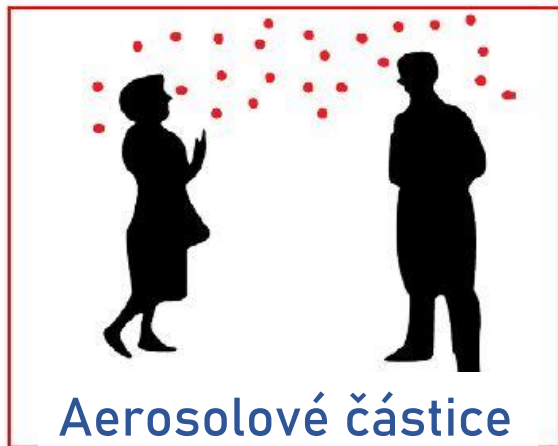
# SARS-CoV-2: Způsoby přenosu

*Flugge C. Die verbreitung der phthise durch Staubförmiges sputum und durch beim husten verspritzte tröpfchen. Z. Hyg. Infektionskr. 1899; 30: 107–124.*



- Update stanoviska CDC, léto 2020: Nebyl prokázán žádný případ přenosu onemocnění kontaktem s povrchem.

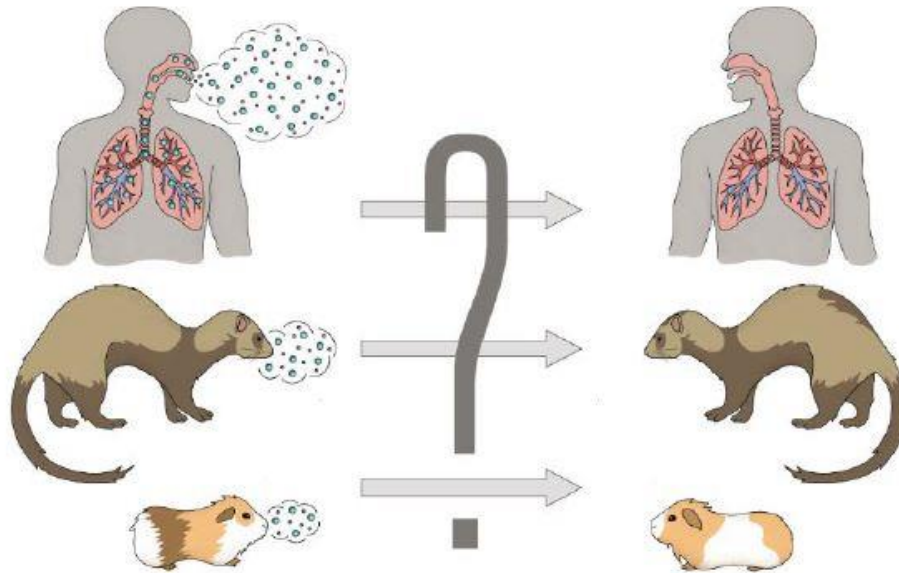
Epidemiologická definice kapének: Jsou větší než 5 mikrometrů a doletí maximálně 2 m



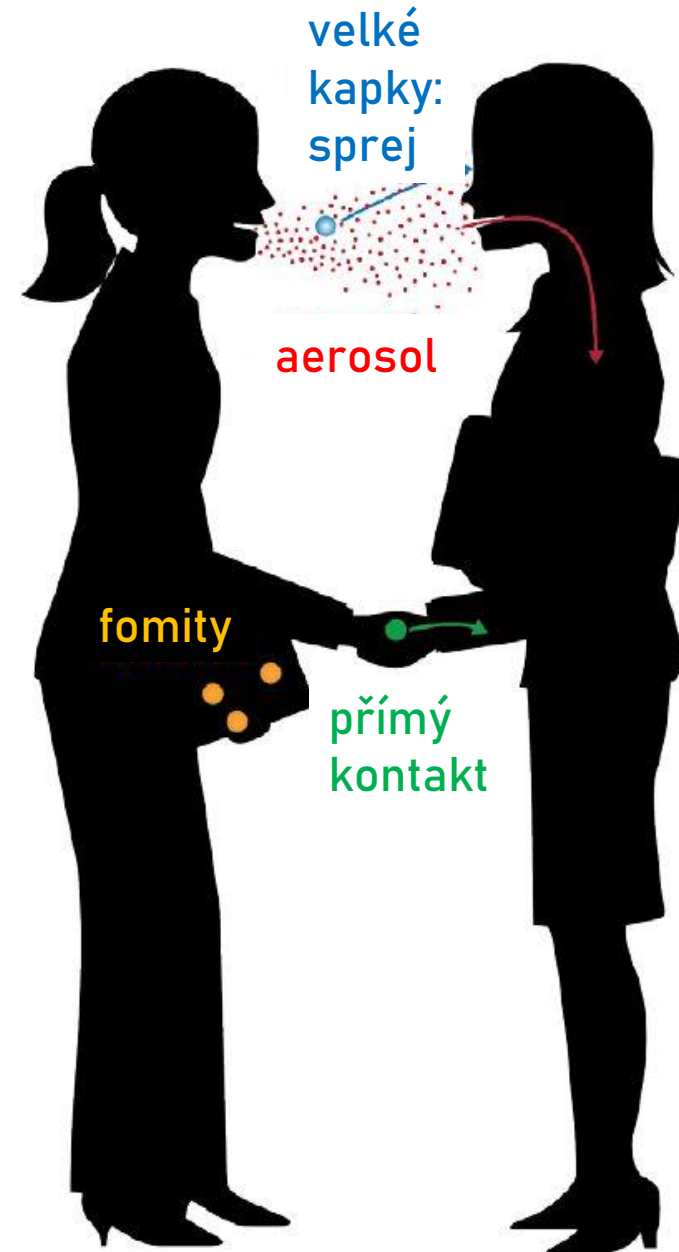
Epidemiologická definice aerosolu: Částice menší než 5 mikrometrů a nesený vzduchem na delší vzdálenosti.

Původ tvrzení, že kapénky jsou větší a aerosolové částice menší než 5 mikrometrů je nejasný a v rozporu se současnými znalostmi aerosolové vědy. Dlouho bránilo správnému chápání přenosu infekce.

# SARS-CoV-2: Způsoby přenosu



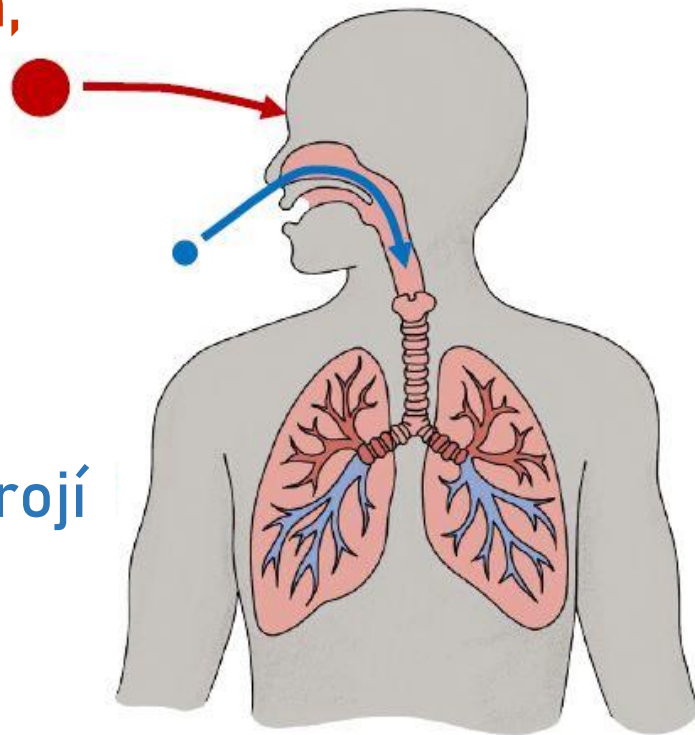
- V mnoha studiích je pozorován přenos nákazy,
- ale nevíme, kterým mechanismem k němu došlo.



# SARS-CoV-2: Způsoby přenosu

Velké kapky jsou  
jakoby sprejovány  
na povrch těla,  
kontaktní  
přenos

Aerosoly jsou  
inhalovány do  
dýchacího ústrojí

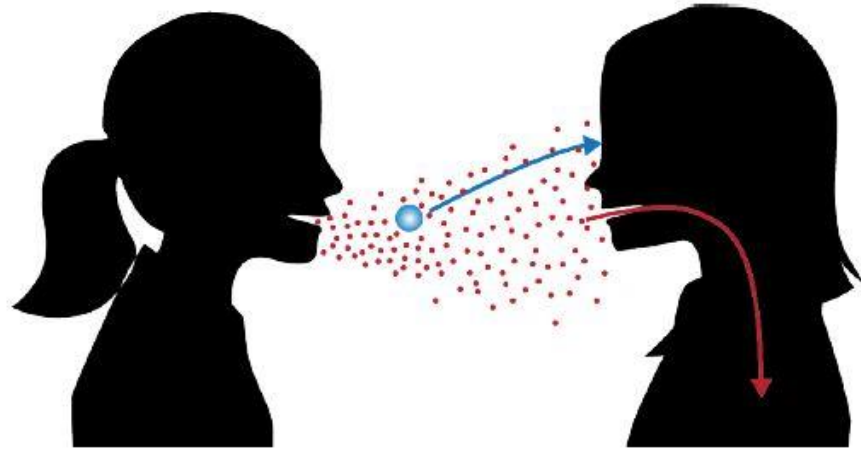


Na způsobu přenosu  
závisejí:

- Strategie ochrany
- Infekční dávka
- Vážnost onemocnění

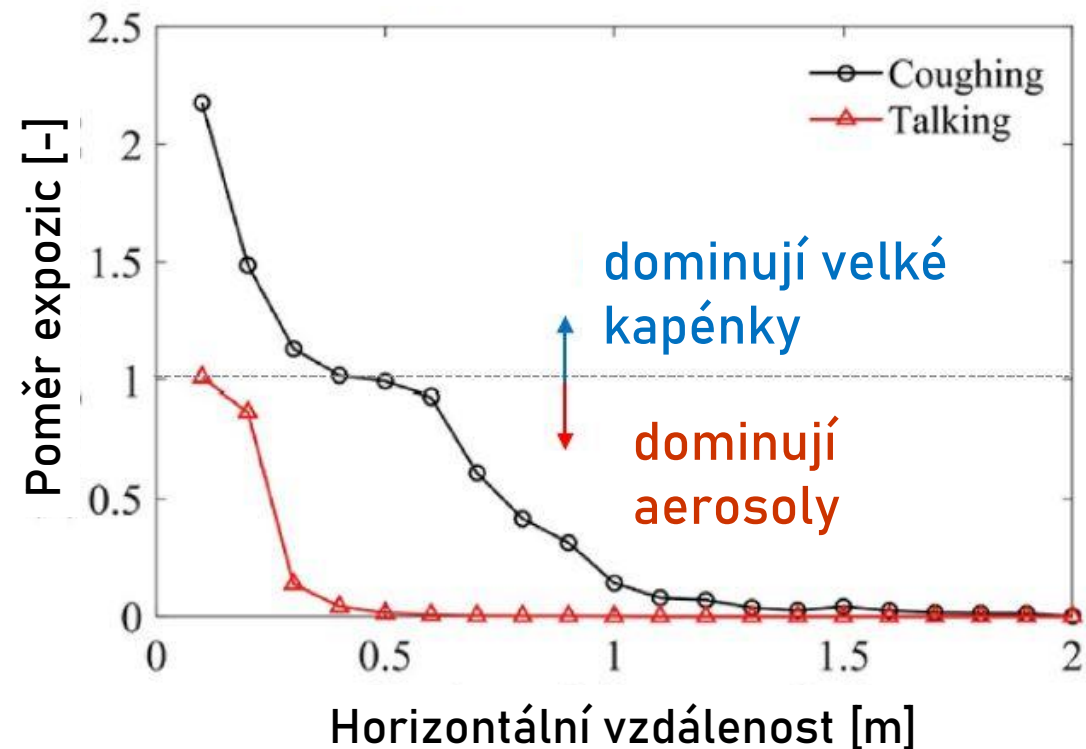
Fyzikou přenosu určené  
rozhraní mezi kapénkami  
a aerosoly je někde mezi  
60 - 100 mikrometrů !

# SARS-CoV-2: Způsoby přenosu nablízko



Na fyzice založený model spreje velkých kapek a oblaku aerosolu produkovaných při řeči a kašli

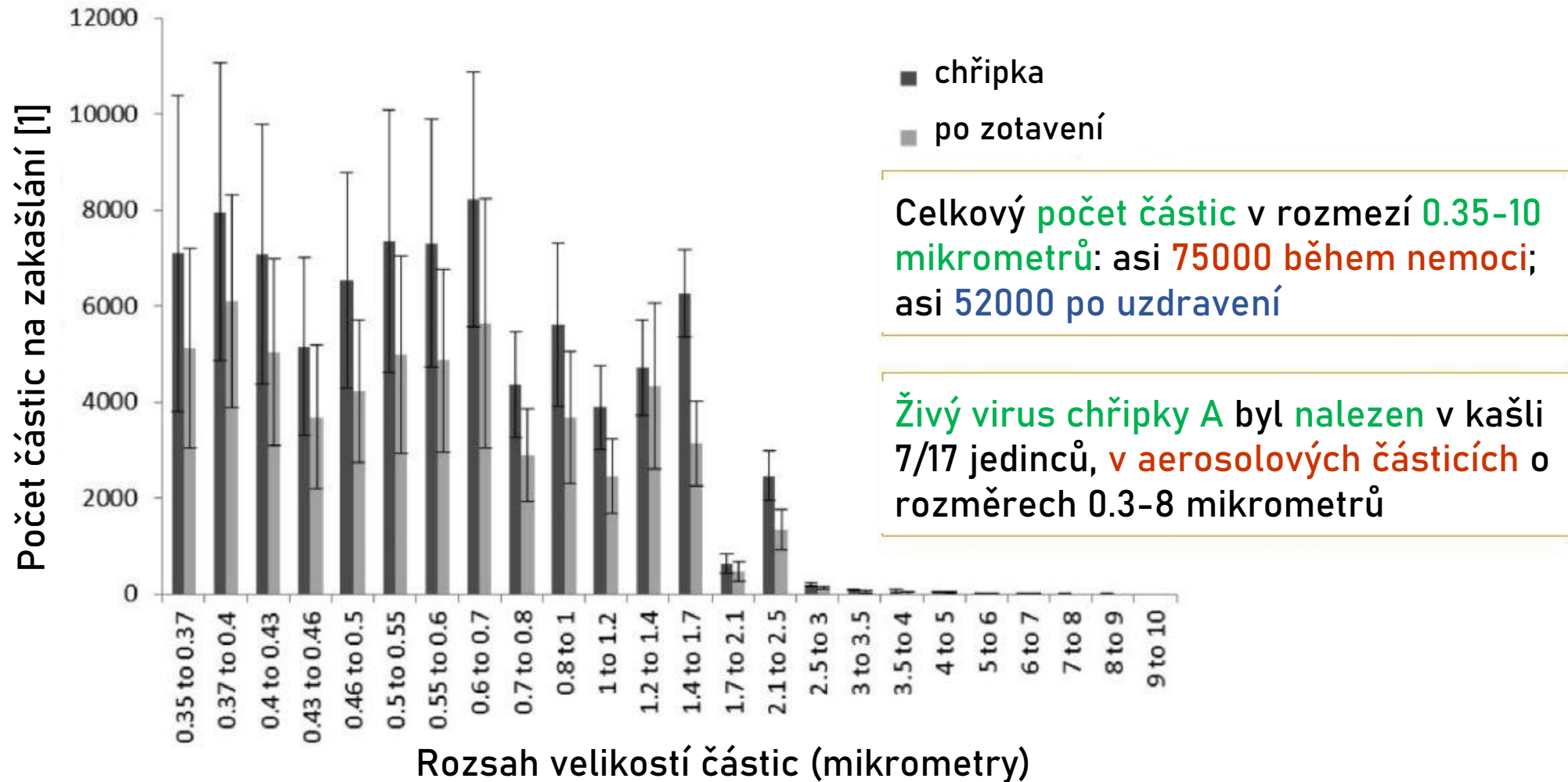
Poměr expozice spreji velkých kapek k inhalaci aerosolu při kontaktu nablízko



**Soutěž ve střelbě kapének:  
kýchání, kašel, řeč, zpěv, křik a dech.  
Mistři světa ve střelbě**



# Kašel jako zdroj aerosolu



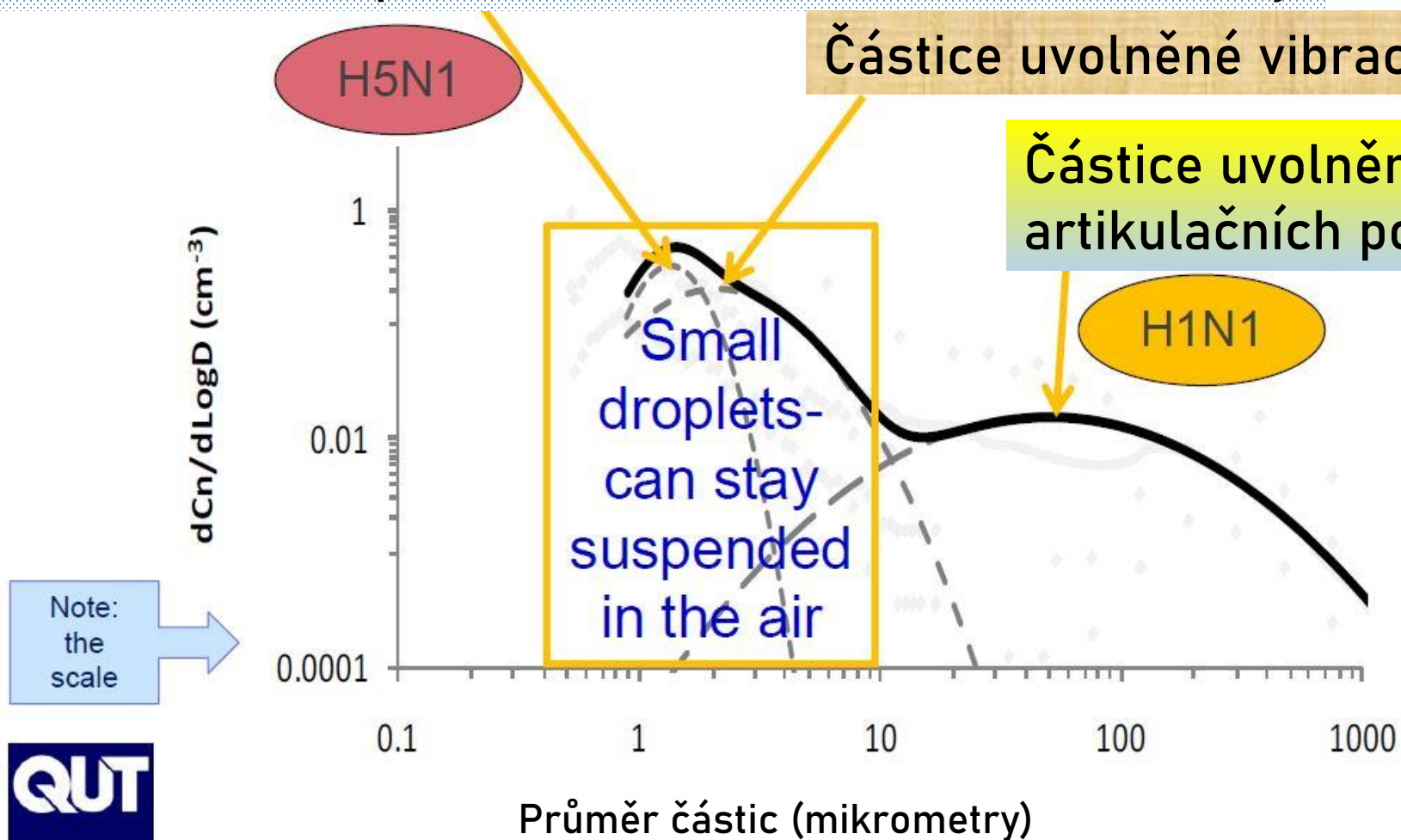
(1) Lindsley, W.G., Pearce, T.A., Hudnall, J.B., et al., 2012, Quantity and size distribution of cough-generated aerosol particles produced by influenza patients during and after illness, *J Occup Environ Hyg* (2) Lindsley, W.G., Noti, J.D., Blachere, F.M., et al., 2015, Viable influenza A virus in airborne particles from human coughs, *J Occup Environ Hyg*

# Řeč jako zdroj aerosolu

Částice vzniklé prasknutím filmu bronchiální tekutiny

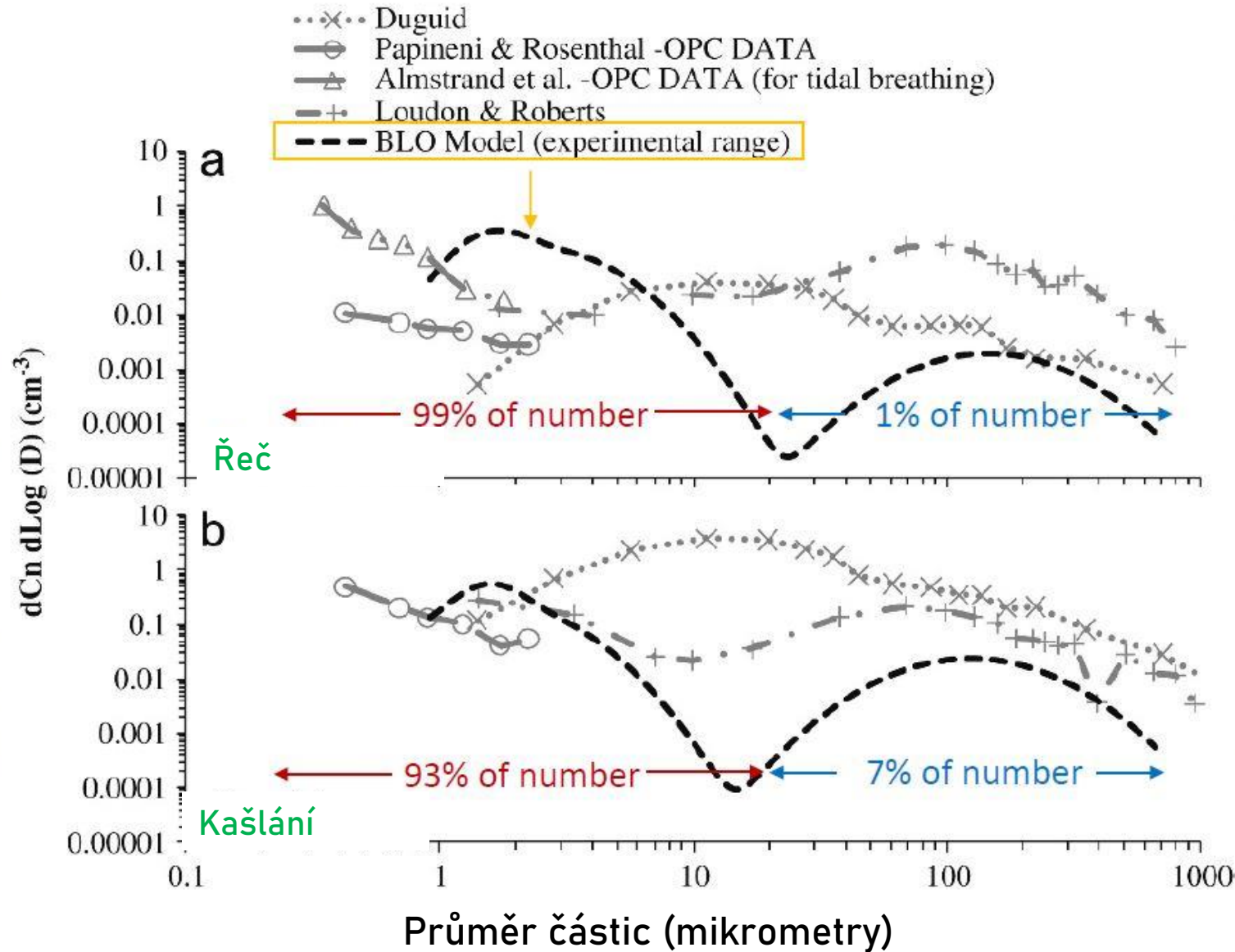
Částice uvolněné vibrací hlasivek

Částice uvolněné při artikulačních pohybech



# Řeč a kašel: porovnání

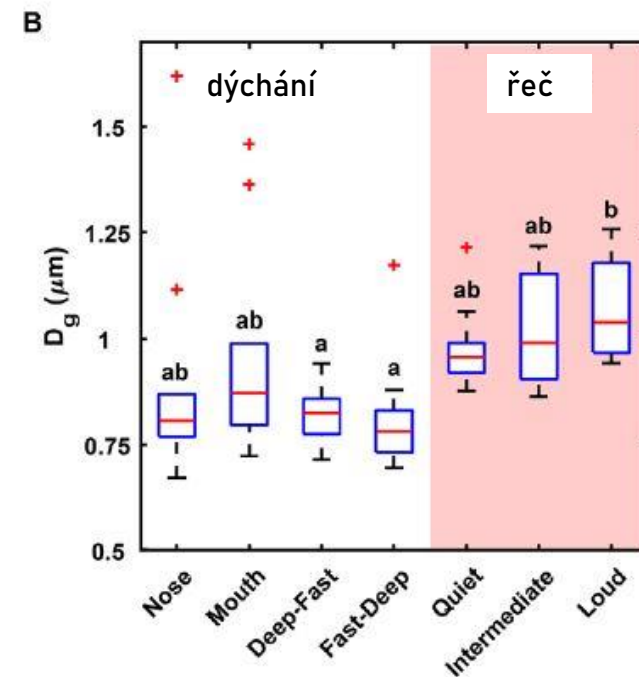
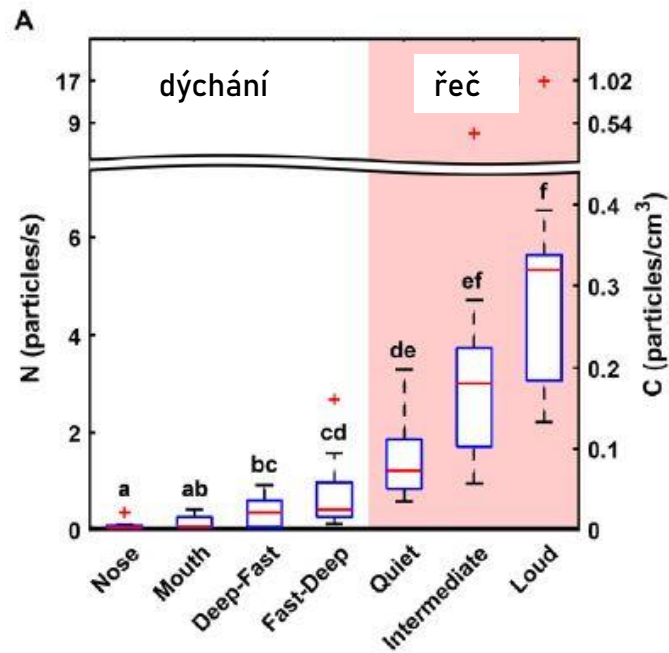
Početní koncentrace na výstupu z nosu a úst



5 nl a 30 kopií virální RNA když řekneme „Hello world“

125 nl a 900 kopií virální RNA na jedno odkašlání

# Koncentrace, emise a střední velikosti částic při dýchání a řeči



Rychlosti emise / koncentrace)

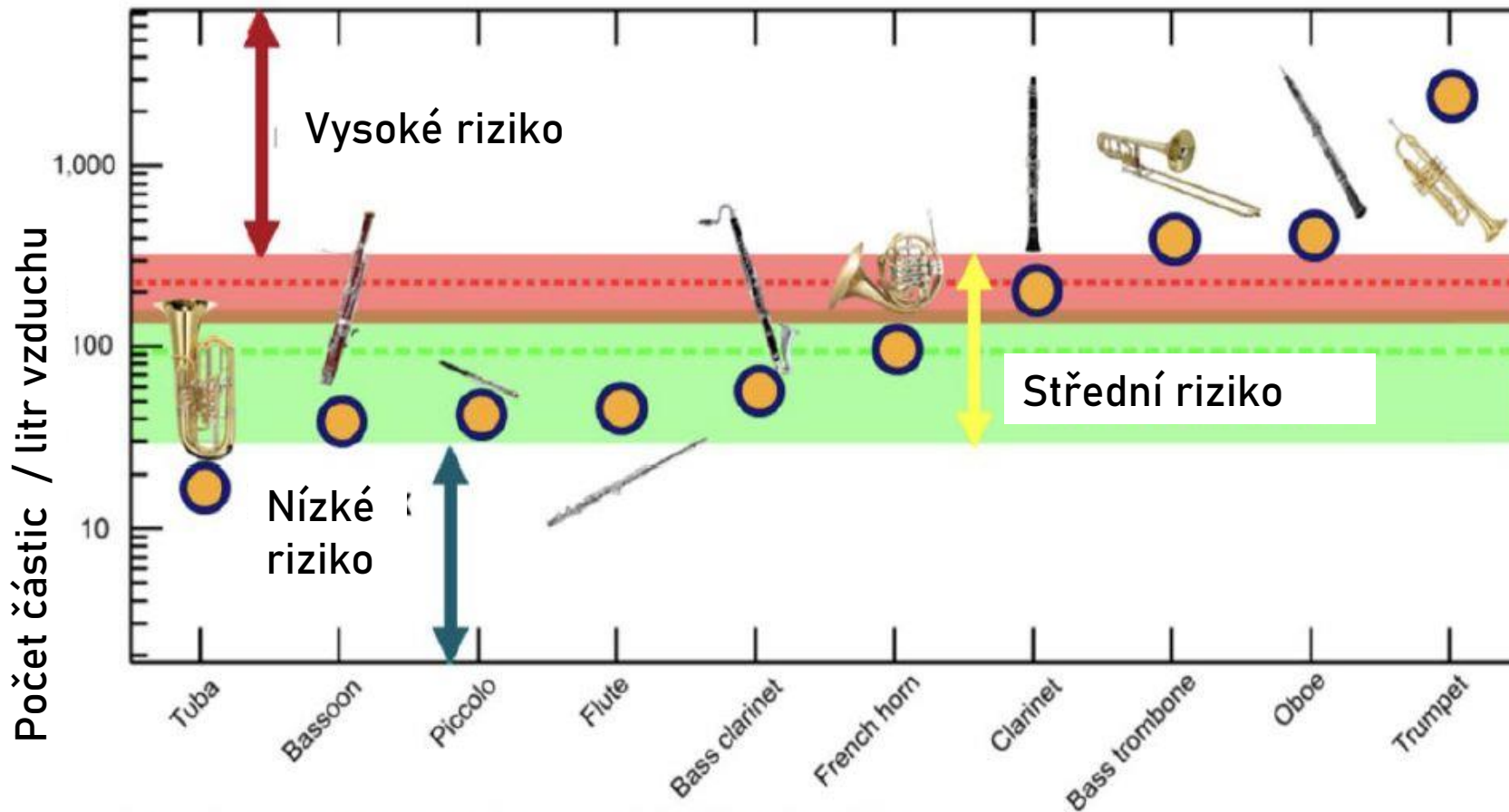
Geometrické střední hodnoty



Particle size distribution: TSI APS 3321  
0.542- 20  $\mu\text{m}$ , 52 size bins



# Aerosolové částice produkované dechovými nástroji

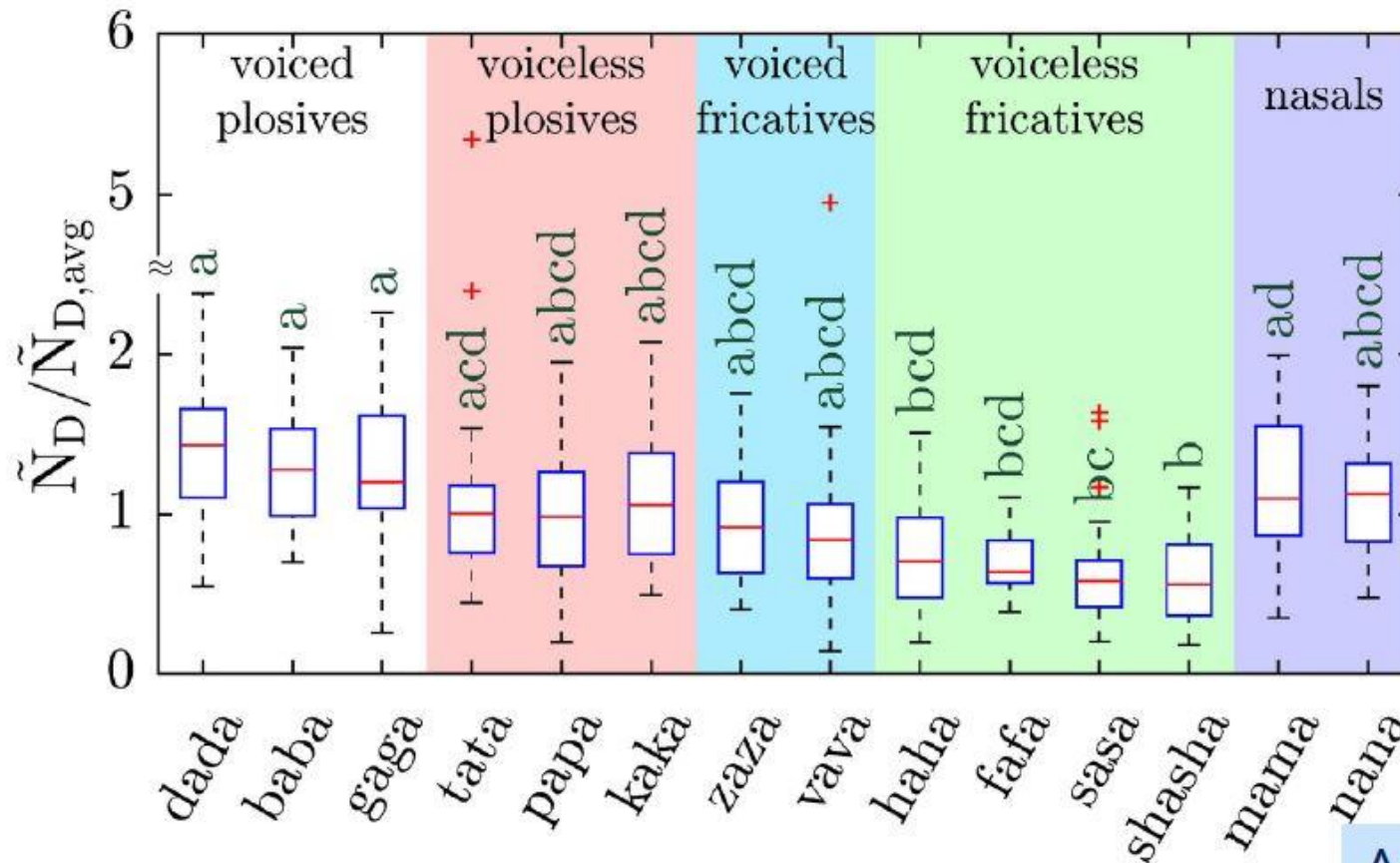


Měřen počet částic v litru vzduchu (průměr částic mezi 0,5-20 mikrometrů)

- Hraní
- Řeč
- Dýchání

He 2020, *medRxiv*; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.08.03.20167833>

# Není řeč jako řeč



Vyslovování různých typů hlásek má výrazný vliv na množství emitovaných kapének

Z toho lze snadno odvodit, že mluvčí v různých jazycích produkují různá množství kapének

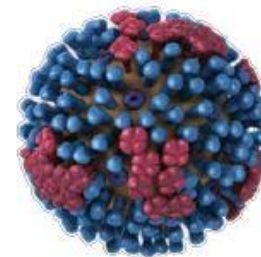
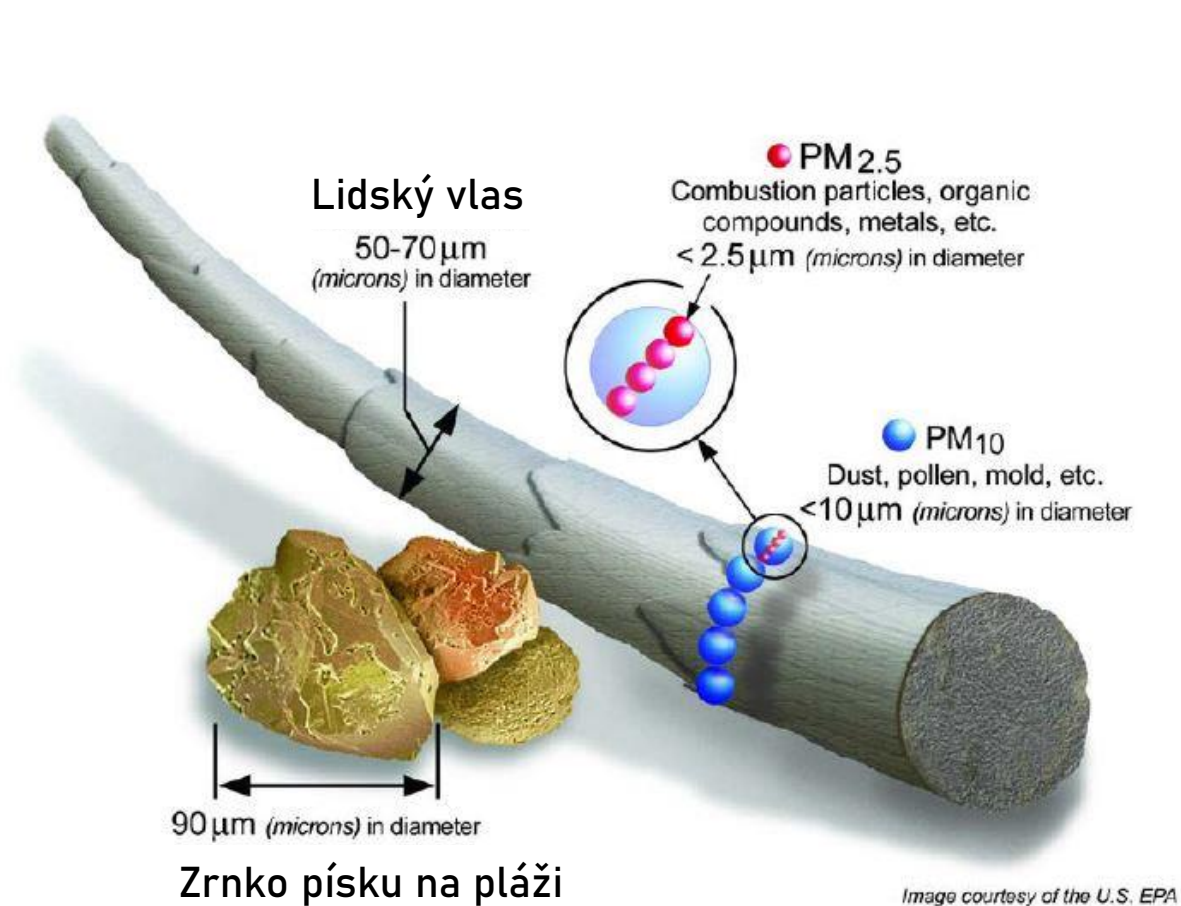
Aerosol size distribution:  
(TSI APS 3321)  
0.542- 20  $\mu\text{m}$ , 52 size bins



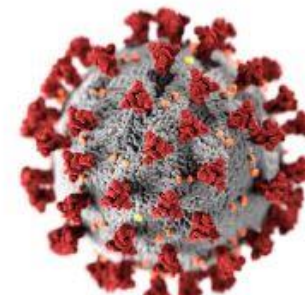


# Závody gravitace s vypařováním

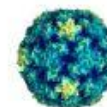
# Velikost viru SARS-CoV-2



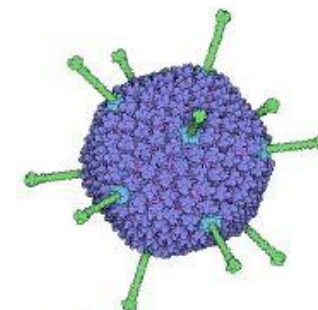
chřipka  
0.1  $\mu\text{m}$



SARS-CoV-2  
0.12  $\mu\text{m}$



rhinovirus  
0.03  $\mu\text{m}$

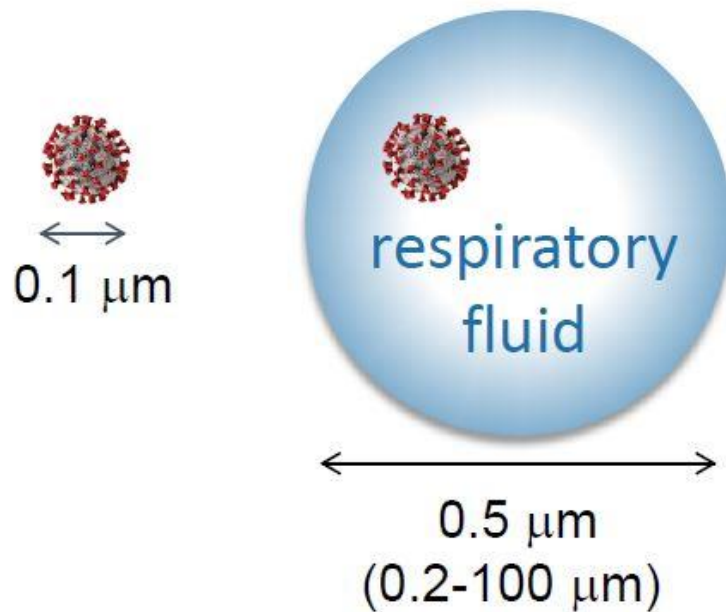


adenovirus  
0.1  $\mu\text{m}$

Virus SARS-CoV-2 je asi 500x menší než průměr lidského vlasu !

# Velikost kapénky / aerosolové částice

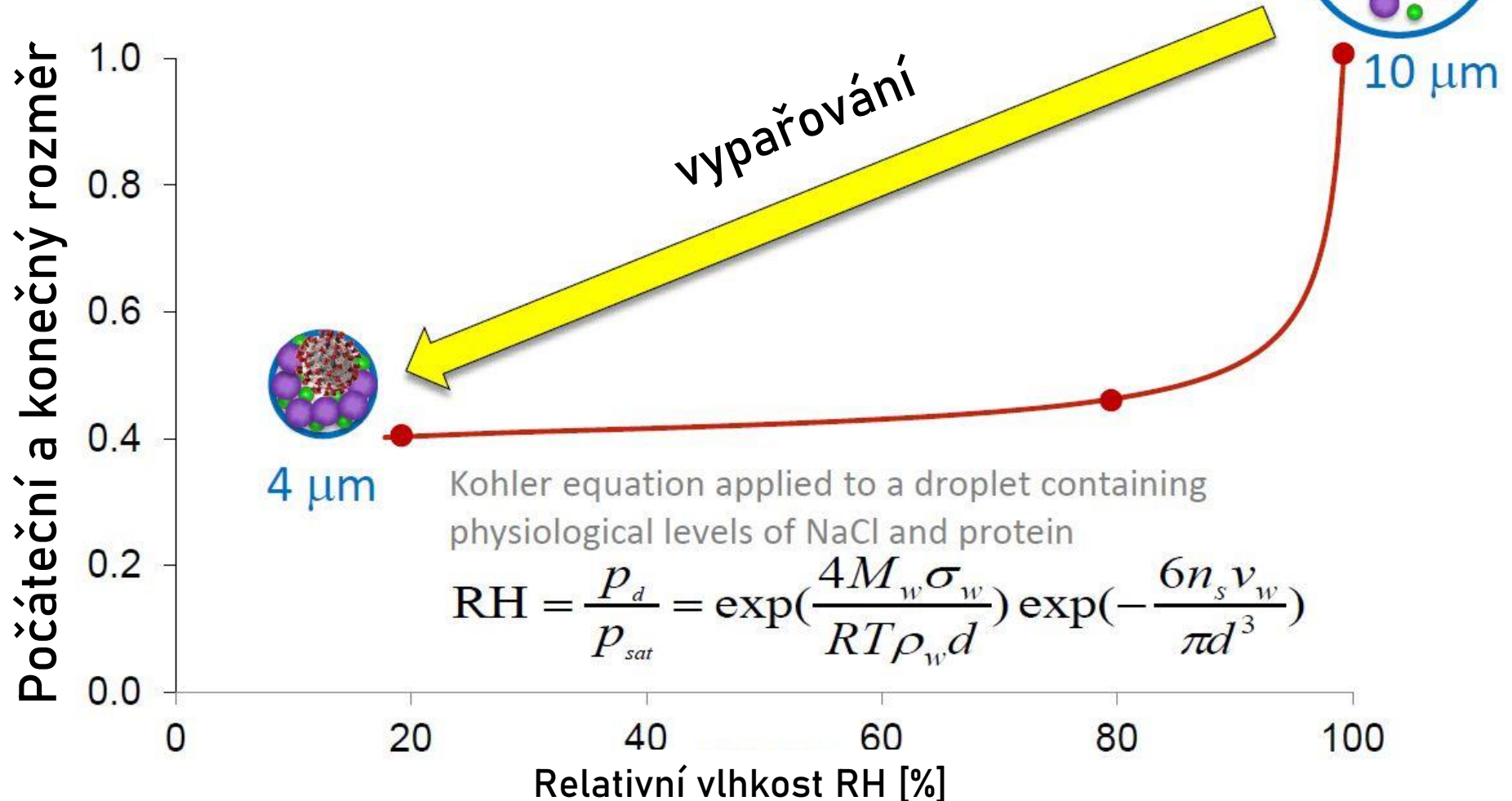
1. Virus nesený vzduchem **není nahý**
2. **Velikost kapénky/aerosolové částice** určuje:



- Jak dlouho poletí
- Jak daleko doletí
- Jak rychle se usadí na povrch
- Kde se deponuje v dýchacím ústrojí
- Jak snadno lze zachytit respirátorem nebo rouškou
- Fyzika je stejná pro všechny viry

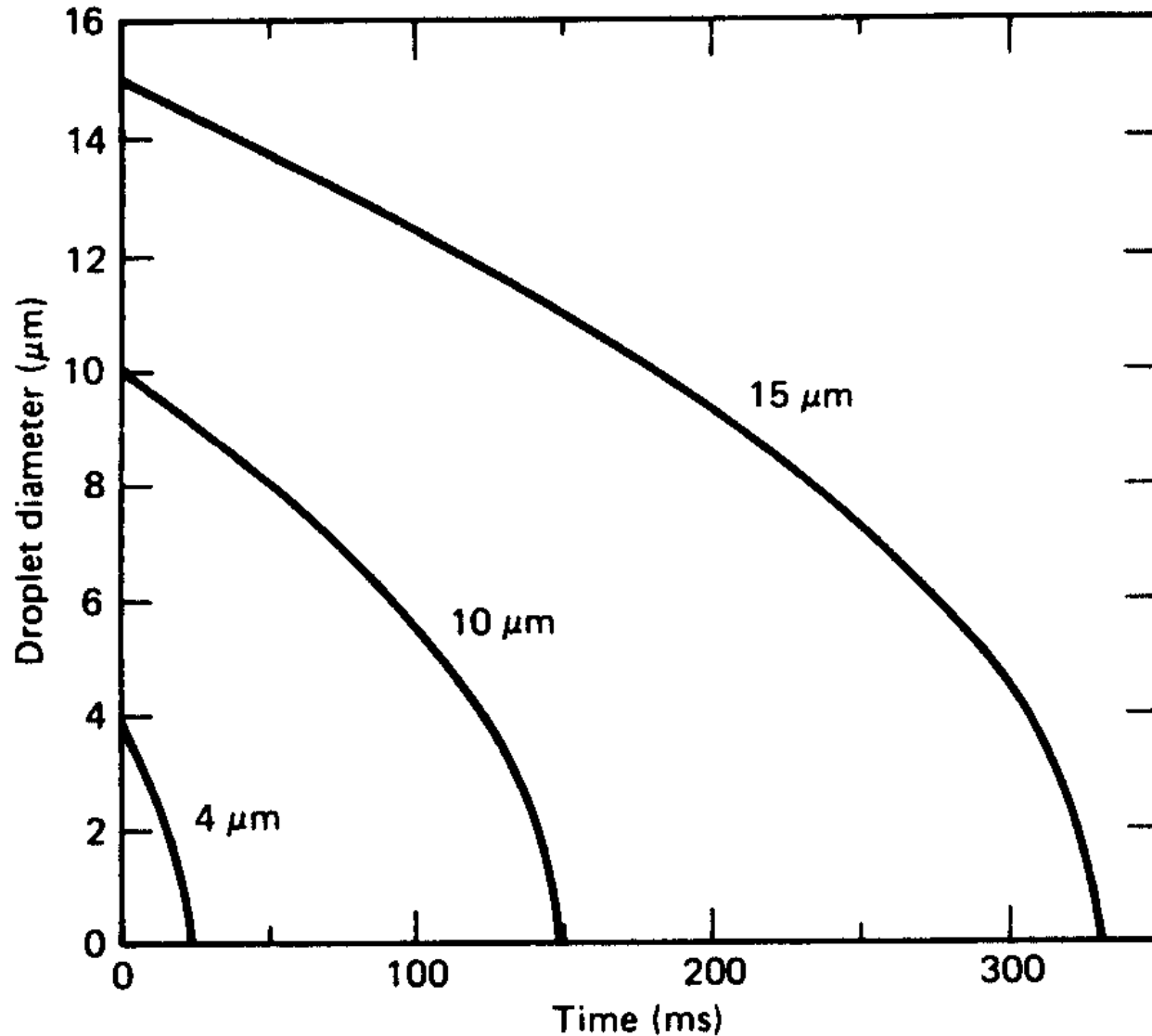
3. Rozdíly: **SARS-CoV-2 vs. spalničky vs. jiné viry**: (1) **virová nálož** v různě velkých kapénkách / aerosolech, (2) **rychlost inaktivace** v kapénkách / aerosolech, (3) lokality a **infekční dávky**

# Konečný rozměr závisí na vlhkosti vzduchu



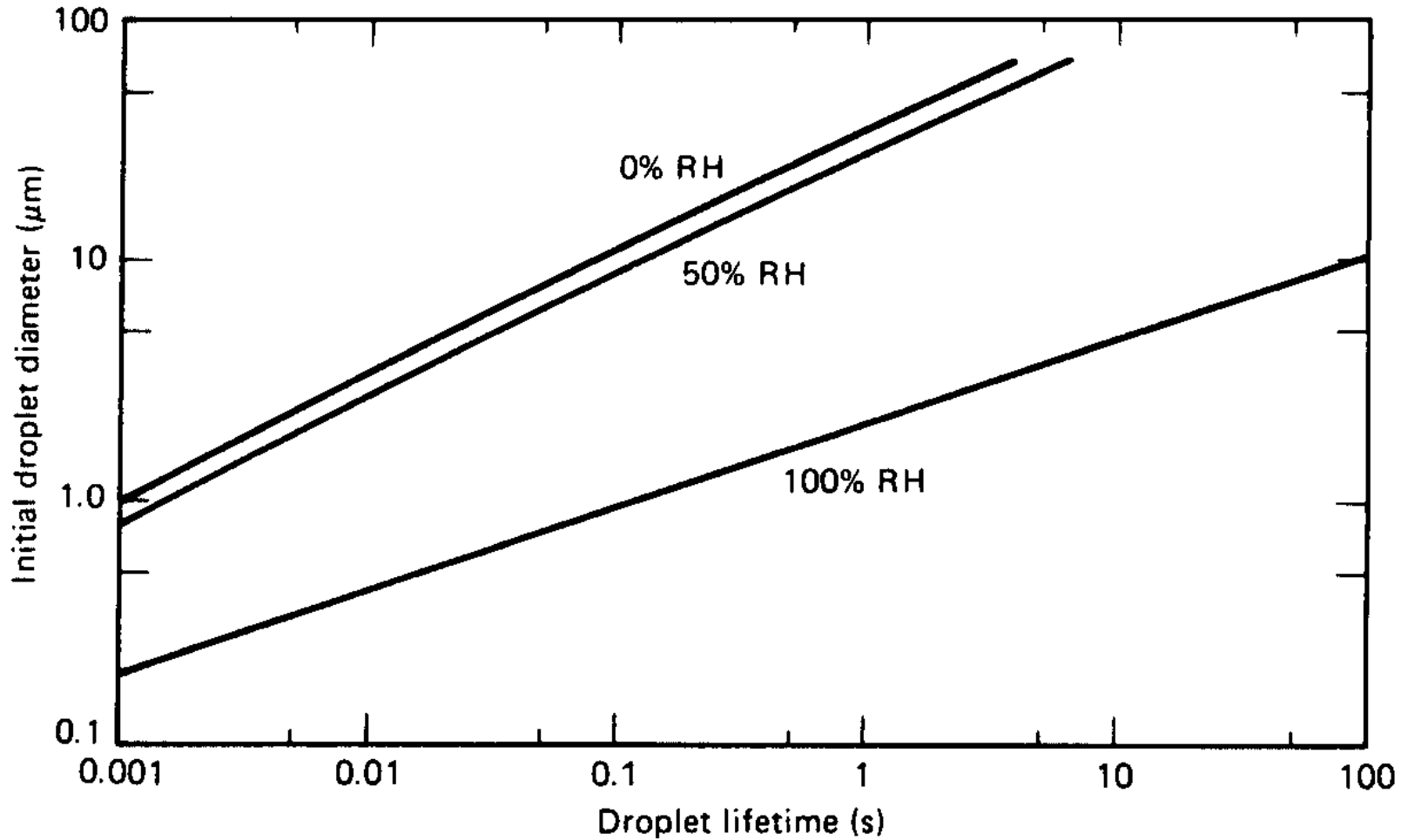
(1) Mikhailov, E., Vlasenko, S., Niessner, R., et al., 2004, Interaction of aerosol particles composed of protein and salts with water vapor: hygroscopic growth and microstructural rearrangement, *Atmos Chem Phys* (2) Marr, L.C., Tang, J.W., Van Mullekom, J., et al., 2019, Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence, *J Roy Soc Interface*

# Rychlost vypařování vodní kapky (20°C, 50% RH)



**Vodní kapka** o počátečním průměru **10 mikrometrů** se úplně vypaří za **150 milisekund!**

# Rychlost vypařování vodní kapky (20°C) v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu

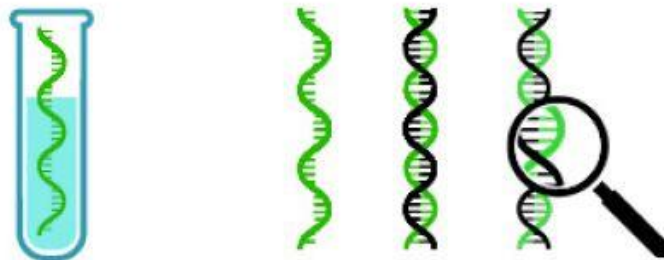
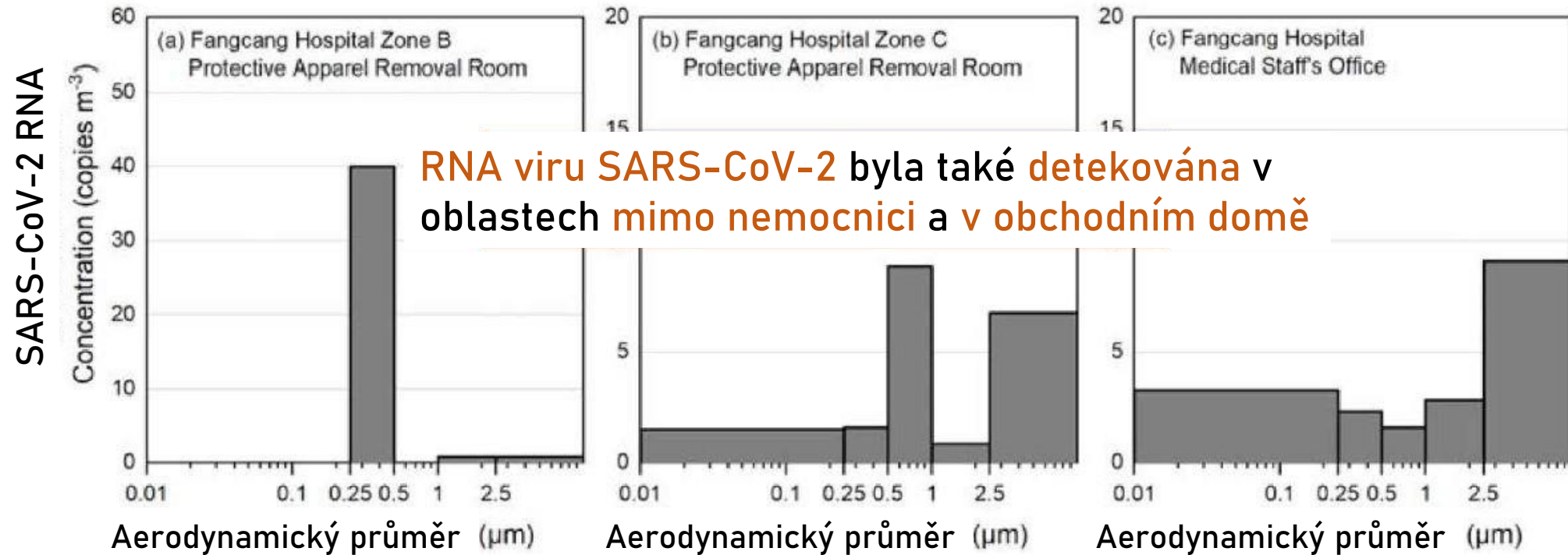


Vypařování vody z kapky do vzduchu **nasyceného** vodní parou **na 100% RH** se zpomalí asi **100 x** **proti** případu s **50% RH** !

Proto **roušky fungují** tak **dobře** pro komunitní ochranu, **voda** z kapének **se nestačí vypařit** !



# Skutečné rozměry částic se SARS-CoV-2



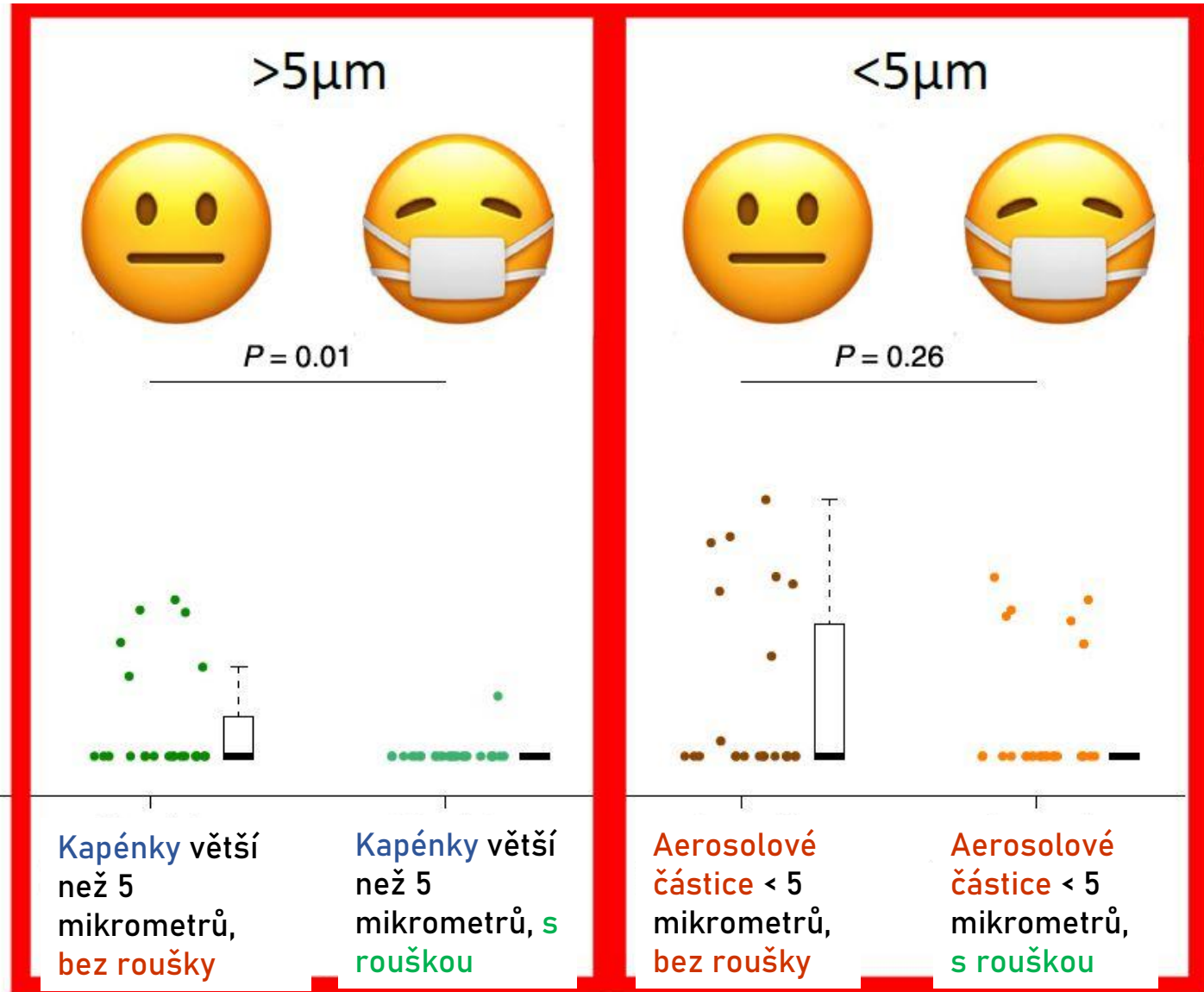
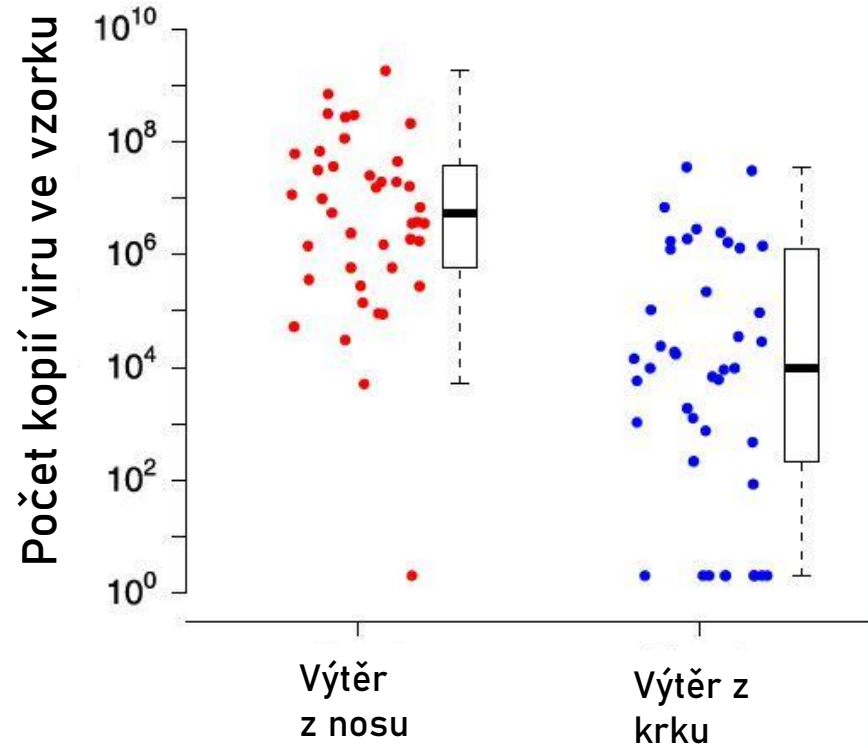
Kopie RNA viru SARS-CoV-2



Kultury s infekčním virem

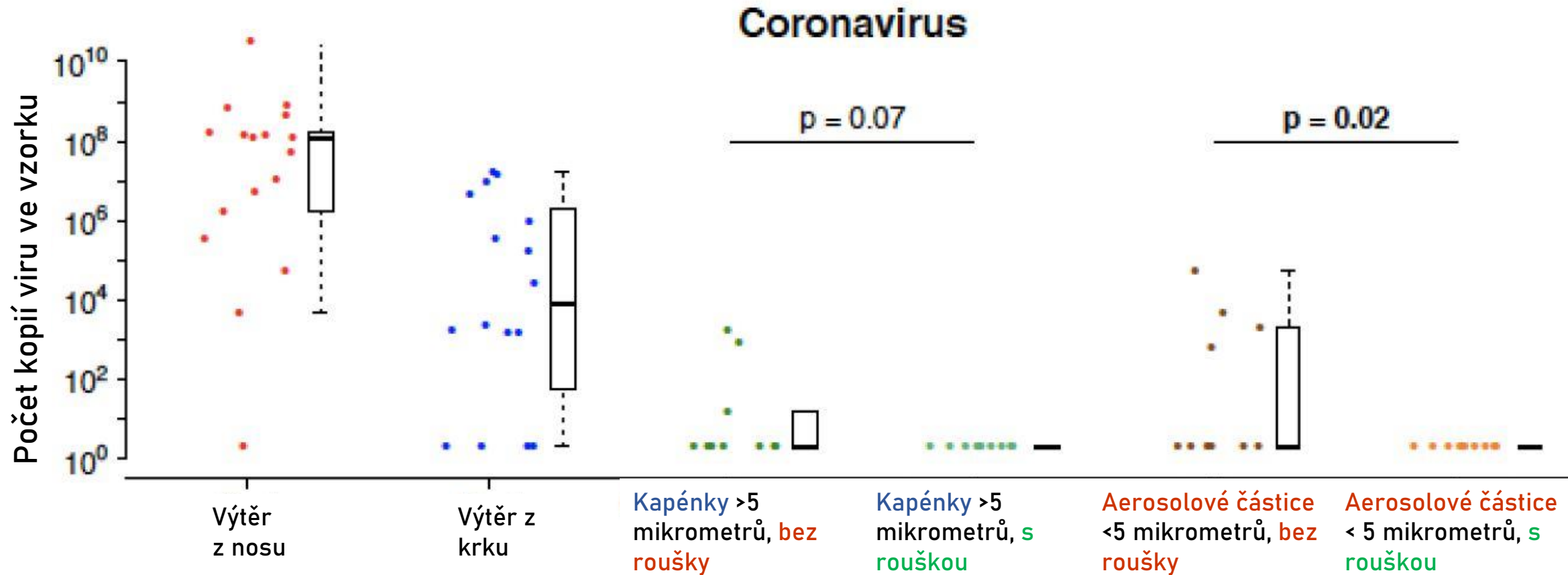
# Případ vosího hnízda

# Pokles virové nálože za rouškou: virus chřipky

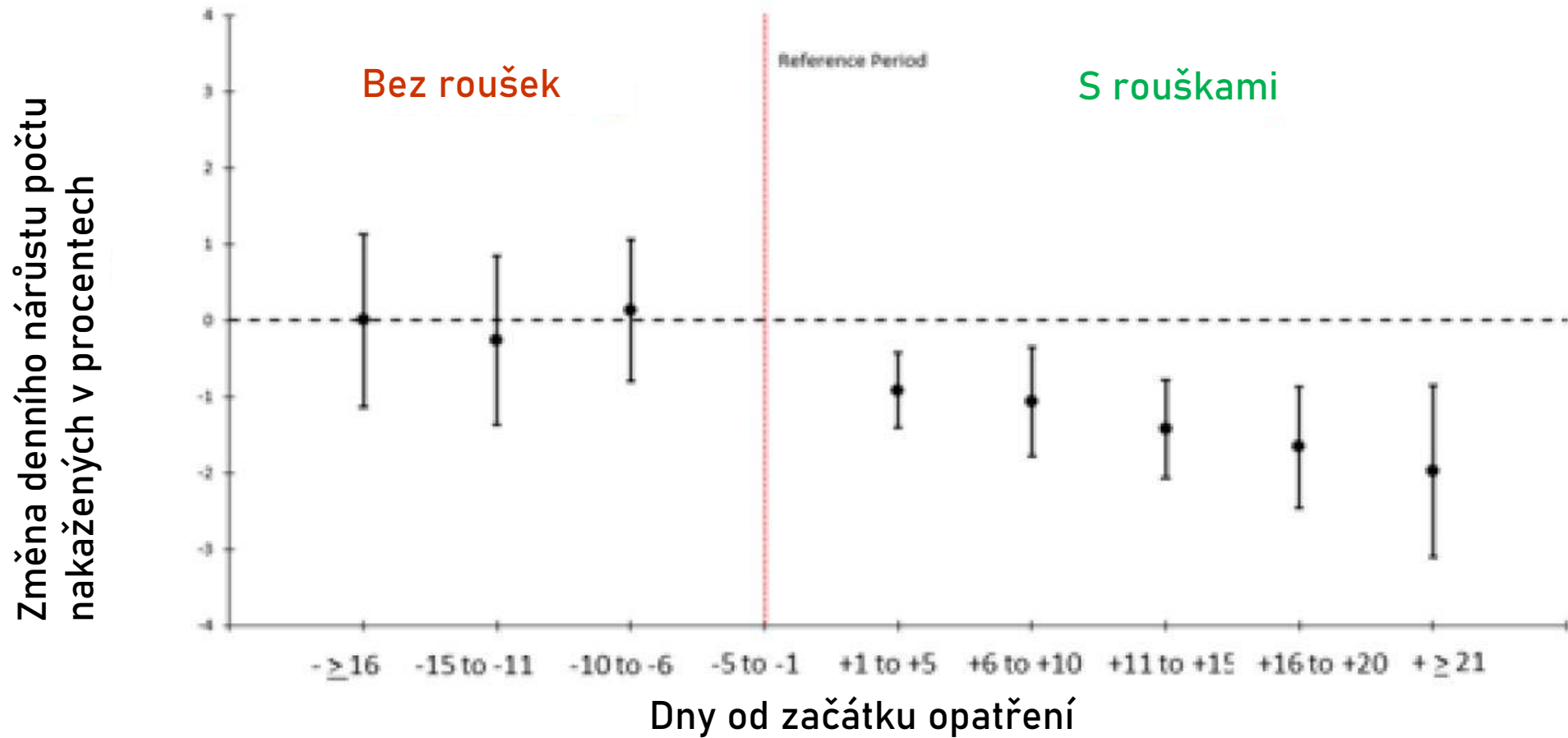


# Pokles virové nálože za rouškou: koronaviry

A



# Vliv komunitního nasazení roušek na zpomalení růstu nákazy COVID-19, duben – květen 2020



Tak stačí ty 2 metry?



# Oblak kapek emitovaných při řeči

<https://www.youtube.com/watch?v=OsBGaWdHHyg>



Částice nejsou emitovány jako jednotlivé kapky ale jsou součástí oblaku se kterým se pohybují



Oblak emitovaných kapek

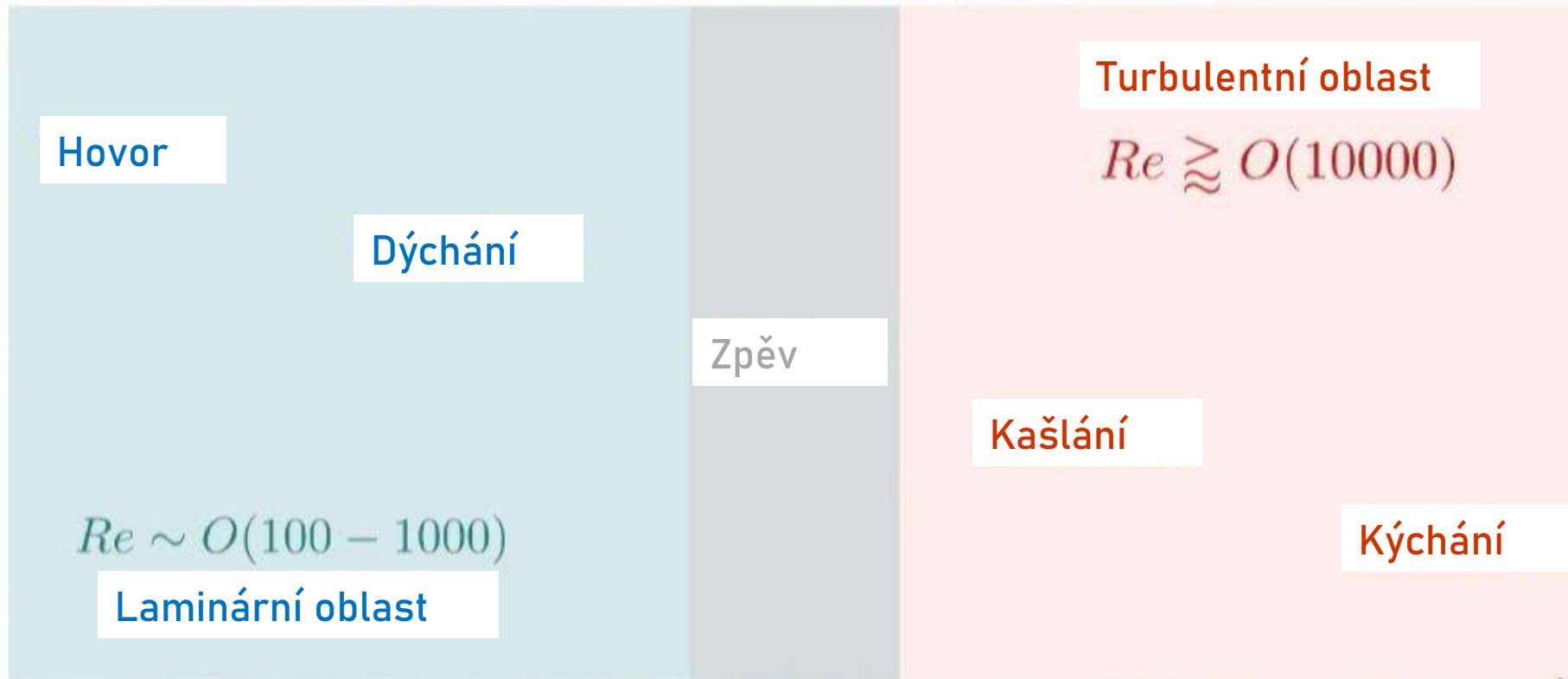


Částice v turbulentním oblaku doletí mnohem dále než kdyby se pohybovaly jako samostatné objekty



# Při různých aktivitách je oblaku udělována různá kinetická energie, ovlivňuje míru turbulence

$Re$  = Reynolds number = inertial/viscous forces



Směrem doprava vzrůstá hybnost udělená turbulentnímu oblaku



# Záchyt částic u zdroje: Hlavní důvod nošení roušky

## Klíč ke komunitní ochraně



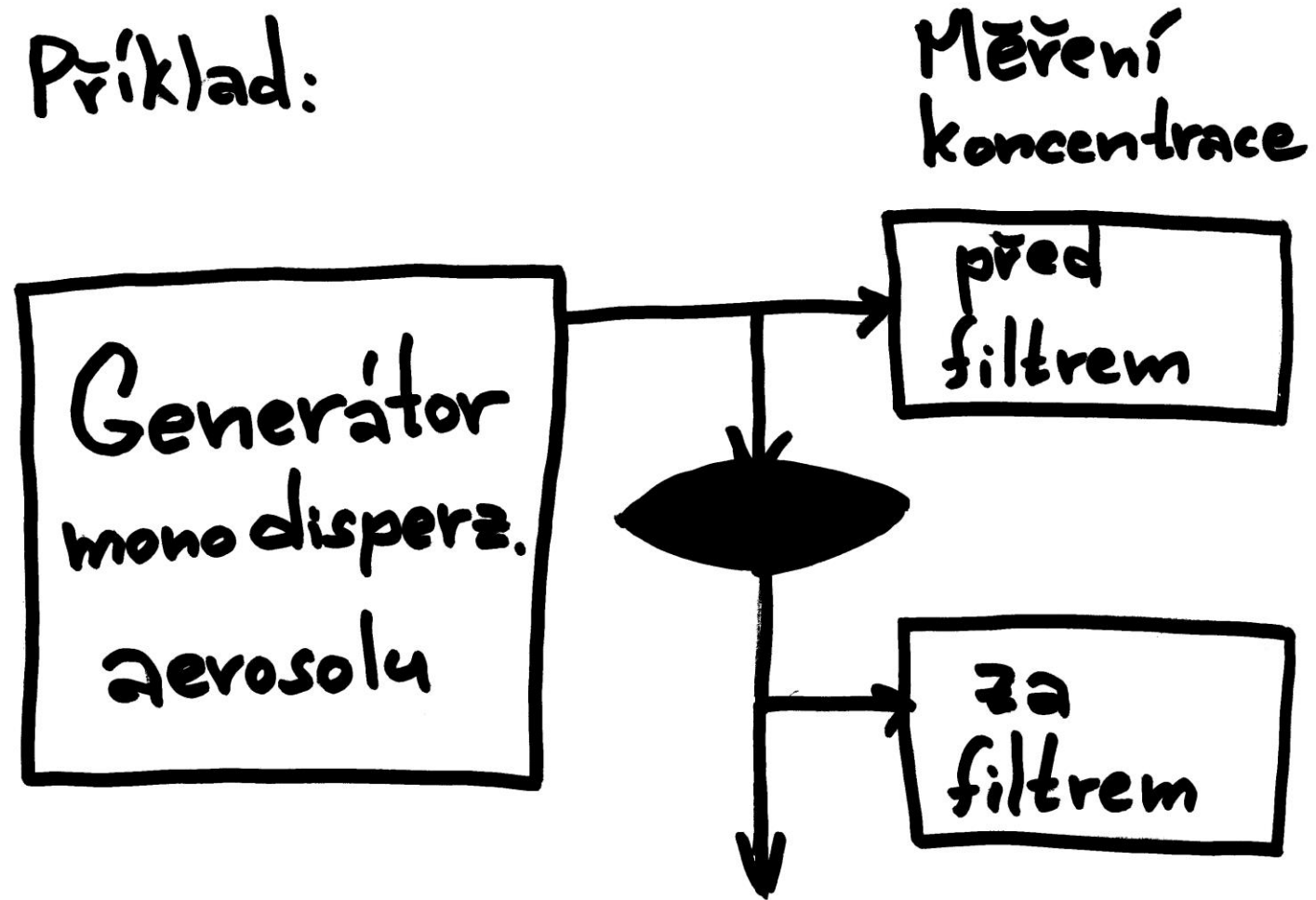
Oblak jemného aerosolu při exhalaci sice unikne kolem roušky, ale výrazně se sníží postup oblaku směrem vpřed, aerosol se naředí, virová nálož zmenší



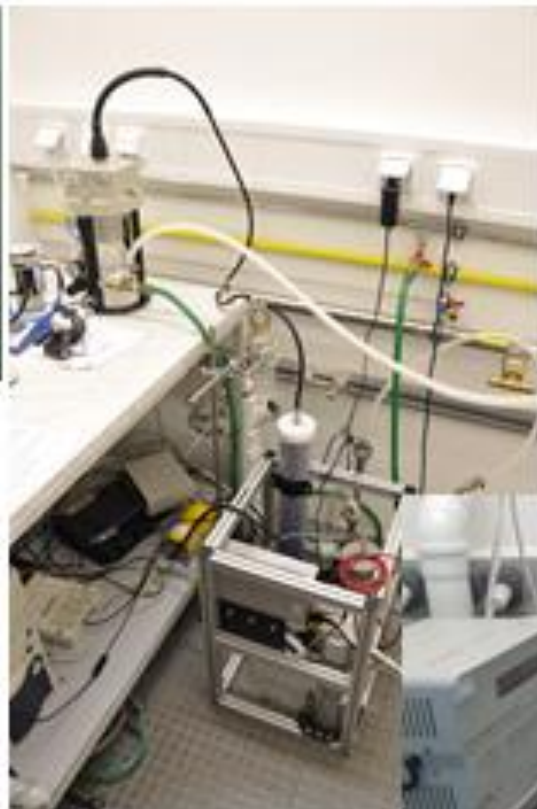
Je libo roušku nebo respirátor?  
Neoholeným vstup zakázán.  
Na tvaru záleží.  
Hladký průjezd šikanou.

# Princip měření filtrační účinnosti OOP

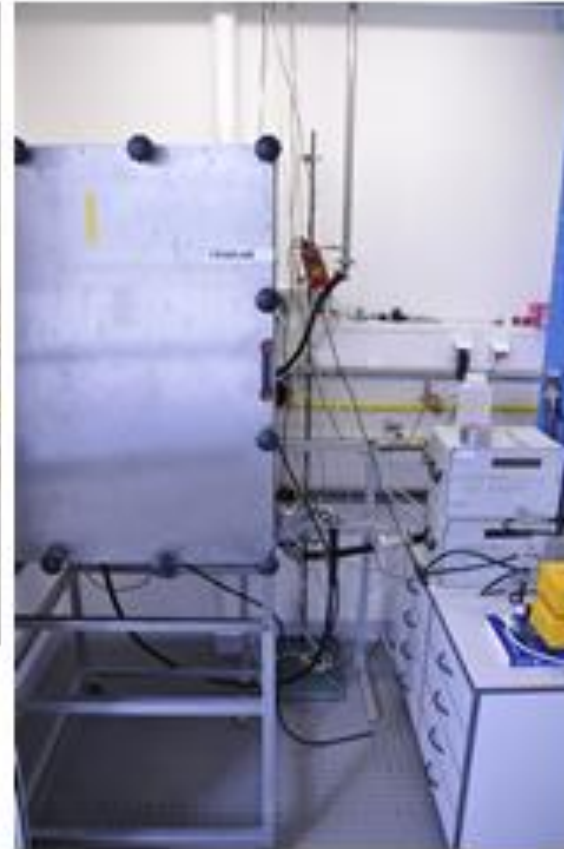
Příklad:



# Měření výřezu filtračního materiálu



# Měření ochranného prostředku na figuríně



# Vyhodnocení výsledků

Příklad:

$$P = \frac{5}{100}$$

Měření  
koncentrace

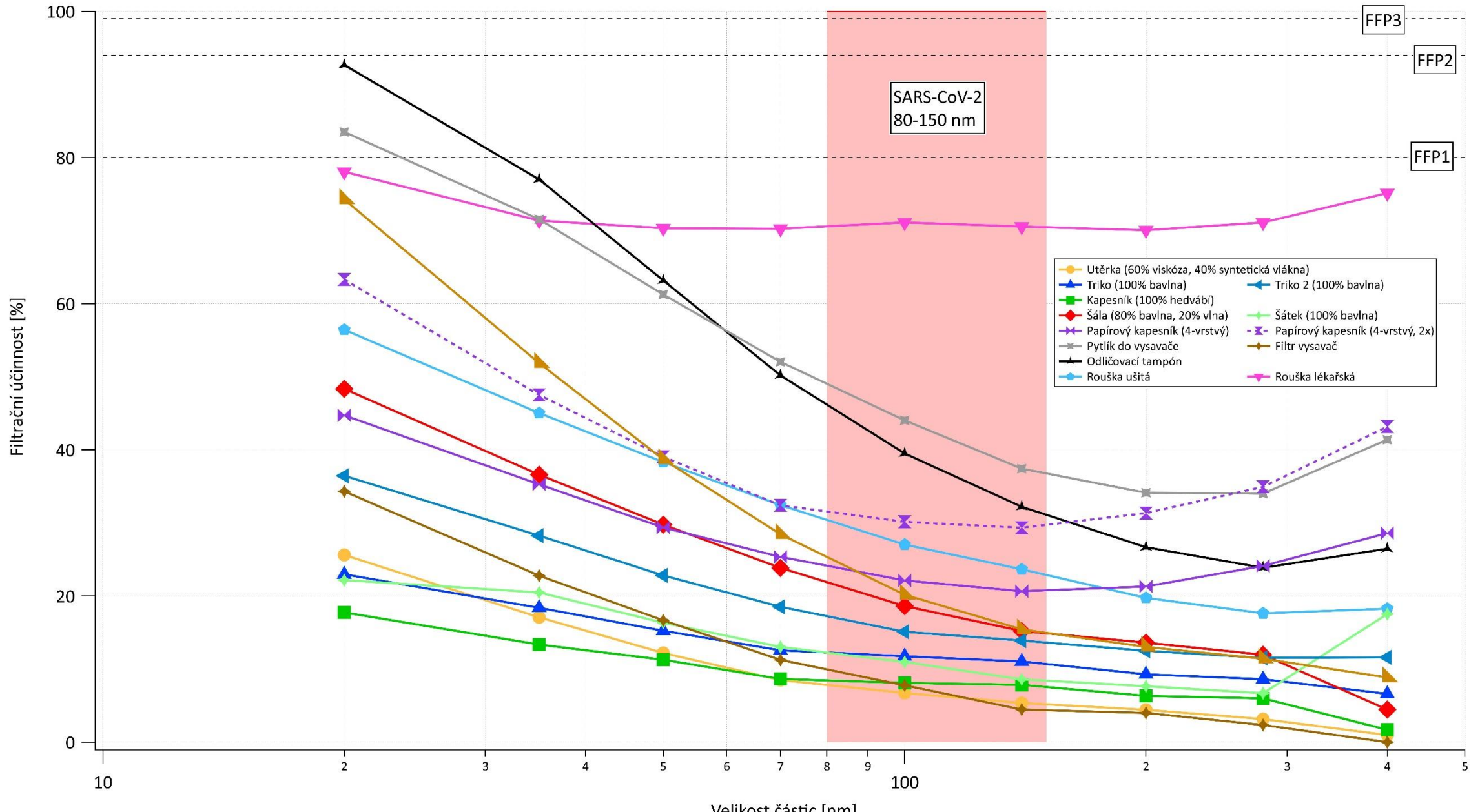


částice  
30nm

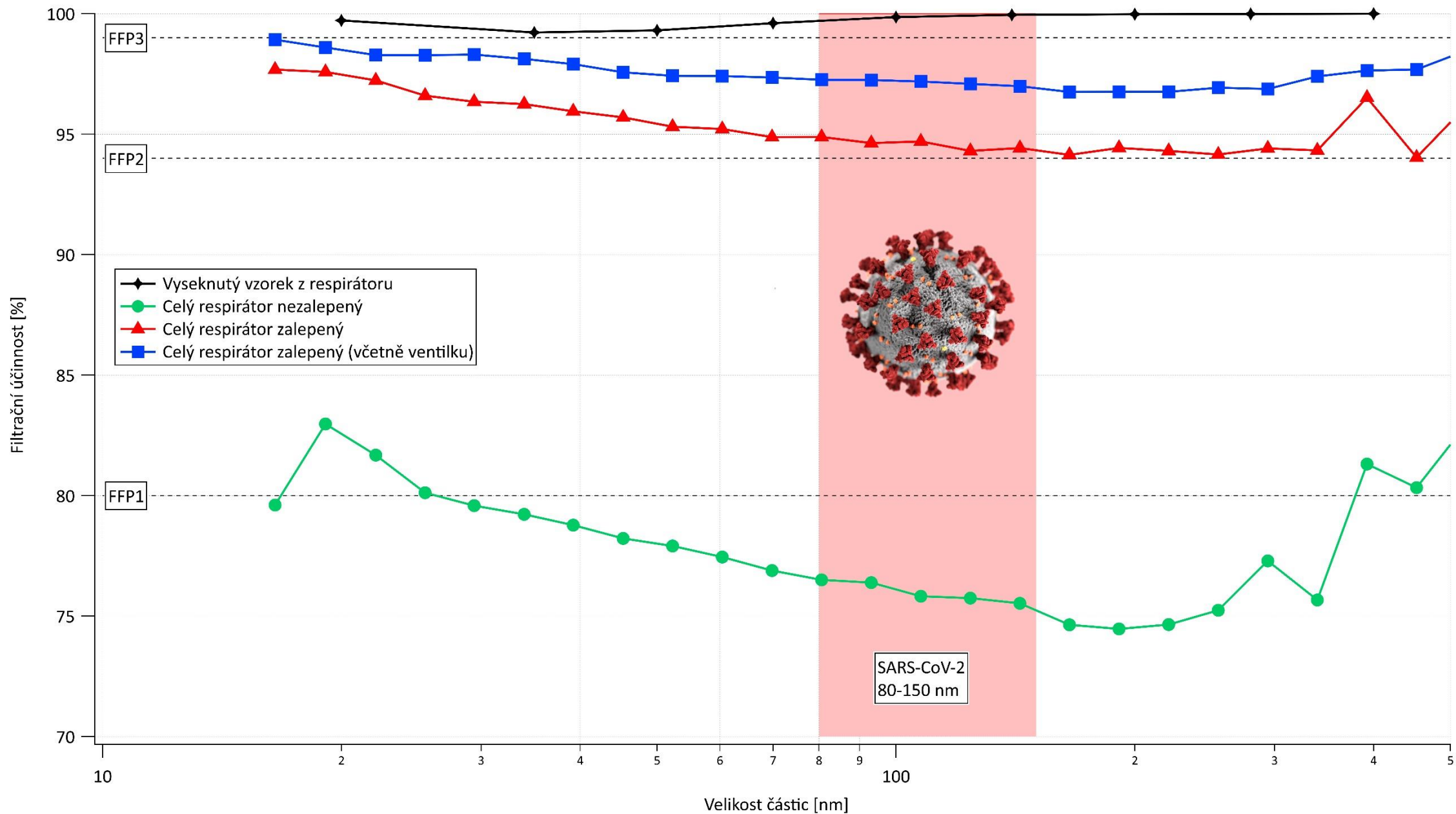




# Výsledky improvizovaných materiálů roušek

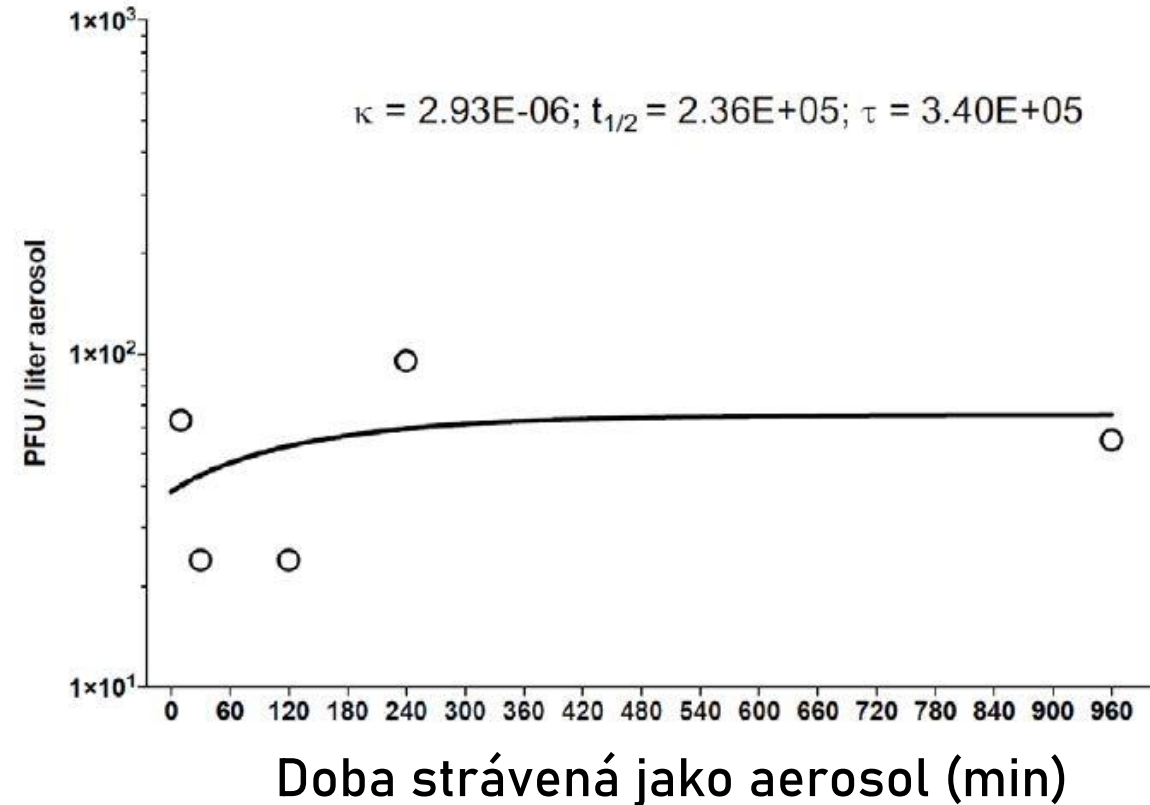
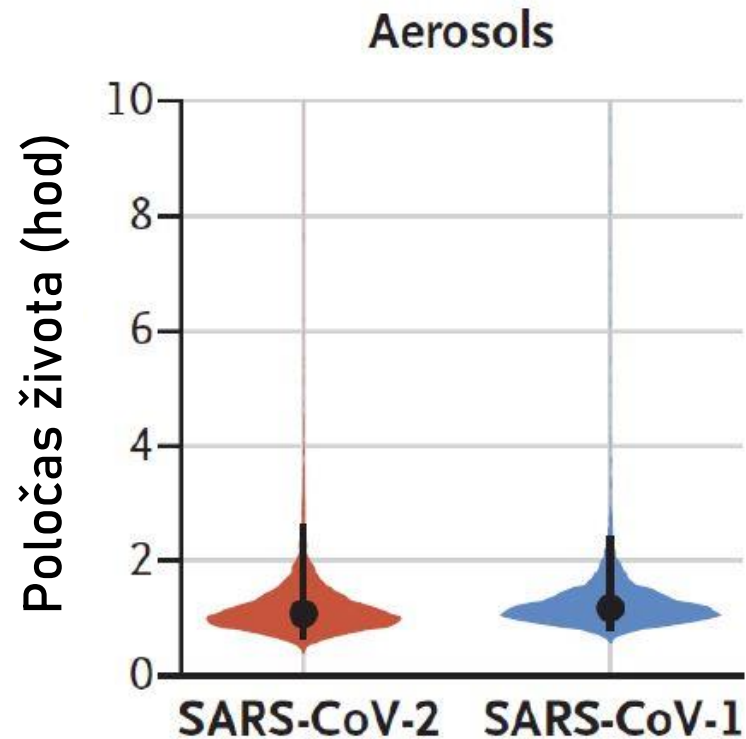


# Proč je důležité, aby respirátor těsnil na obličeji



# Nešlo by ho vrazit do mrazáku?

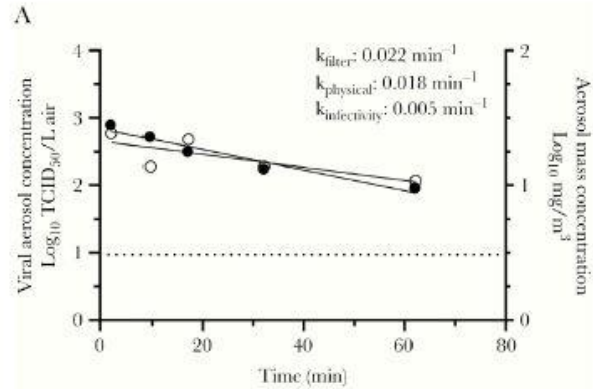
# Jak dlouho přežije virus SARS-CoV-2 v aerosolu?



**Poločas života: 1.1 hodiny** při RH 65%    Virus **přežije až 16 hodin** při RH 53 %

# Stabilita SARS-CoV-2 vliv slunečního svitu

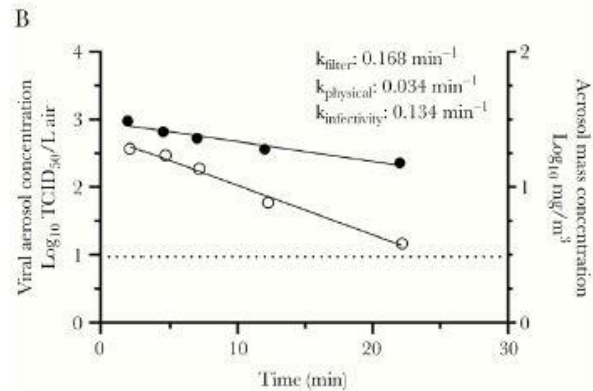
tma



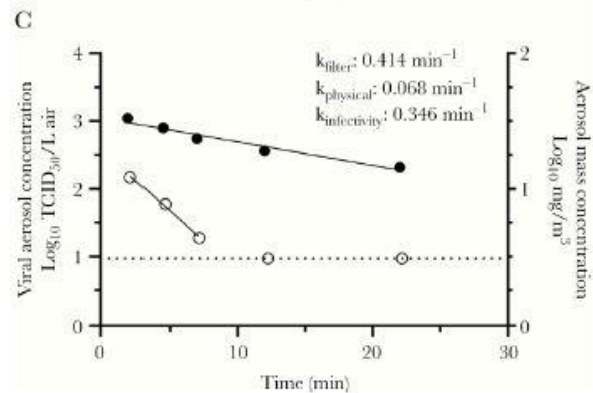
Schuit et al., JID 2020

20°C

7. března  
4. října  
40°N



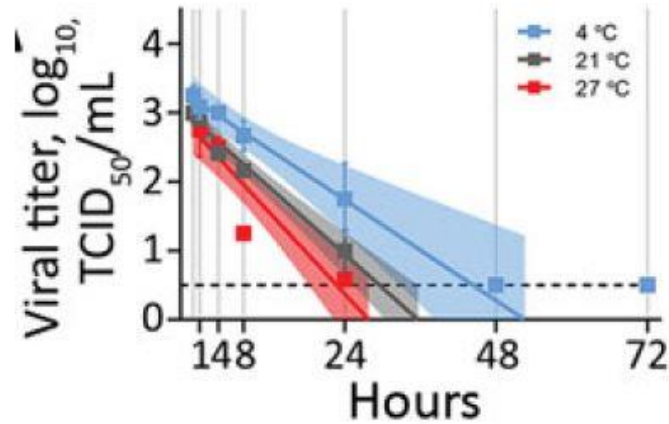
21. června  
40°N



Poločas života viru SARS-CoV-2  
v aerosolu vystaveném letnímu  
slunečnímu svitu: < 6 minut

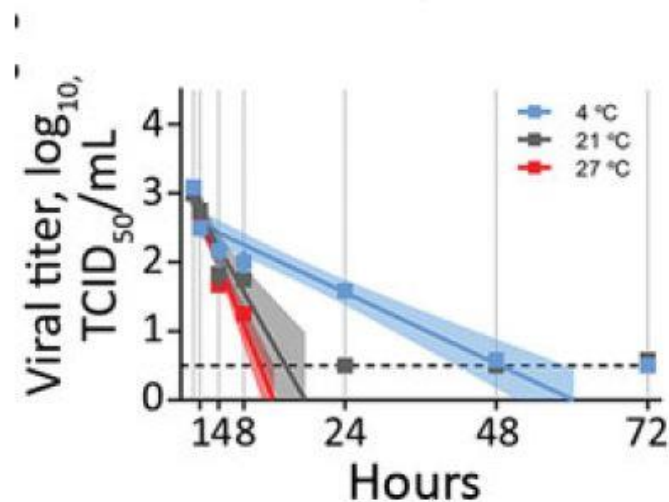
# Stabilita SARS-CoV-2 v dýchacím sekretu: Poločas života v nosním hlenu a slinách

Kapalina  
nosního hlenu



Matson et al, EID 2018

Kapalina  
slin



Doba života SARS-CoV-2 v hlenu  
a slinách na površích je asi  
poloviční proti živné půdě buněk

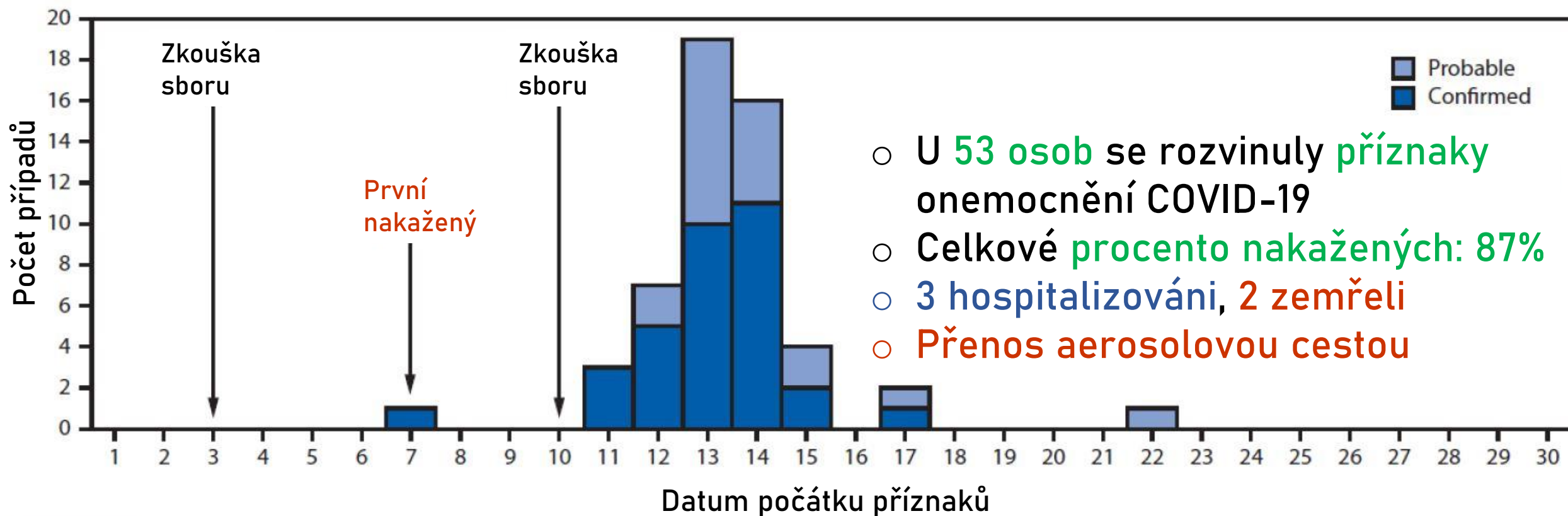
\*pooled human nasal mucus/sputum



# Příklady přenosu aerosolem

# Sborový zpěv, Skagit County, WA, březen 2020

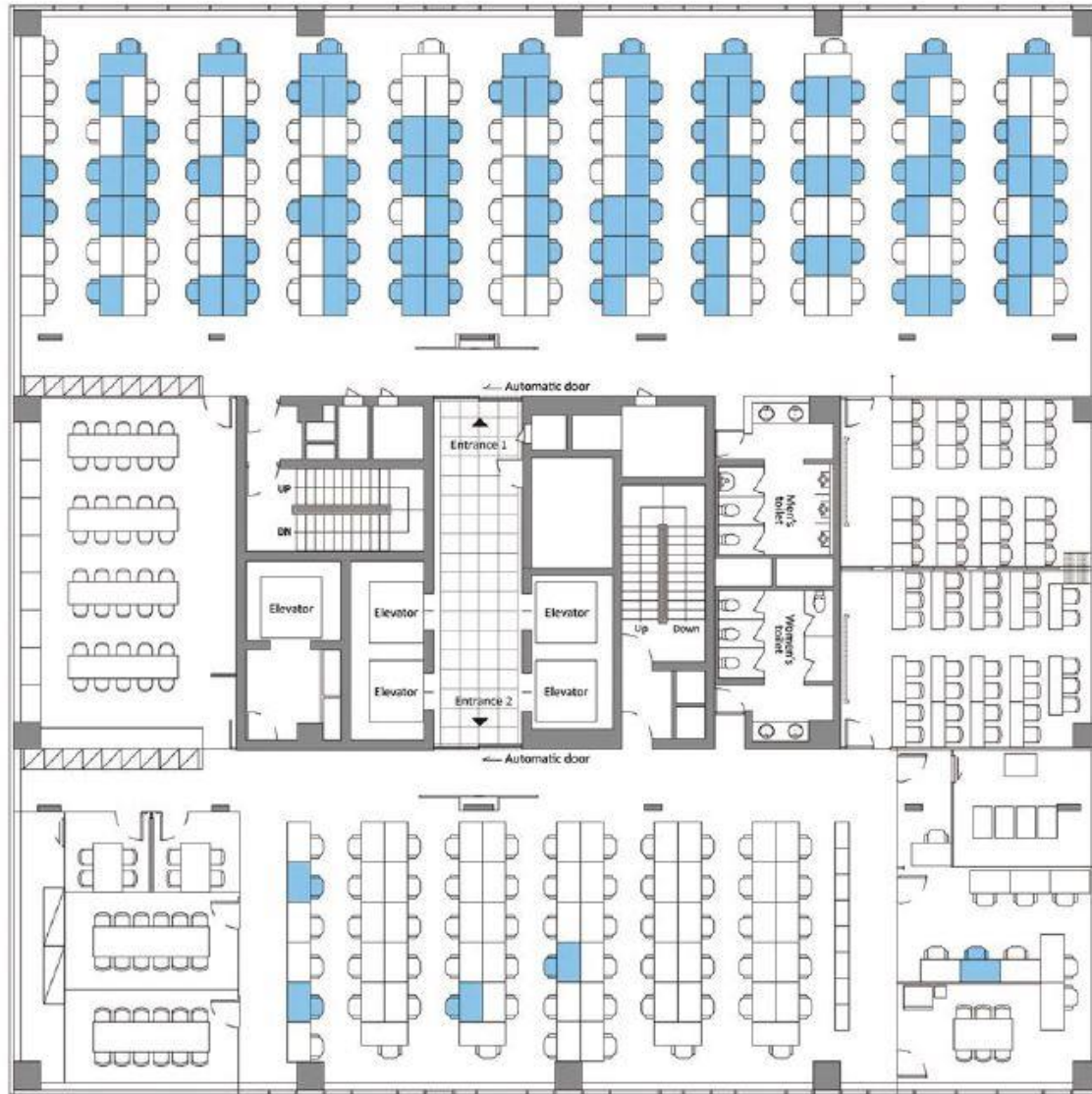
- **61 osob**, zkouška sborového zpěvu dne 10. března trvala 2.5 hodiny



- U **53 osob** se rozvinuly **příznaky** onemocnění COVID-19
- Celkové **procento nakažených: 87%**
- **3 hospitalizováni, 2 zemřeli**
- **Přenos aerosolovou cestou**



# Call centrum, Soul, Jižní Korea, 11.patro budovy



- 1 nakažená osoba, ze 137 zaměstnanců onemocnělo 79 (58%)
- Na zbytku patra jen 5
- Ve zbytku budovy 3/927
- Přenos lze těžko vysvětlit jinak než aerosolovou cestou
- Typický rys události s mnoha nakaženými:
  - hodně lidí
  - intenzivní hovor
  - nedostatečná ventilace
  - žádné OOP
  - dlouhá doba kontaktu



# Restaurace v Guangzhou, Čína

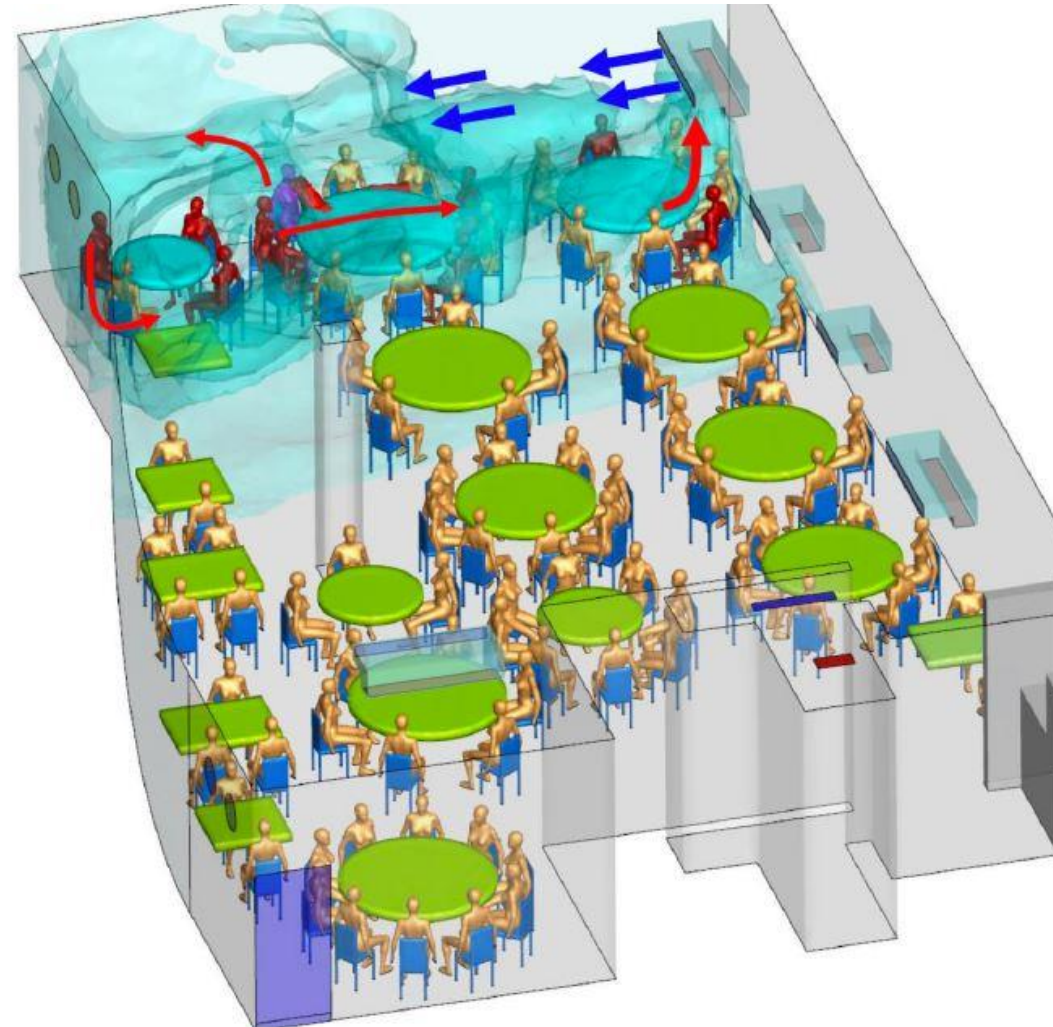
Žádná výměna  
vzduchu s  
venkem

Silné vzdušné  
proudy z  
klimatizace

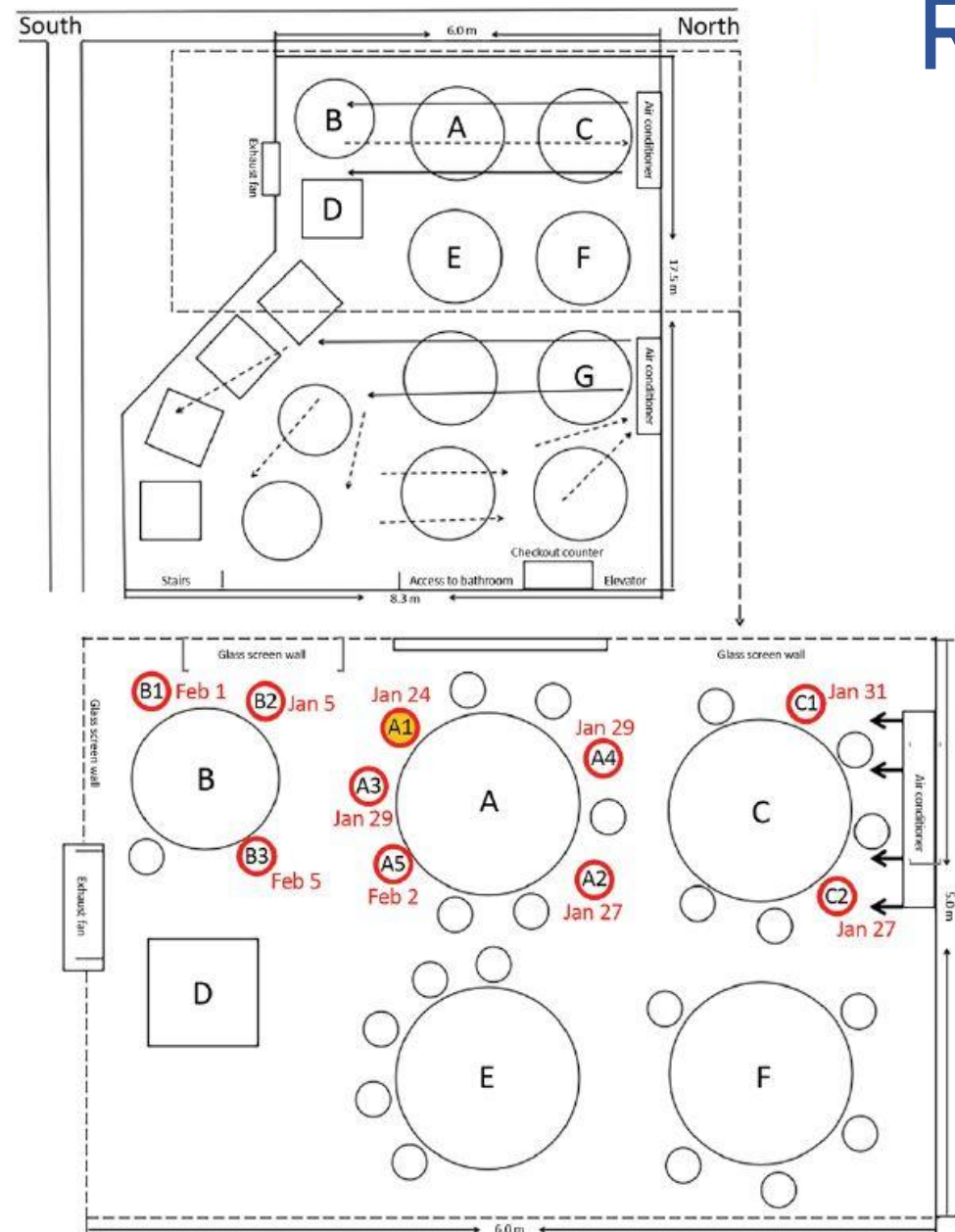
10 lidí  
onemocnělo, jen  
v prostoru jedné  
klimatizace

Nikdo jiný z  
hostů ani  
personálu ne

Přenos  
aerosolovou  
cestou



Early Release - COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant  
Volume 26, Number 7—July 2020 - Emerging Infectious Diseases journal - CDC.  
Li et al. - 2020 - Evidence for probable aerosol transmission of SARS.pdf, n.d.  
Li, Y., Qian, H., Hang, J., Chen, X., Hong, L., Liang, P., Li, J., Xiao, S., Wei, J., Li  
probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant (p  
(except HIV/AIDS).





# Poděkování

Děkuji za podporu a motivaci při přípravě prezentace *kolegům z aerosolové laboratoře*, zejména Jirkovi Smolíkovi.

Děkuji *Billu Hindsovi* za skvělou učebnici Aerosol Technology a *Philovi Hopke* za možnost chodit na jeho přednášky na stejné téma.

Děkuji také *studentům* kurzu Aerosolové inženýrství za četné dotazy a zpětnou vazbu, kterou mi při přednáškách poskytují.

Děkuji českým i zahraničním *grantovým agenturám* za možnost podílet se na výzkumu ve fascinujícím oboru aerosolů.

Konkrétní finanční podpora – *GA ČR*, projekty *18-02079S* a *22-08358S*.

Děkuji také *účastníkům* skvělého *workshopu o přenosu onemocnění COVID-19*, konaného dne 26. srpna 2020 na NIH.

*Jurovi Kostykov* za pomoc s grafikou této prezentace.