

Drošās telpas sistēma Covid-19 inficēšanās risku samazināšanai

*Jaunās tehnoloģijas
Covid - 19 pacientu
tēmētai
monitorēšanai,
testēšanai un
terapijai
(3 - T Project)*

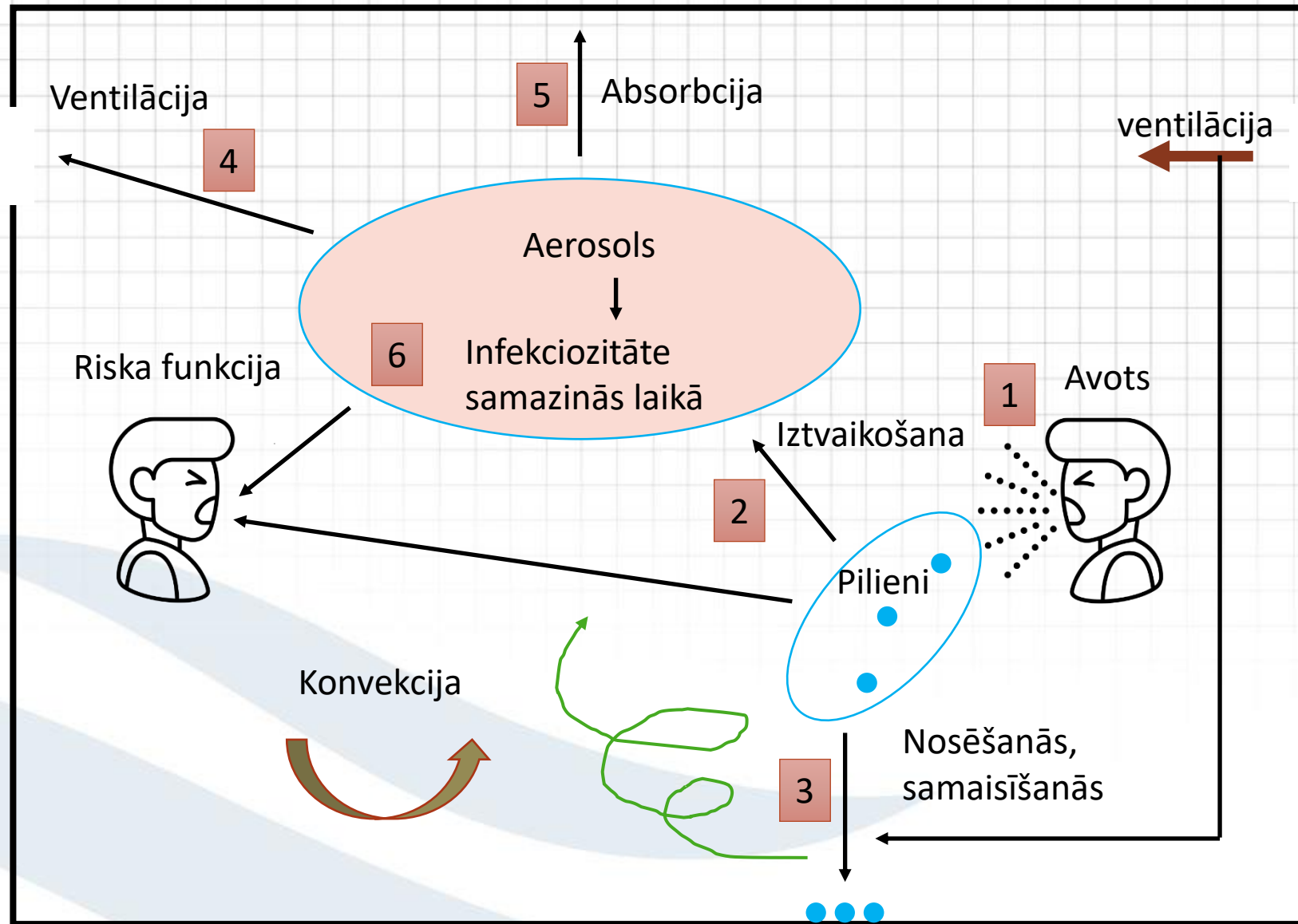
VPP projekta vadītājs: prof. V. Pīrāgs

Inficēšanās risku kontrole (*drošās telpas*)



- Būtiski lielāki riski iekštelpās, kur ilgstoši uzturas vairāki cilvēki
 - Auditorijas, laboratorijas, klases
 - Sociālās aprūpes centri
 - Lielie biroji, citas darba telpas
 - Klientu/apmeklētāju pieņemšanas telpas
 - Cehi, ražošanas telpas
 - Bāri, restorāni,...
- Automātiska risku identifikācija uz fizikālu mērījumu ar mikrosensoriem bāzes
- Informēšana par inficēšanās risku līmeni – riska funkcija:
 - Tablo telpā (no zaļa līdz sarkanam ar iespējamu skaņas brīdinājumu ekstremālās situācijās)
 - Mobilā aplikācija (ar papildus informācijas iespējām telpā esošajiem)
- Iespējamās preventīvas un/vai operatīvas darbības risku samazināšanai

Vīrusu pārnese shēma



Pārnese procesu ietekmējošo faktoru loma tiek precizēta izmantojot 3D matemātiskos modeļus, kas apraksta to mijiedarbību dažādos tipisko apstākļos telpās.

Procesi

1. Pilienu izdalīšanās

- Veidi

- elpošana
- runāšana
- klepošana
- šķaudīšana
- dziedāšana

- Parametri

- izmēru sadalījums
- ātrums
- koncentrācija elpceļu šķidrumā

- Rezultāts

- Ieejas dati iztvaikošanas modelim

2. + 3. Pilienu iztvaikošana un sedimentācija

- Parametri

- temperatūra
- mitrums
- mākoņa blīvums

- Efekti

- izmēru sadalījums
- sadalījums telpā

- Rezultāts

- Koncentrācija aerosolā
- Pilienu nonākšana mērķī
- Pilienu sedimentācija

4. Ventilācija

- Veidi

- lamināra
- ar filtru
- āra gaiss

- Parametri

- gaisa apmaiņa 1/h

- Rezultāts

- aerosola iznešana
- aerosola sajaukšana
- pilienu sajaukšana

- modelī pašreiz iekļautie procesi

Procesi

5. Aerosola absorbcija

- Parametri
 - Virsmas laukums makro
 - Virsmas laukums mikro
- Rezultāts
 - Koncentrācijas samazināšanās



6. Infekciozitātes samazināšanās

- Parametri
 - temperatūra
 - mitrums
 - laiks
- Rezultāts
 - Koncentrācijas samazināšanās

7. Riska funkcija

risk of infection R is⁽⁴⁾ Haas 1999

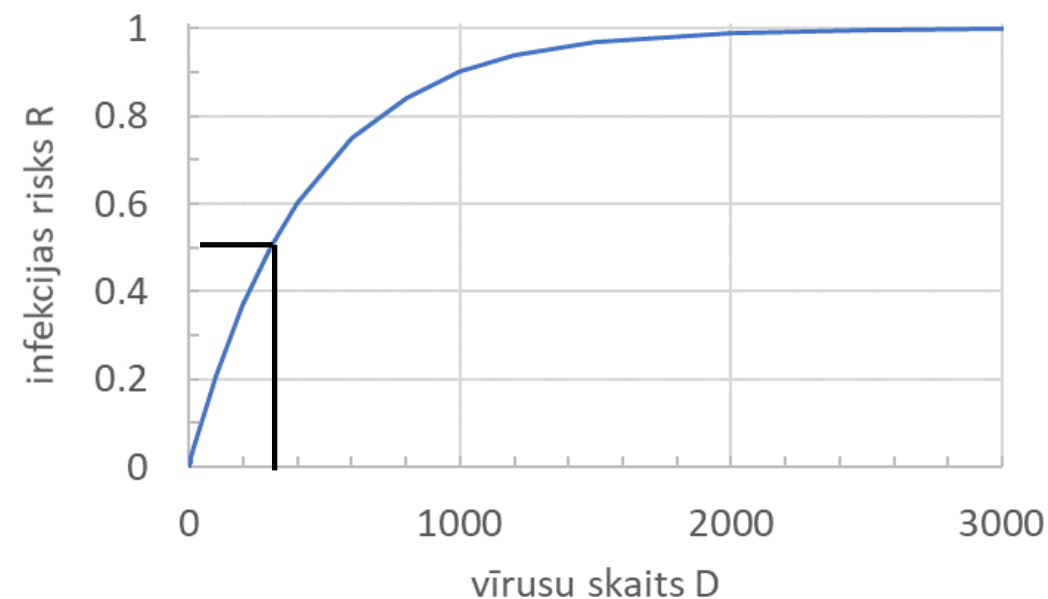
$$R = 1 - (1 - \alpha)^D.$$

COVID-19 R 0,5 ~300 vīrusi



$$\alpha = 0.0023$$

Basu 2020



Modelis

Objekti

- Telpa

- Tilpums, laukums, ventilācija, T , RH
- Vīrusi uz virsmām, vīrusi aerosolā, vīrusi pilienos, CO_2

- Personas

- Infekcioza
- leelpoti vīrusi
- Inficēšanās risks



Procesi

- Iztvaikošana (T , RH , D)

Chaudhuri 2020

- Diametra un Temperatūras izmaiņa katrai pilienu grupai

- Vertikāla sedimentācija (D)

Holterman 2003

- Pilienu grupas vertikālās koordinātes samazināšanās – Stoksa plūsma ar turbulences korekciju
- Difūzijas-konvekcijas vienādojuma atrisinājuma parametrizācija

- Sedimentācija uz sienām (D , v)

- Laminārais robežslānis, Brauna kustība, ... [Park 2001]

- Ventilācija (m^3/h)

- Vīrusu aerosola un CO_2 samazināšanās

- Infekciozitātes samazināšanās (T , RH)

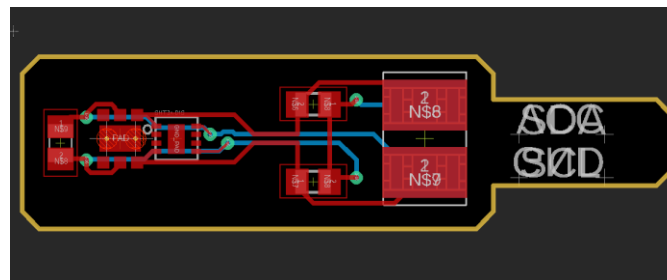
- $\exp(-1.64e-4 dt)$

- Ieelpošana

- Uzņem 50 – 100% atkarībā no pilienu diametra

Pamatmērījumi

- CO₂ koncentrācija
- Videokamera – cilvēku skaitīšanai
- Mikrofons -specifisku trokšņu identifikācijai
- Aerosola pilītes (2 diapazoni)
- Putekļi
- Temperatūra
- Mitrums



Piesaiste sensoriem

Modeļa parametri

- Temperatūra

- **Mitrums**

- Cilvēku skaits

- **Avoti (intensitāte)**

- Runāšanas intensitāte
 - Klepus
 - Šķaudīšana

- **Ventilācija**

- **Telpas izmēri**

- **Aerosola koncentrācija**

Tas ir rezultāts...

Sensori

- Temperatūra

- Mitrums

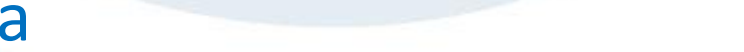
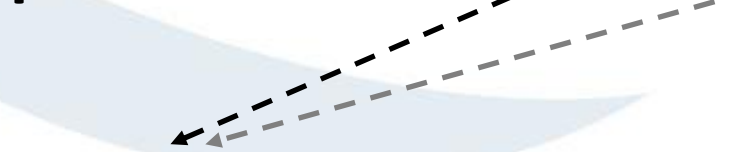
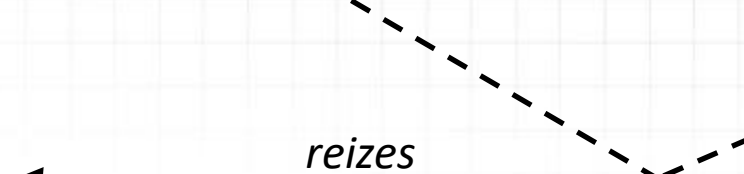
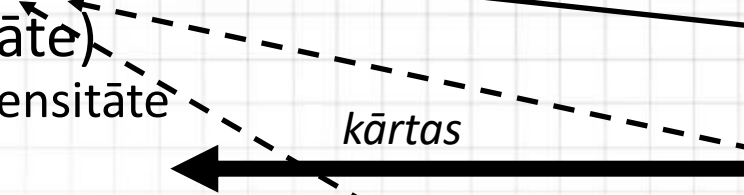
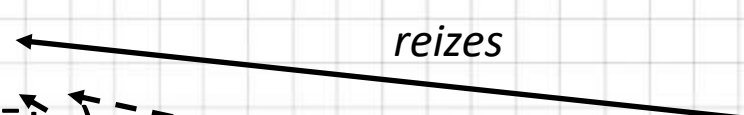
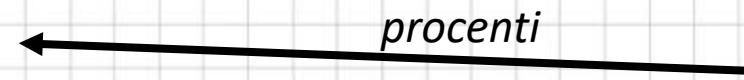
- AI ← Attēla sensors

- AI ← Skaņas sensors

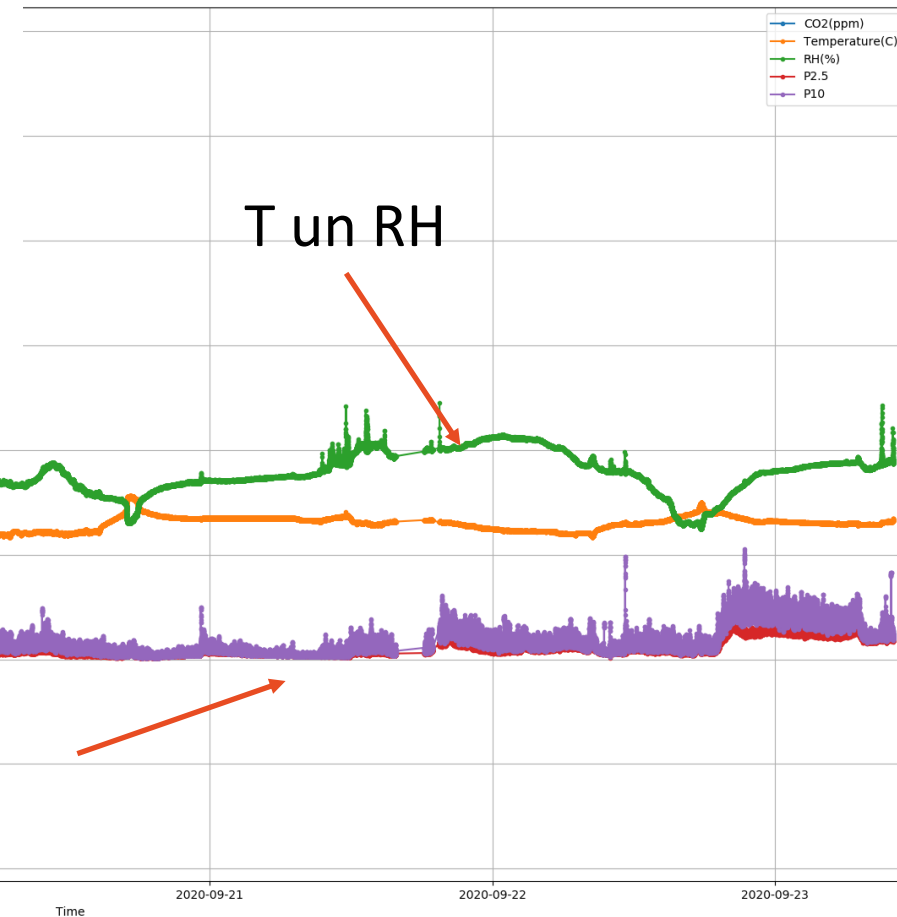
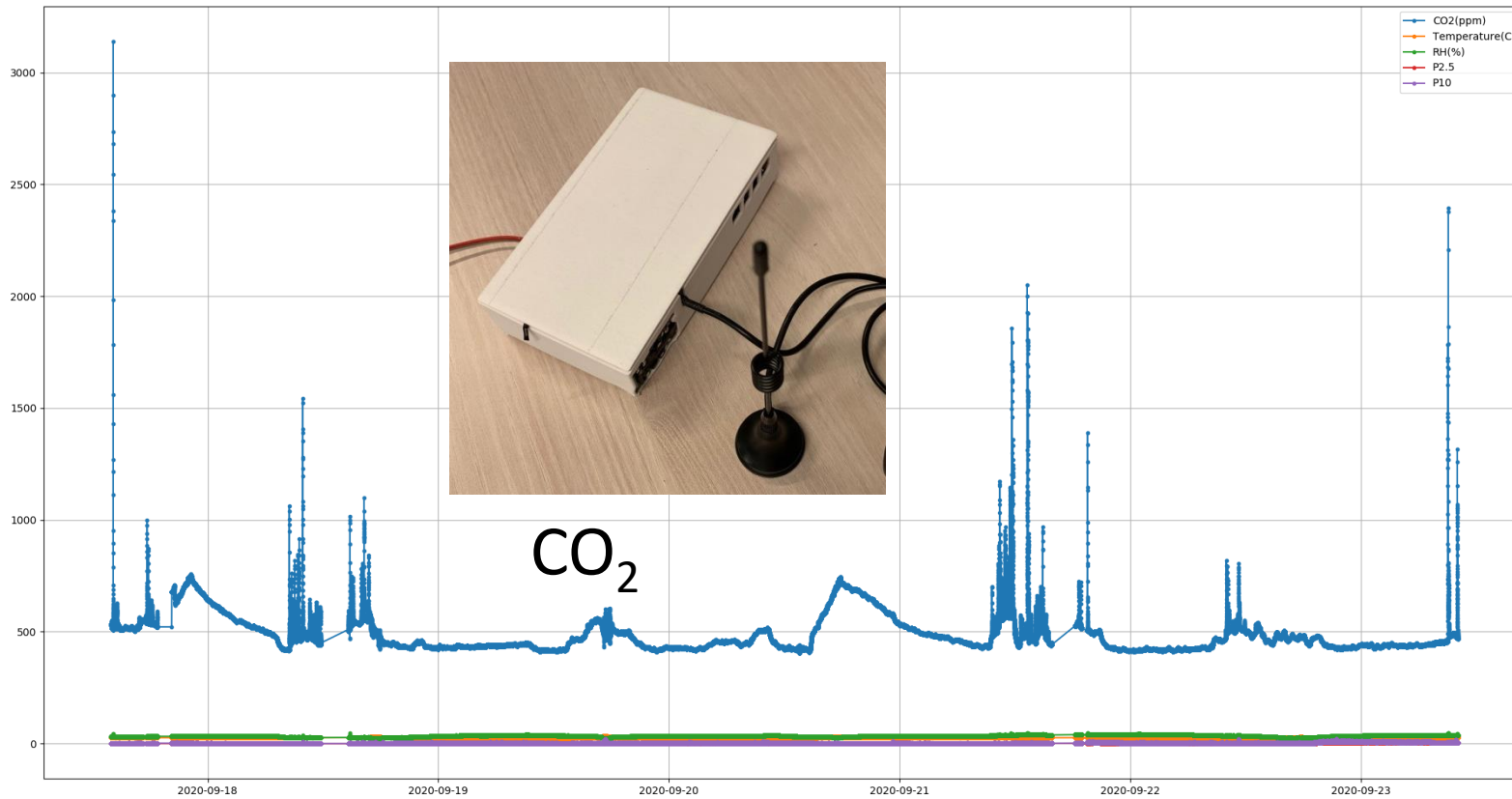
- Daļiņu sensors PM2.5, PM1

- CO2 sensors

- Skaitīšanas sensors

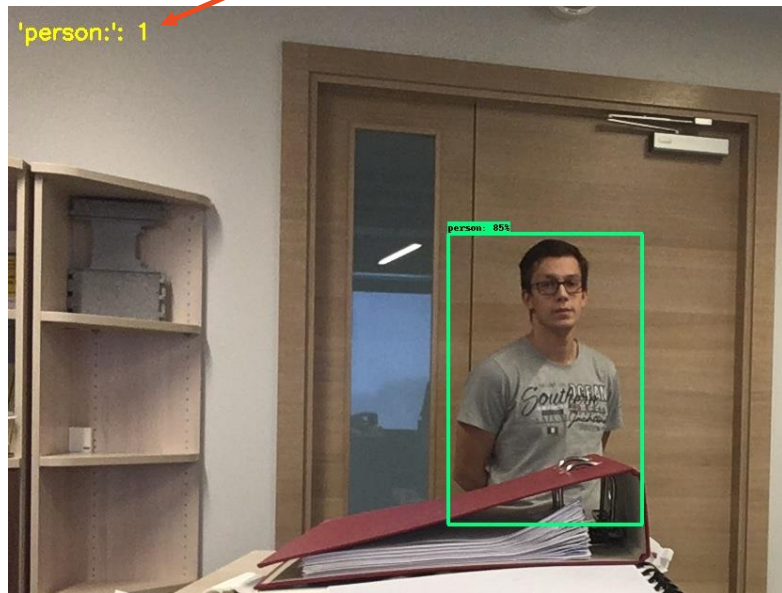


Mērījumu piemēri

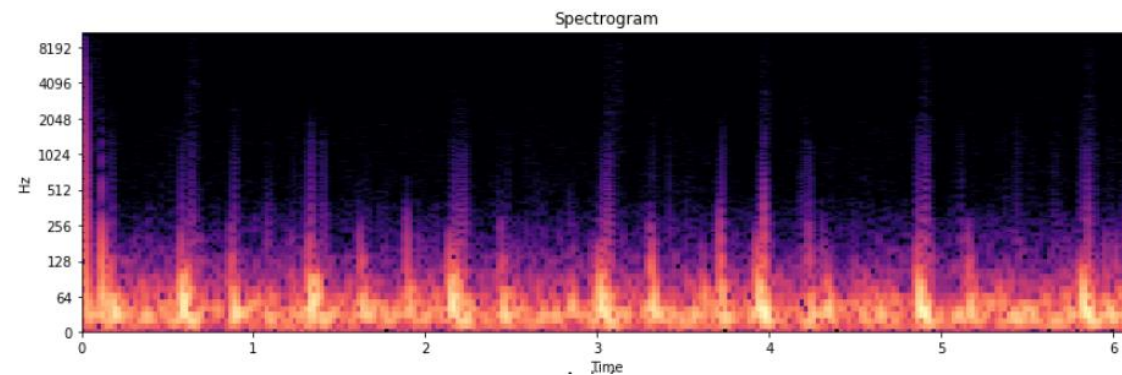
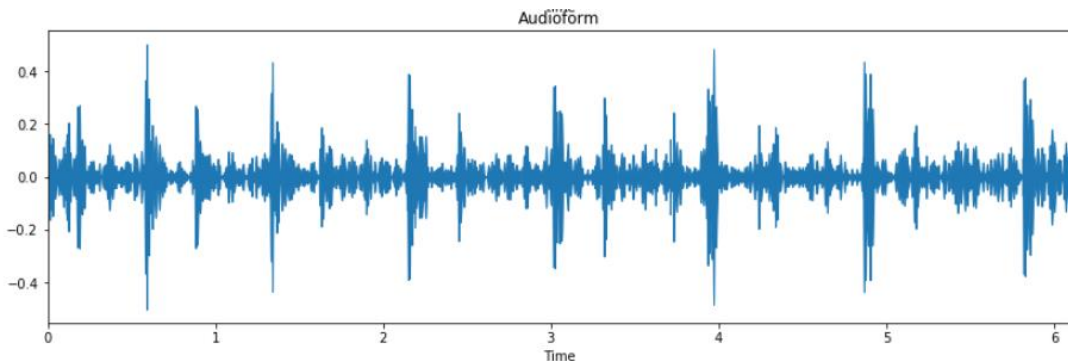


Attēli un skaņa: personas datu aizsardzība

Cilvēku skaits



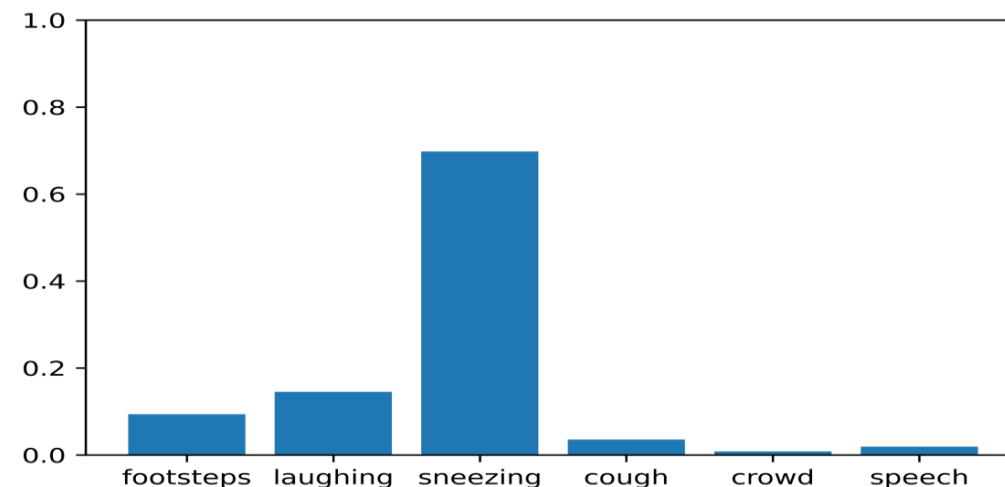
- Attēlu dati netiek uzkrāti un personificēti
- Izmantojot neironu tīklu algoritmus tiek fiksētas tikai cilvēku skaita izmaiņas laikā
- Skaņu signāli tiek pārvērsti spektrogrammās
- Specifiskie trokšņi tiek atpazīti izmantojot neironu tīklu algoritmus
- Nav piekļuves iespēju attēlu un runas primārajiem datiem



Signālu filtrēšana un analīze ar «apmācītu» neironu tīklu

SNRs	Feature	Acc.	F1	Feature	Acc.	F1
clean	MFCC	85.13	84.53	MFCC _T + BFB _T	87.87	87.21
	BFB	82.36	81.53	BFB _T + GFB _T	88.12	87.85
	GFB	85.74	85.34	MFCC _T + GFB _T	88.74	88.13
	MFCC _T	85.64	84.75	MFCC _T +BFB _T +GFB _T	90.13	89.20
	BFB _T	83.38	83.12	DAR	92.15	91.32
	GFB _T	86.85	86.59			
20 dB	MFCC	84.42	82.21	MFCC _T + BFB _T	85.36	85.75
	BFB	80.41	79.35	BFB _T + GFB _T	86.63	86.53
	GFB	84.33	83.35	MFCC _T + GFB _T	87.94	87.58
	MFCC _T	84.57	83.32	MFCC _T +BFB _T +GFB _T	89.86	88.73
	BFB _T	81.24	81.36	DAR	92.02	91.15
	GFB _T	84.98	84.56			
10 dB	MFCC	82.01	80.63	MFCC _T + BFB _T	83.67	83.34
	BFB	79.67	78.08	BFB _T + GFB _T	85.52	84.33
	GFB	82.16	81.16	MFCC _T + GFB _T	86.56	85.97
	MFCC _T	82.32	81.31	MFCC _T +BFB _T +GFB _T	88.53	87.61
	BFB _T	79.91	80.26	DAR	90.76	89.52
	GFB _T	83.14	82.35			
0 dB	MFCC	80.24	79.02	MFCC _T + BFB _T	82.31	81.82
	BFB	79.43	75.45	BFB _T + GFB _T	85.21	82.89
	GFB	81.45	80.37	MFCC _T + GFB _T	85.76	84.65
	MFCC _T	80.63	79.64	MFCC _T +BFB _T +GFB _T	86.97	85.85
	BFB _T	78.87	78.50	DAR	89.62	88.03
	GFB _T	81.95	80.93			
-10 dB	MFCC	73.73	74.12	MFCC _T + BFB _T	75.24	75.50
	BFB	70.30	68.55	BFB _T + GFB _T	82.23	80.86
	GFB	79.76	78.14	MFCC _T + GFB _T	84.01	82.63
	MFCC _T	74.67	75.31	MFCC _T +BFB _T +GFB _T	85.35	84.18
	BFB _T	71.15	73.36	DAR	88.11	86.52
	GFB _T	80.21	79.38			

MFCC_T: Transformed bottleneck feature of MFCC; BFB_T: Transformed bottleneck feature of BFB; GFB_T: Transformed bottleneck feature of GFB; Acc.: Accuracy.



Vīrusa avoti

Avota veids – tilpums ciklā – vīrusi ciklā

- Elpošana: $1.6e-14$ - 0.02
- Runāšana: $7e-13$ - 0.7
- Klepošana: $3.5e-10$ - 350
- Šķaudīšana: $1.3e-8$ - 12500



Schijven 2020

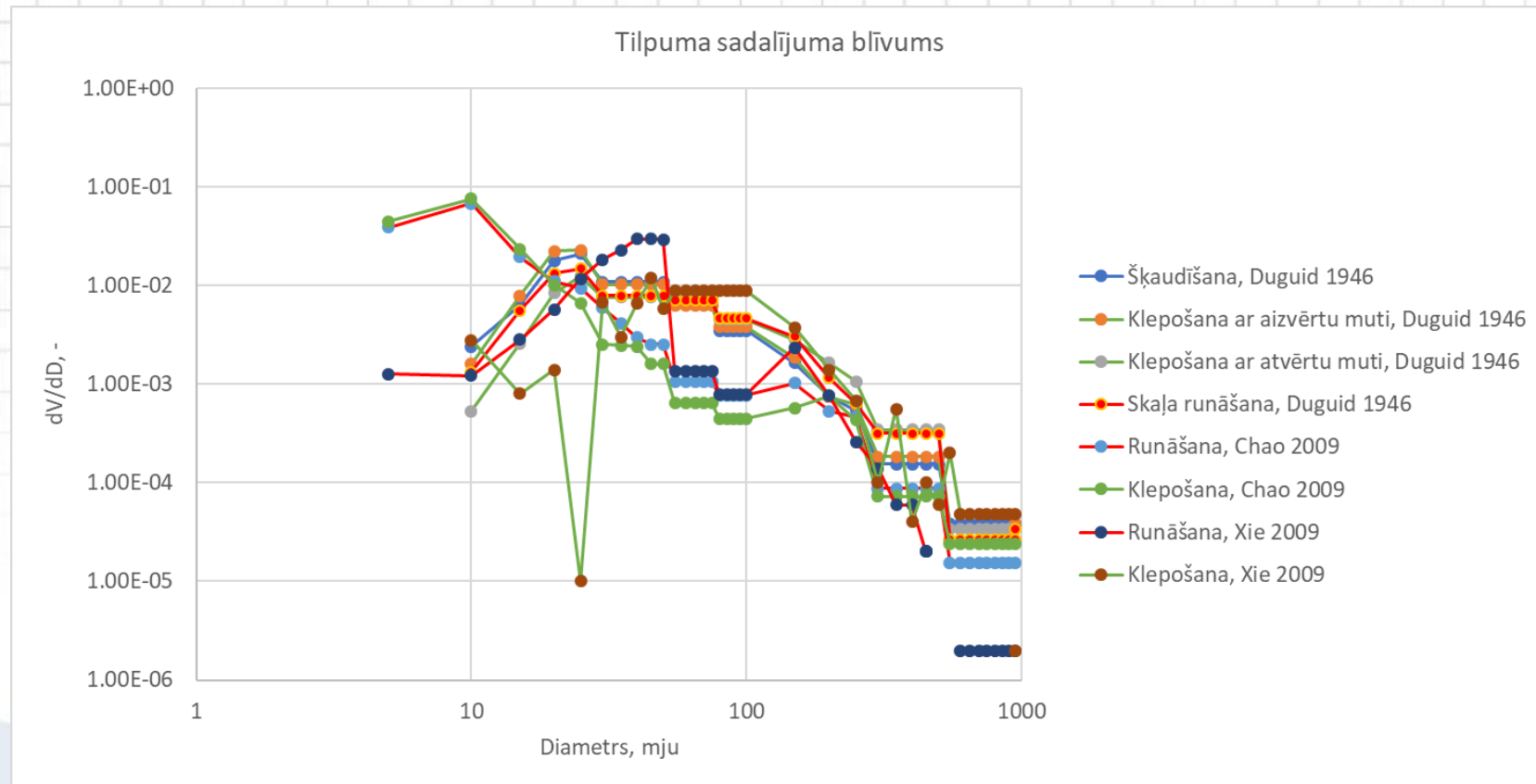


Koncentrācija gļotās:

Vidēji $10^{5.4}$ RNS/mL

Variē 10^2 – 10^{12} RNS/mL

Pilienu diametru sadalījums



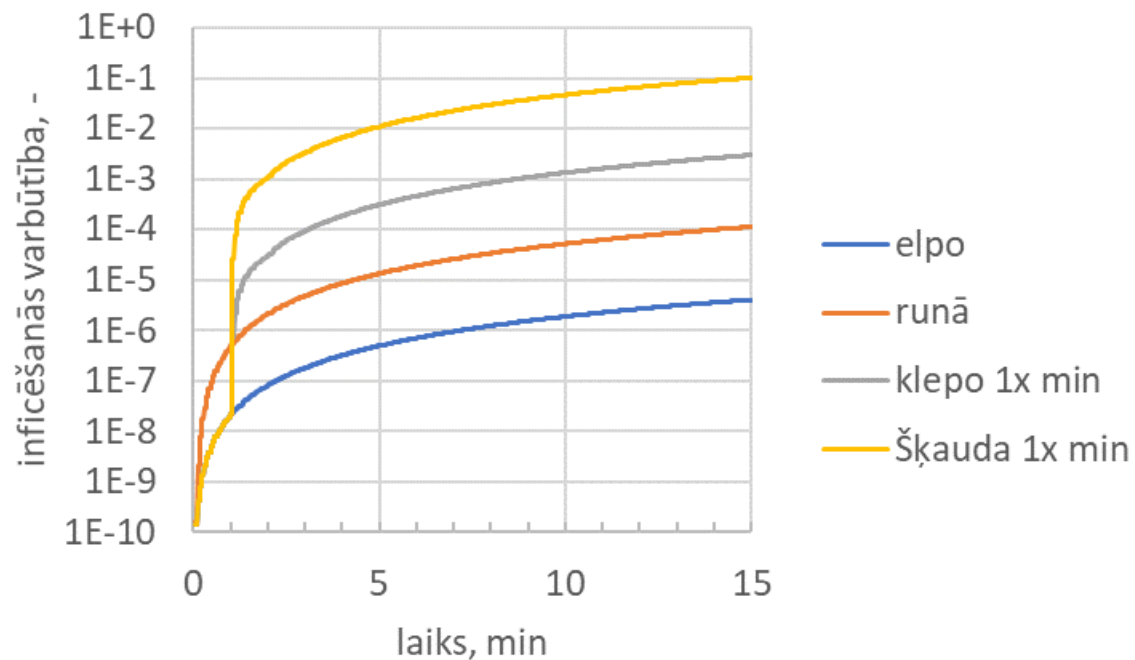
Skaitliskā modelēšana

Aprēķinu piemēra parametri

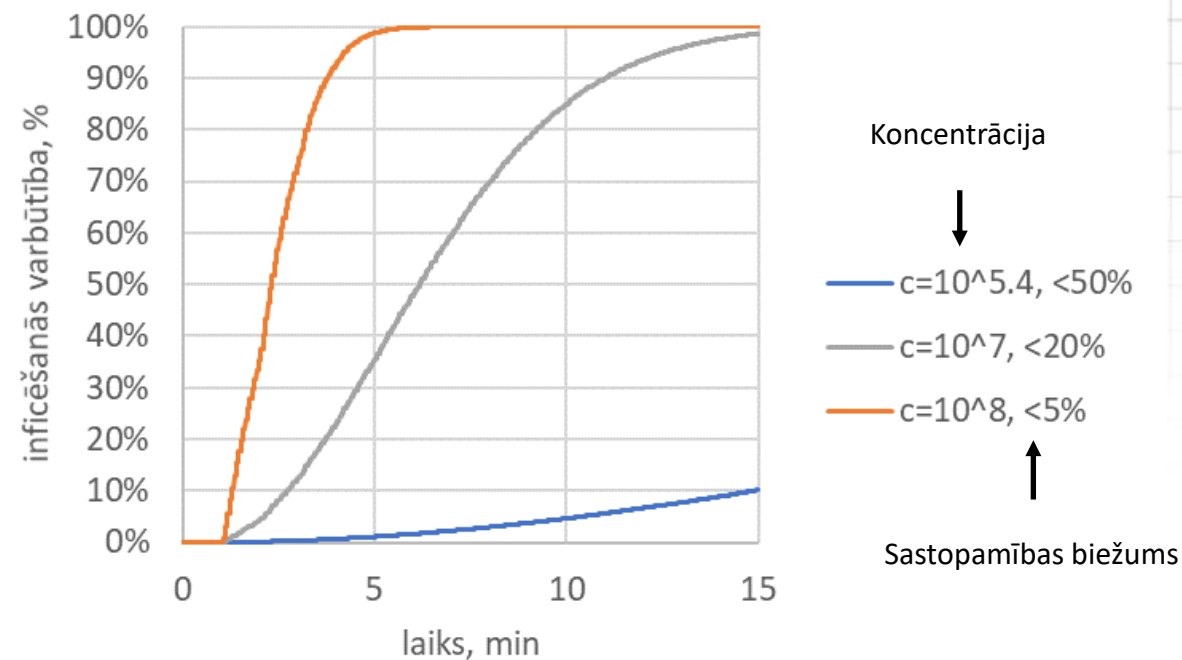
- Telpa: 3x3x3m
- $T = 25^{\circ}\text{C}$, rel. mitrums $RH = 0.5$
- Ventilācija: izslēgta / atbilst LBN nosacījumiem - $15 \text{ m}^3/\text{h}$ uz cilvēku
- Cilvēki: viens slimš, viens vesels
- Avoti [un/vai]: elpošana (17x min) / runāšana / klepošana (1x min) / šķaudīšana (1x min)

Modelēšanas rezultāti

Inficētā cilvēka uzvedība (avoti)



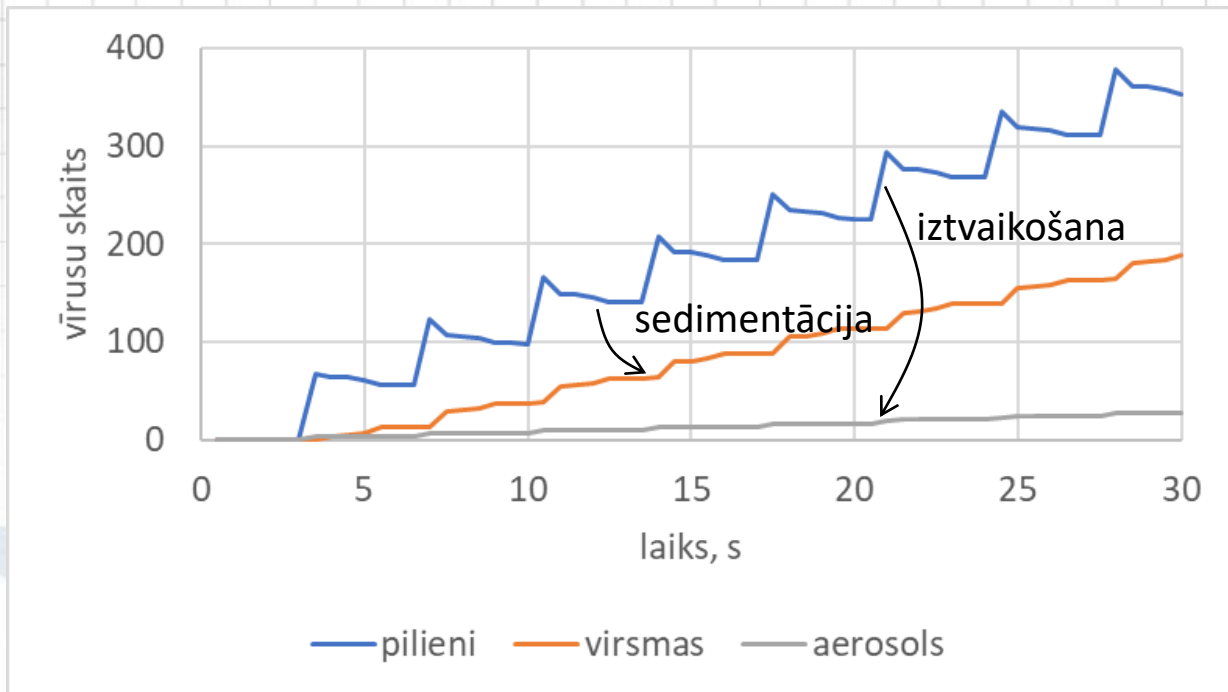
Vīrusa koncentrācija gļotās



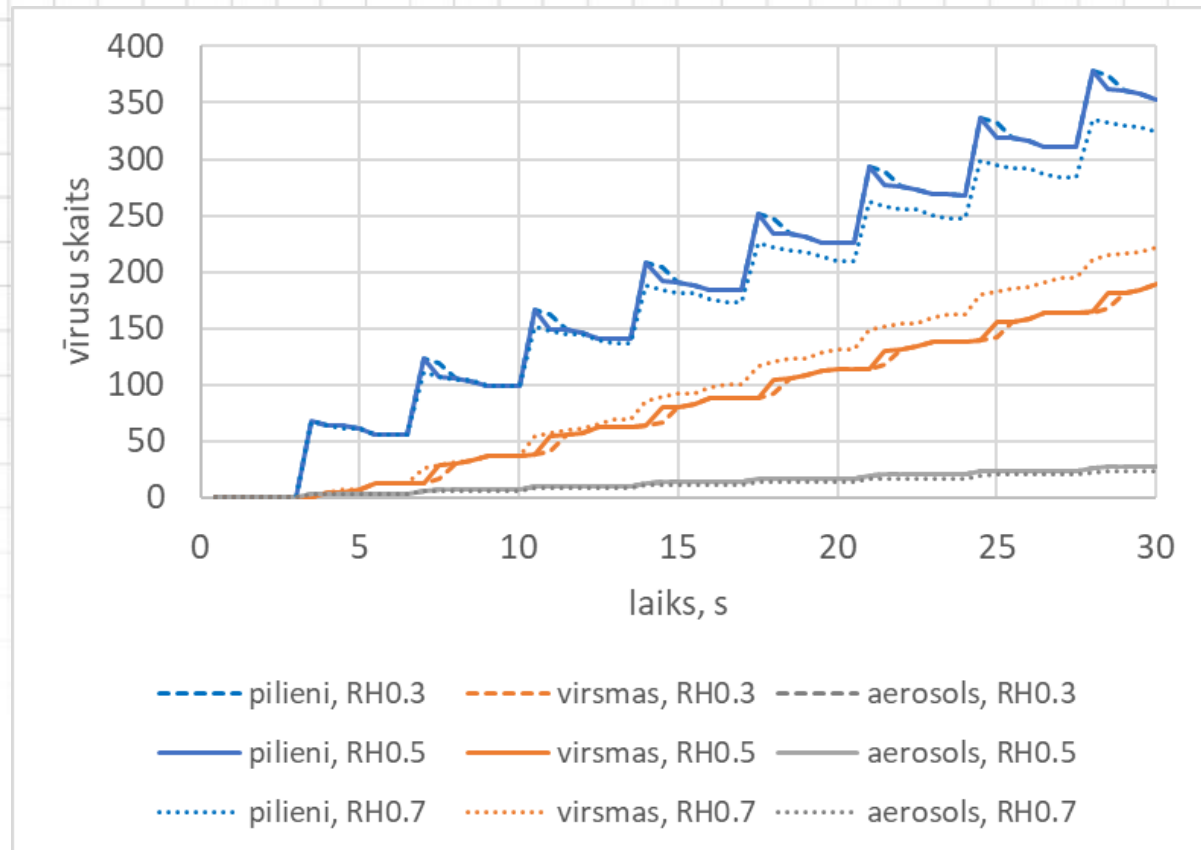
- Atsevišķas darbības par kārtām izmaina inficēšanās risku
 - sensoru sistēma atpazīt darbības pēc skaņas
- Pastāv neliela, taču praktiski nenovēršama inficēšanās iespēja no t.s. *superspreader*
 - Tiks lietotas vidēji varbūtīgās koncentrācijas

Modelēšanas rezultāti

Vīrusu pāreja. Avots – runāšana 1x 3.5 s, $c = 1e8$



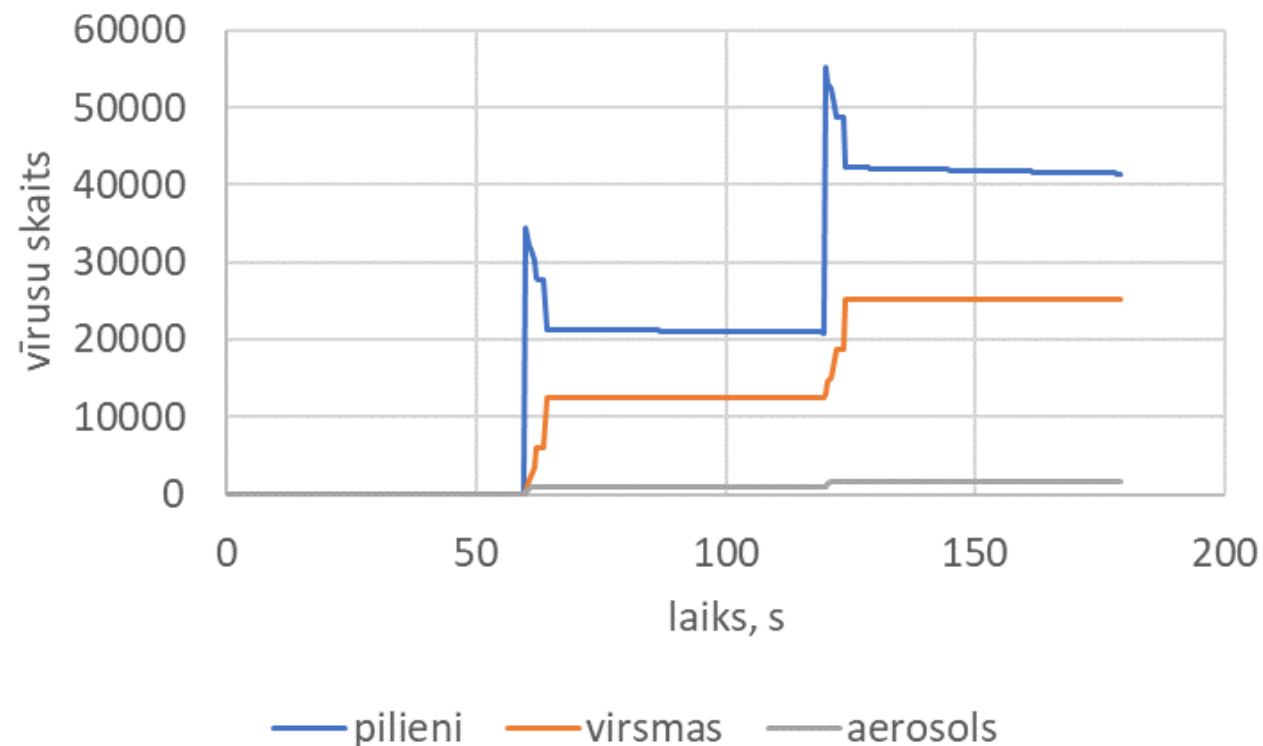
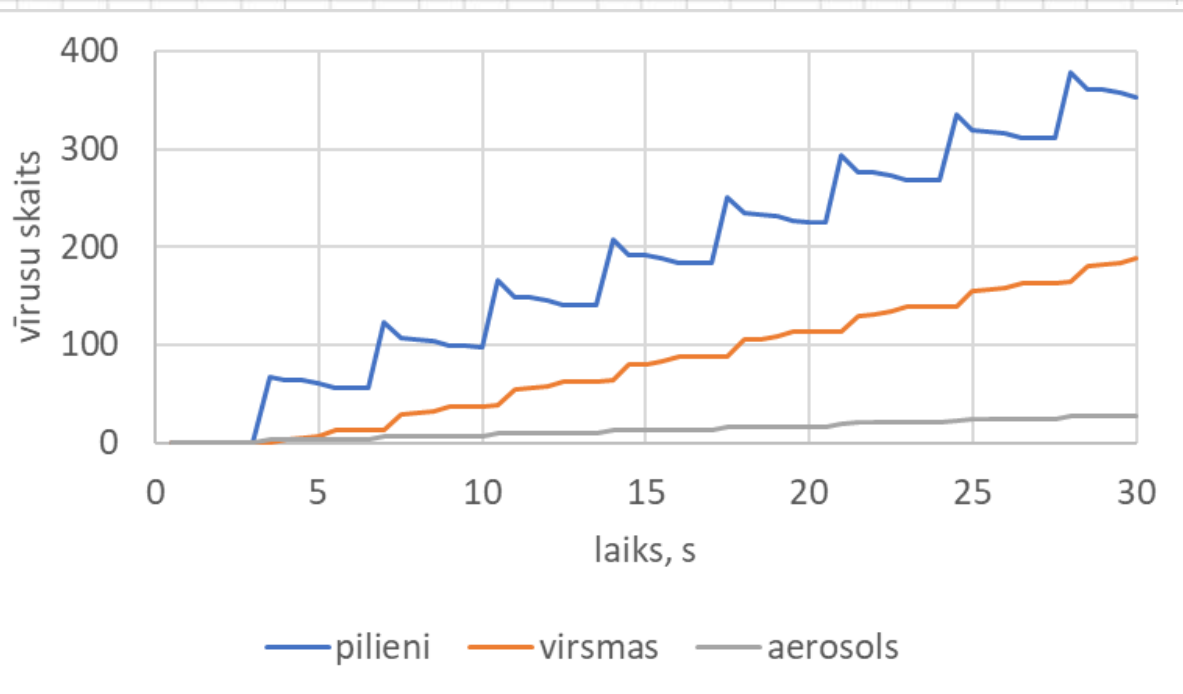
Relatīvā mitruma ietekme



- Mitrums samazina vīrusu nonākšanu aerosolā – pilieni lēnāk iztvaiko un ātrāk nosēžas

Modelēšanas rezultāti

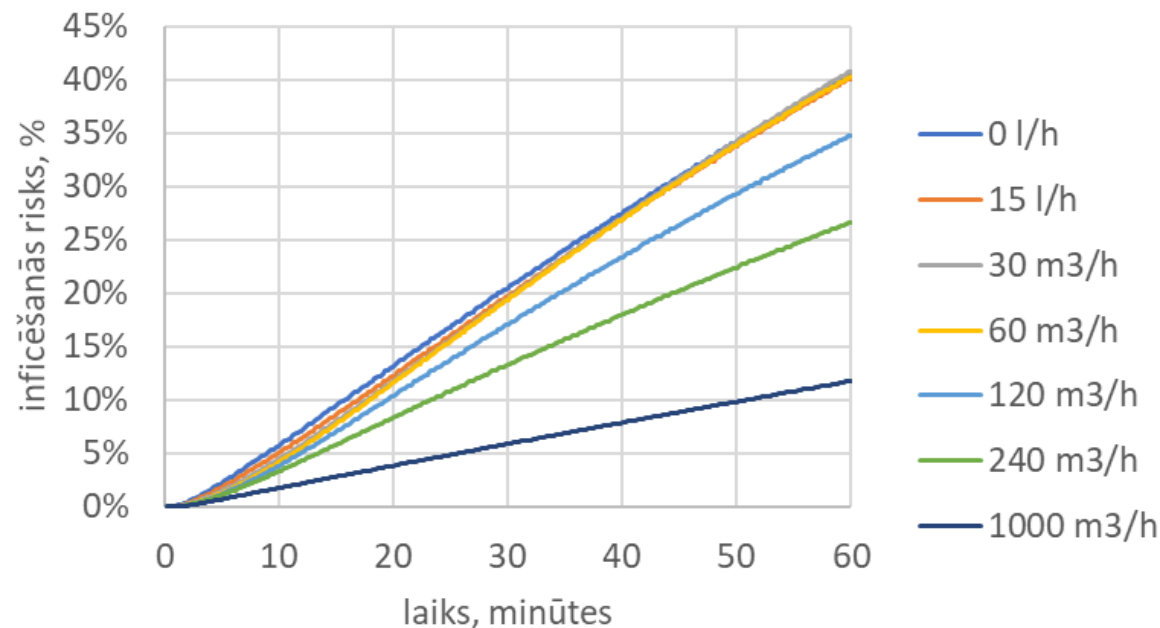
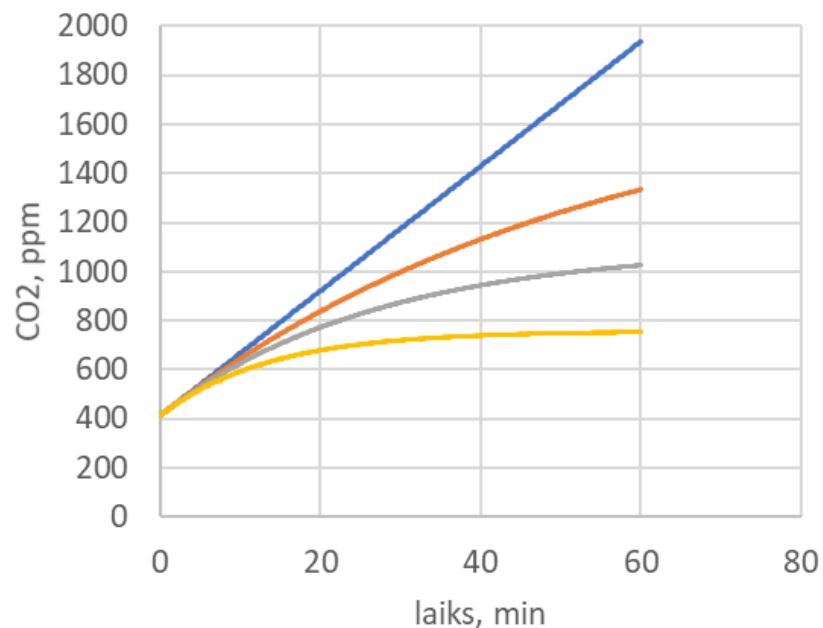
Vīrusu pāreja. Avots – runāšana 1x 3.5 s, klepošana 1x 60 s, $c = 1e8$



- Turbulentā difūzija nodrošina būtisku vīrusu daļu eksistenci pilienos $> 5 \mu\text{m}$

Modelēšanas rezultāti

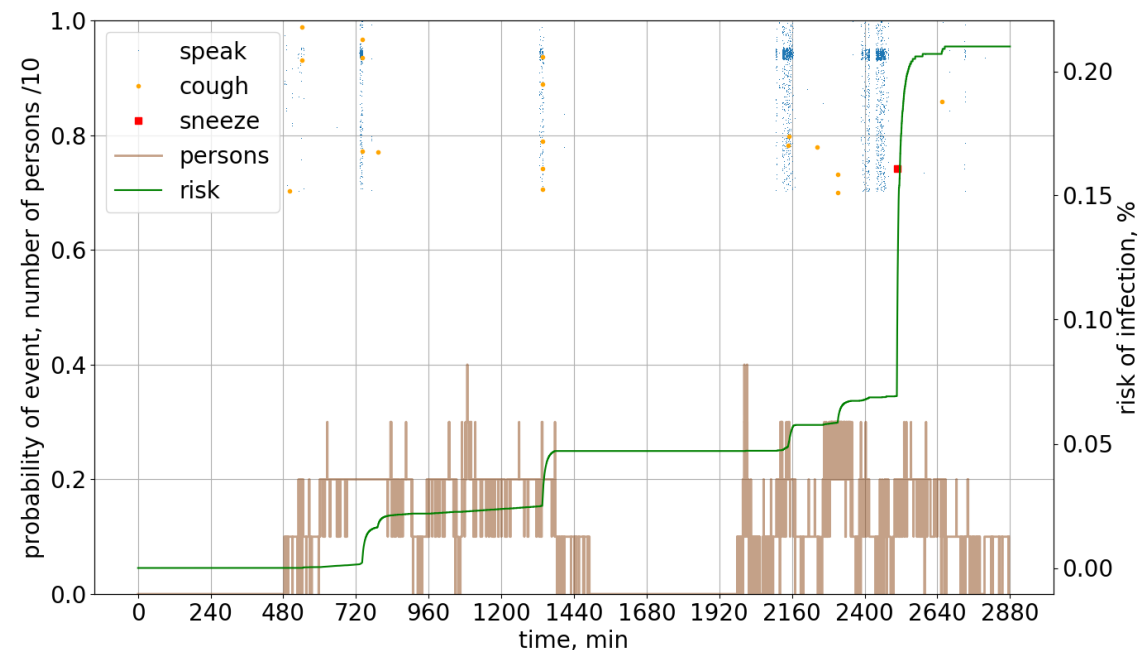
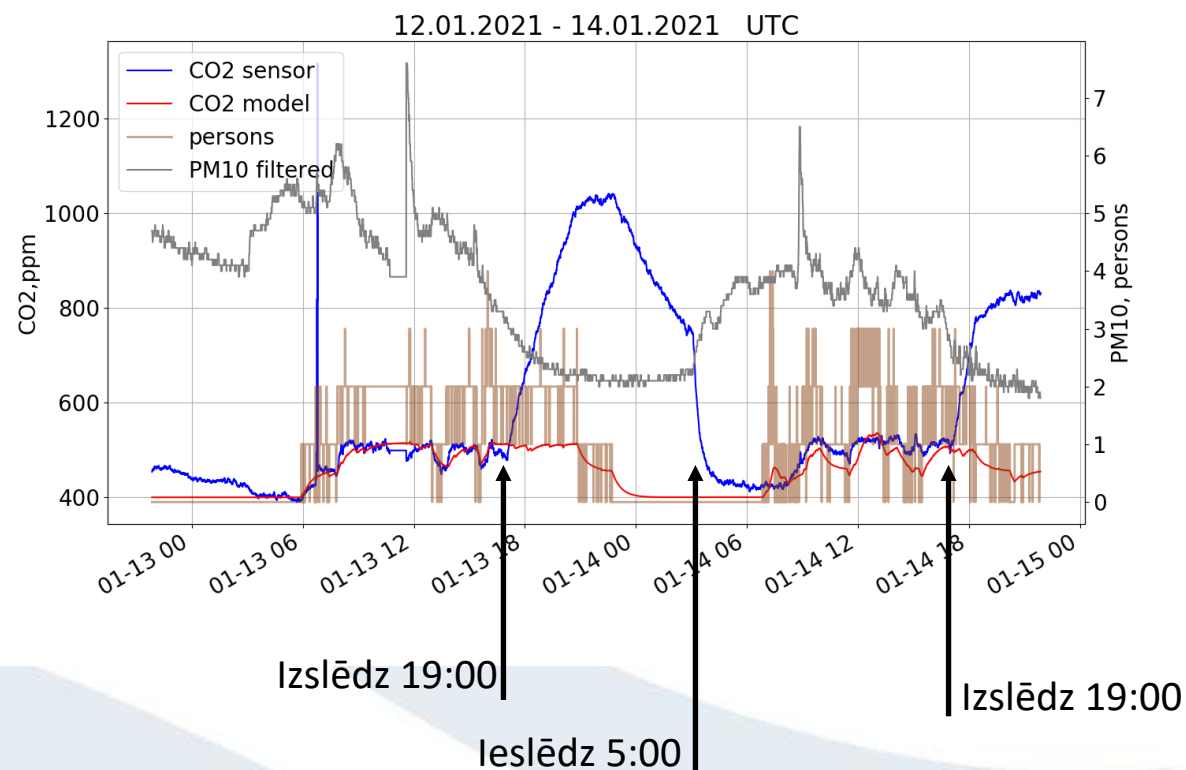
Ventilācijas ietekme. Avots: elpošana, $c=10^7$ RNS/mL (augsta koncentrācija, <20% no slimajiem)



- Vīrusu skaits gaisā stabilizējas stundas laikā pie 2x intensīvākas ventilācijas, kā LBN nosacījumos
- Inficēšanās varbūtība turpina pieaugt dēļ ilgākas ekspozīcijas
- Vidēja ventilācijas intensitāte nesamazina inficēšanās risku, jo pilieni labāk samaisīšanās turbulences dēļ
- Bez ventilācijas CO2 aug lineāri, bet vīrusu skaits lēnāk, infekciozitātes samazināšanās un sedimentācijas dēļ

Inficēšanās riska aprēķina piemērs

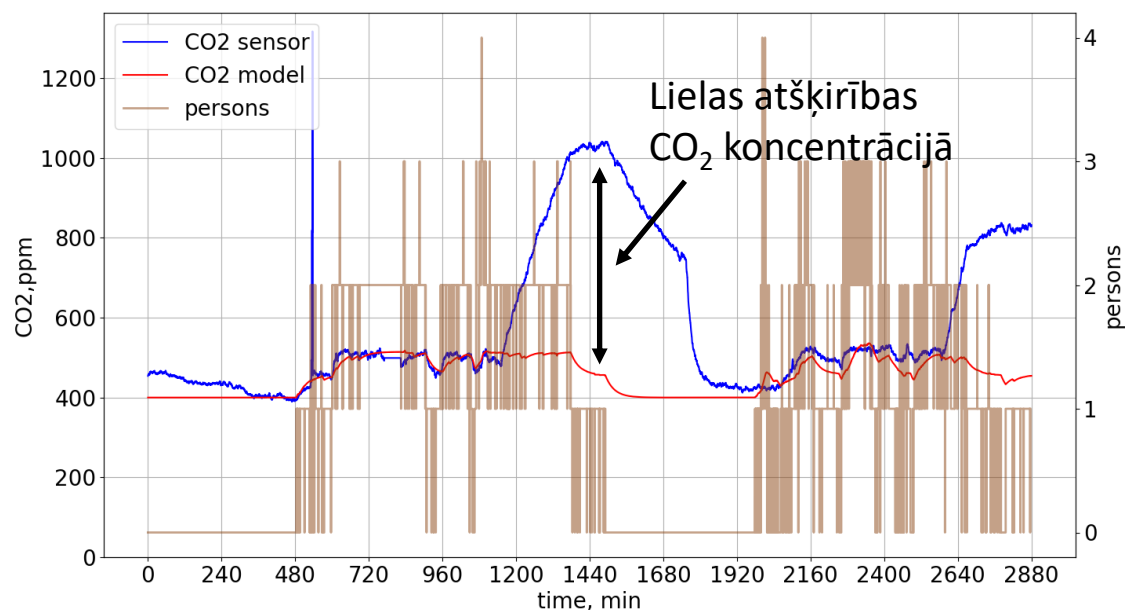
Telpa 523, Zinātņu māja, Jelgavas 3, Rīga, Latvijas Universitāte



- Problēma – nezināma ventilācijas intensitāte
 - modeļa un mērījumu CO₂ atšķiras

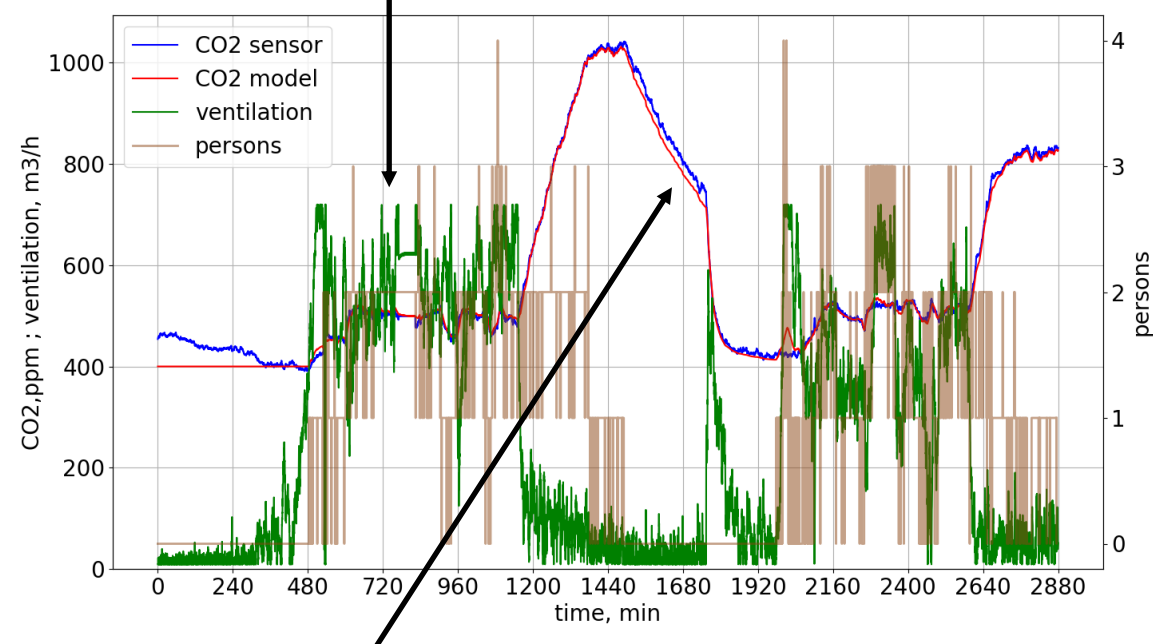
Ventilācijas intensitātes korekcija

- Ventilācijas intensitāte ir svarīga precīzam aerosola (vīrusu) koncentrācijas aprēķinam
- Zinot cilvēku skaita un CO₂ koncentrācijas izmaiņas, ventilācijas intensitāte tiek precizēta ar PID kontroles algoritma palīdzību



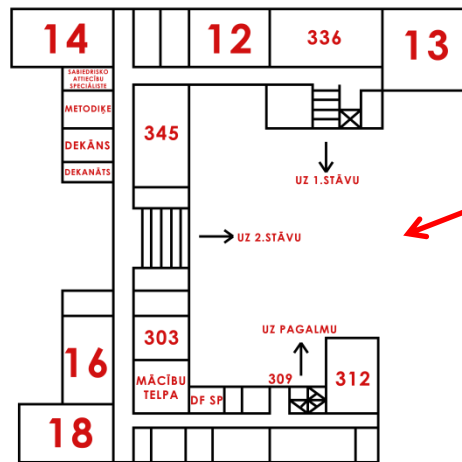
ZI

Ventilācija diennakts laikā variē no 0 – 600 m³/h



Kopumā ventilācijai ir ļoti būtiska loma infekcijas risku samazināšanai!

Covid-19 inficēšanās riska novērtēšana telpās un brīdināšana



Sensoru sistēma telpās (CO₂, putekļi, aerosola pilītes, mitrums, temperatūra, kamera, mikrofons)



Datu savākšanas, uzglabāšanas un analīzes infrastruktūra

Telpas procesu matemātiskais modelis

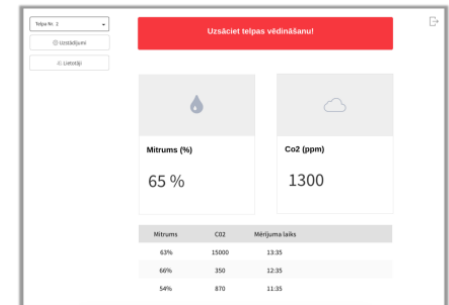
Tiek veikta telpā esošo daļiņu un aerosolu izplatības un fizikālo raksturlielumu skaitliskā modelēšana

Inficēšanās riska modelis, kas izmanto

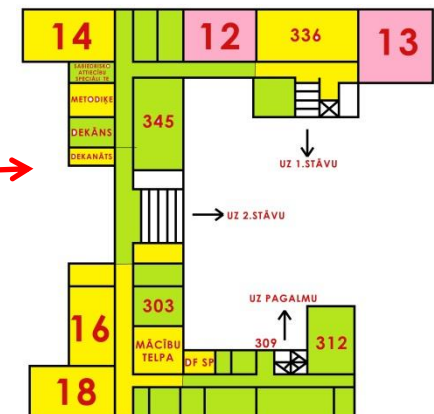
- reālos mērījumu datus no telpas
- simulācijas rezultātus
- datus no zinātniskajām publikācijām

Datu apstrāde, analīze un informatīvās sistēmas

Telpas apmeklētāju brīdināšana par vides apstākļiem



Ēkas kompleksā pārraudzība



Ekonomisks nepieciešamo mikrosensoru komplekts un to nodrošinošā programmatūra

- CO₂ koncentrācija
- kamera cilvēku skaitīšanai
- mikrofons specifisku trokšņu identifikācijai (runa, klepus, šķaudīšana)
- temperatūra
- mitrums
- aerosola pilītes (2 diapazoni)
- putekļi

Origināla izstrādne, kas var kļūt par inovāciju

Prototipi LU FMOF mācību laboratorijā, biroja telpā un PSKUS ārstu telpā



180° kameras skats



Sistēmas

Rūpnieciski ražoti sensoru komplekti

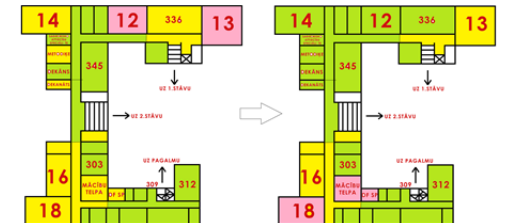
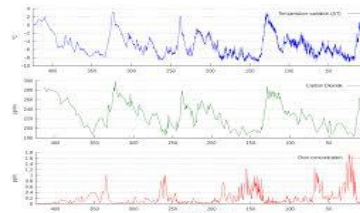
- CO₂ koncentrācija
- temperatūra
- mitrums
- spiediens



- Var tikt izmantots situācijas novērtēšanai
- Dārgāks un nepietiekošs sensoru nodrošinājums pilnvērtīgai riska analīzei
- Uztādīts LU Datorikas fakultātē un PSKUS telpās

Labāk kā nekas, bet nepietiek informācijas adekvātam risku novērtējumam

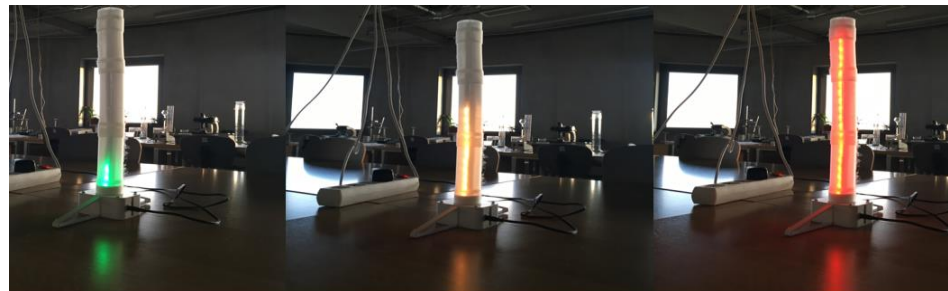
Datu analīzes un pārvaldības IS prototipi



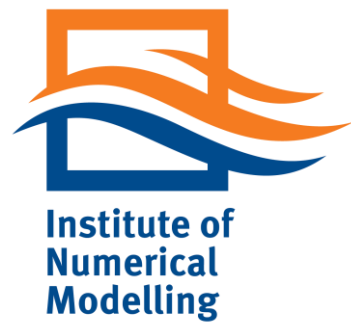
Pašreizējie secinājumi

- Telpu uzraudzīšana ar sensoru sistēmām var informēt par inficēšanās risku ar Covid-19 un ļauj operatīvi uzlabot vides apstākļus, lai risku samazinātu
- Ir iespējams izveidot mazu izmaksu sensoru komplektus masveida lietošanai (< 200 EUR),
- Telpu matemātiskā modelēšana parāda, ka ļoti būtiski sekot CO₂ līmenim, cilvēku skaitam, telpas ventilācijai, temperatūrai, mitrumam un vīrusa nopietnākajiem izplatīšanās avotiem (šķaudīšana, klepošana, kliegšana/dziedāšana)
- Ir iespējams novērtēt inficēšanās riskus (piem., 0 līdz 1), balstoties uz mērījumiem telpā, modelēšanas rezultātiem un dažādo pētījumu par Covid-19 izplatību rezultātiem
 - Interesenti informāciju saņem ar dažādām informatīvām sistēmām
- Iespējama uzkrāto datu analīze un izmantošana riska samazināšanai konkrētās ēkās vai arī līdzīgās ēkās visā valstī
 - Plānots izstrādāt konkrētus priekšlikumus iekļaušanai LR normatīvajos dokumentos, t. sk. Latvijas Būvnormatīvā attiecībā uz automātisko vadības sistēmu (AVS) funkcionalitāti jaunajām un renovējamām ēkām

Perspektīva



- 2021.g. iespējams šādas sistēmas izgatavot un uzstādīt eksperimentālai ekspluatācijai no inficēšanās drošības viedokļa kritiskās telpās
- Pieļaujot līdzīgu vīrusu infekciju «ilgtspēju» un atkārtoto būtu lietderīgi šādus drošo telpu risinājumus iestrādāt jauncelāmo ēku projektos kā viedo ēku vadības sistēmu (ĒVS) paplašinājumus
- Iespēja uzkrāt pieredzi inficēšanās risku vadībai, datus mākslīgā intelekta metožu attīstīšanai un jaunu pētījumu projektu pieteikumiem



Paldies par uzmanību!

www.modinst.lv

