Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Licence to Breathe (L2B) Co-Creation hanke
(16.8.2020-31.3.2021)

Korona toi sisäilmastonmuutoksen

Loppuseminaari 31.3.2021 klo 12-14

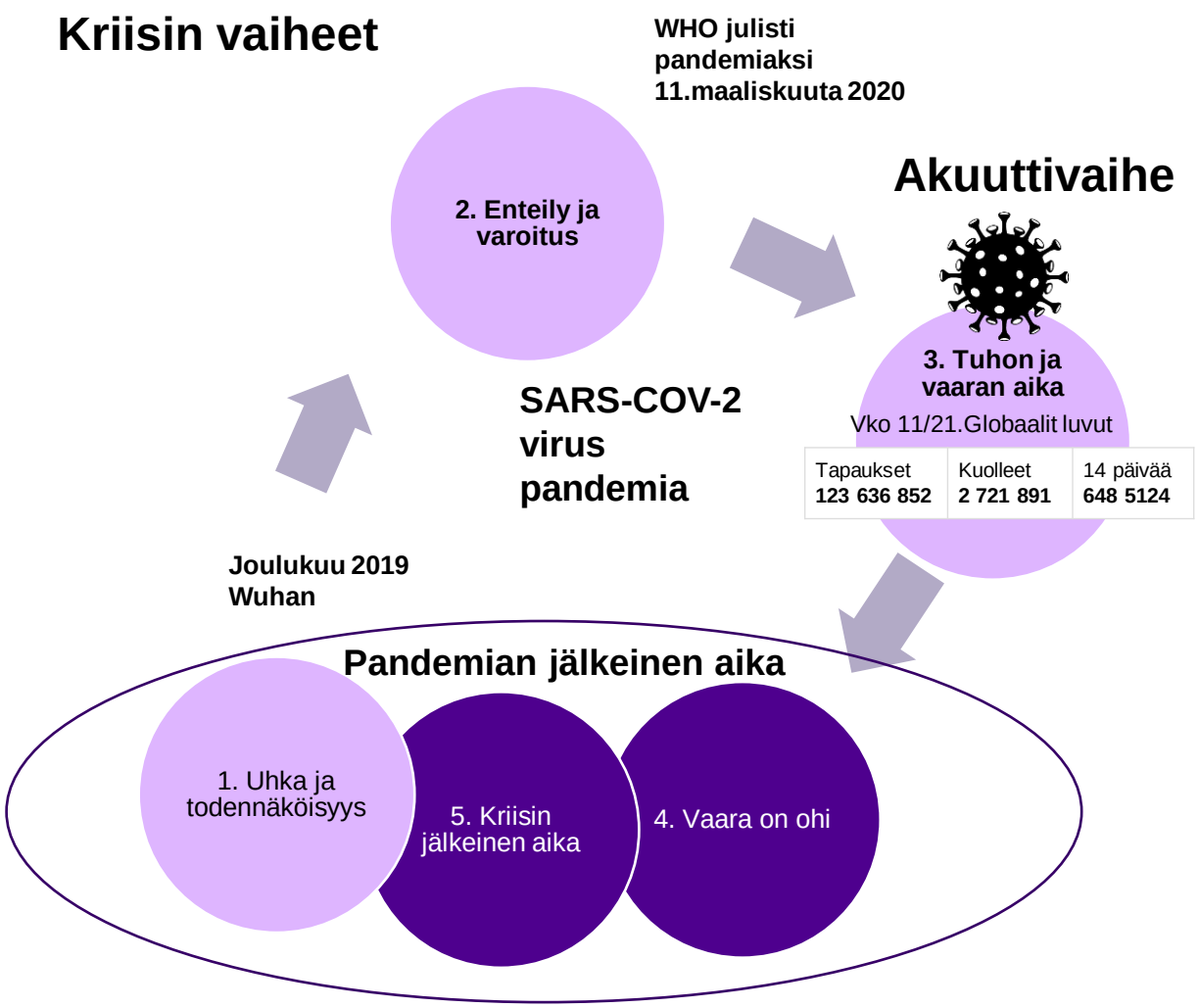
Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

L2B tutkimusryhmä

Osaamisalue	Titteli	Vastuuhenkilö	Korkeakouluyhteisö
Talotekniikka, teknologiset ratkaisut	Projektin johtaja Industry professor, talotekniikka	Piia Sormunen	TAU, Rakennetun ympäristön tiedekunta
Talotekniikka	Lehtori, Sähköinen talotekniikka Lehtori, LVI-tekniikka ilmanvaihto Lehtori, Rakennusautomaatio	Kari Kallioharju Jussi-Pekka Juvela Sakari Uusitalo	TAMK, Rakennettu ympäristö ja biotalous
Kiinteistökehitys	Industry professor, kiinteistökehitys Tutkijatohtori	Ari Ahonen Jukka Puhto	TAU, Rakennetun ympäristön tiedekunta
Lääke- ja terveystiede	Professori, anatomia Professori, epidemiologia Akatemiatutkija, BioMediTech	Seppo Parkkila Pekka Nuorti Teemu Ihalainen	TAU, Lääketiede ja terveysteknologian tiedekunta TAU, Yhteiskuntatieteiden tiedekunta TAU Lääketiede ja terveysteknologian tiedekunta
Itse desinfioituvat pinnat	Projektipäällikkö	Pasi Keinänen	TAU, Tekniikka ja luonnontieteen tiedekunta
Hygienian hallinta	Lehtori, liiketoiminta	Leila Kakko	TAMK, Liiketoiminta
Työympäristöt	Projektipäällikkö, työympäristöt Vanhempi lehtori, AmO, arkkitehti SAFA	Suvi Nenonen Elina Ritola	TAU, Rakennetun ympäristön tiedekunta TAMK, Rakennettu ympäristö ja biotalous
Aerosolifysiikka, virtaustekniikka, hiukkassuodatus, mittaukset	Lehtori, fysiikka	Sampo Saari	TAMK, Pedagogiset ratkaisut
CoreLab - Rakennetun ympäristön kehittämisalusta	Projektipäällikkö	Jaakko Kinnunen	TAU, Rakennetun ympäristön tiedekunta

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Koronapandemia on kriisi



AKUUTTIVAIHE

- Olemme katastrofissa akuutissa vaiheessa ja olemme keskittyneet **ihmisten terveyden suojaamiseen**
  - Sulkutoimet
  - Rokotukset
- Epidemian laantuminen vaatii laajan rokotekattavuuden (tarttuvuusluku alle 1)

- Vaaran väistyessä alkaa **jälleenrakennus yhteiskunnan avaamiseksi.**
- Käytännön kokemuksen lisäksi myös tutkimustulokset ovat osoittaneet, että akuutissa kriisivaiheessa on huomioitava edessä oleva jälleenrakennusvaihe.

PANDEMIAN JÄLKEINEN AIKA

- **Akuutin vaiheen jälkeen tulee keskittyä rakennettuun ympäristöön!**
- Korona on tuonut rakennettuun ympäristöön epävarmuuden
- Terveellisen sisäympäristön turvaamiseksi tulee keskittyä **ennakoivien älykkäiden rakennusten kehittämiseen** henkilöturvallisuuden takaamiseksi

Katastrofin jälkeen | Red Cross
Tuominen_Tommi.pdf (theseus.fi)
COVID-19 situation update worldwide, as of week 11, updated 25 March 2021 (europa.eu)
BLOGI: KUINKA KORKEA ROKOTUSKATTAVUUS VAADITAAN LAUMASUOJAN SAAVUTTAMISEEN? | Rokotetutkimuskeskus

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

L2B Co-Creation

- L2B-hankkeen uutuusarvo ja hyödyntämispotentiaali on ollut vahvassa poikkitieteellisyydessä, joka tuonut yhteen **lääketieteen, biotieteiden, virtaustekniikan, aerosolifysiikan, hygieniatekniikan, nanoteknologian, talotekniikan sekä kiinteistöalan asiantuntijat niin tutkijaryhmästä kuin yrityksistä** luomaan ratkaisuja virusten leviämisen estämiseen rakennuksissa.

Tavoitteet	
Suomalaisten yritysten edellä kävijyyden ja kilpailukyvyn tukeminen ja integroidun L2B-verkoston muodostaminen ja vakiinnuttaminen	L2B hankkeen aikana Howspace-alusta kommunikoinnissa ❖ Kick-off -15.9.2020 ❖ Työpaja 1 - 27.10.2020 ❖ Työpaja 2 - 17.12.2020 ❖ Loppuseminaari 31.3.2021
Yrityksiä palvelevien **tutkimustulosten** ja kansainvälisiltä markkinoilta löydettävien **teknologisten ratkaisujen kartoitus**	Julkaistaan TAU internet sivuilla huhtikuussa 2021 ❖ Loppuraportti ❖ Kolme manifestia ❖ Artiklakortit ❖ Muut julkaisut ja esiintymiset
Välittömien tutkimushaasteiden tunnistaminen yritysten liiketoiminnan kehittämiseksi	Loppuraporttiin kootaan tunnistetut tutkimushaasteet, joihin keskitytään jatkohankkeessa
Business Finland **Co-Innovation hankkeen valmistelu** ja tutkimus- ja yritysyhteistyön rakentaminen	L2B-hanke on fuusioitunut jo syksyllä kahden muun Co-Creation –hankkeen (TUPA, AIRCO) kanssa ja valmistelee tällä hetkellä suurta Co-Innovation hanketta nimeltään E3

TUTKIMUSRYHMÄ TAMPEREEN KORKEAKOULUYHTEISÖ

TP.1 Verkosto ja tiedon virtautus

TP2. Viruksen leviäminen sisäympäristössä

TP3. Talotekniikka ja teknologiset ratkaisut

TP.5 Tulevaisuuden skenaariot kiinteistökehityksessä

TP4. Käyttäytyminen ja tilat, digitaaliset ratkaisut

+lukuisat mukaan liittyneet yritykset

#1 Virus on vikkelä

Patogeeniset tartuntamekanismit ja sen mittaaminen pinnoilta tai ilmasta on vielä haasteellista

Solutason infektiomekanismit ja koronaviruksen erittyminen hengitysteissä

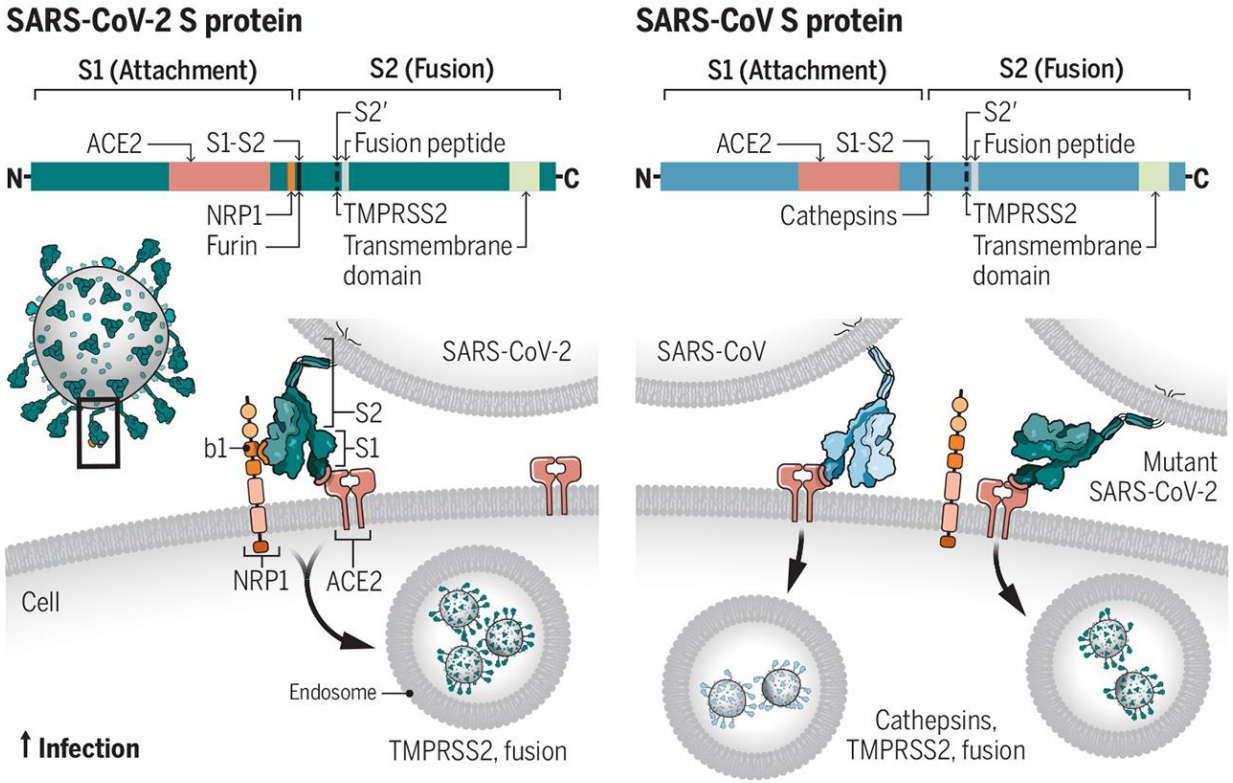
prof. Seppo Parkkila, TAU

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Model for SARS-CoV-2 processing and entry

Model for SARS-CoV-2 processing and entry

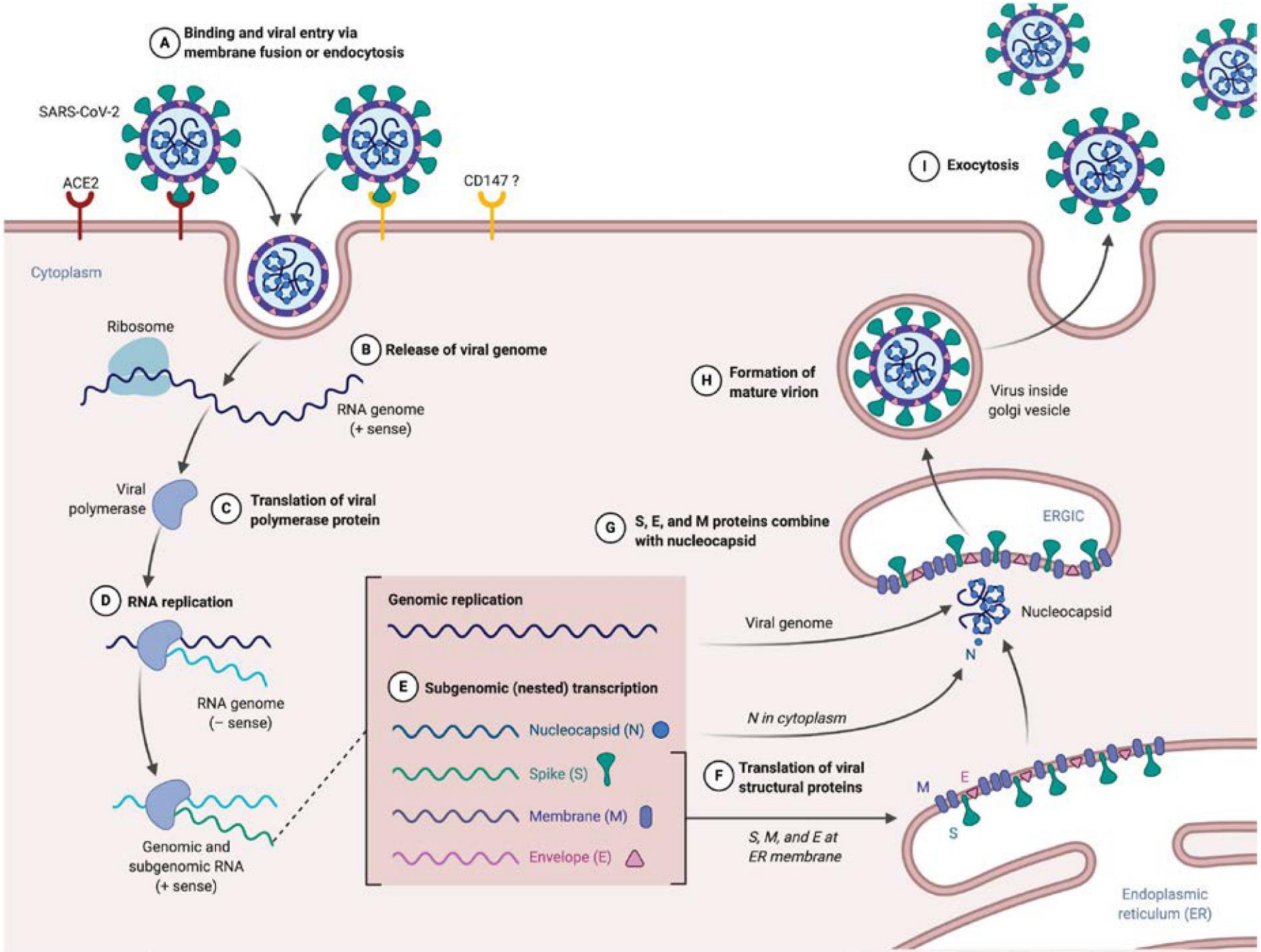
Proteolytic processing of SARS-CoV and SARS-CoV-2 S proteins facilitates virus entry. SARS-CoV and SARS-CoV-2 bind to ACE2 at a region on S1. Furin cleavage at the S1-S2 junction exposes the C-end rule peptide on SARS-CoV-2 S1 and allows binding to NRP1. Subsequent processing by cathepsins and TMPRSS2 allows S2 fusion peptide–mediated membrane insertion and merging of membranes. The absence of a furin cleavage site in SARS-CoV S1 and a SARS-CoV-2 S1 mutant prevents binding to NRP1 and limits virus entry and infection.

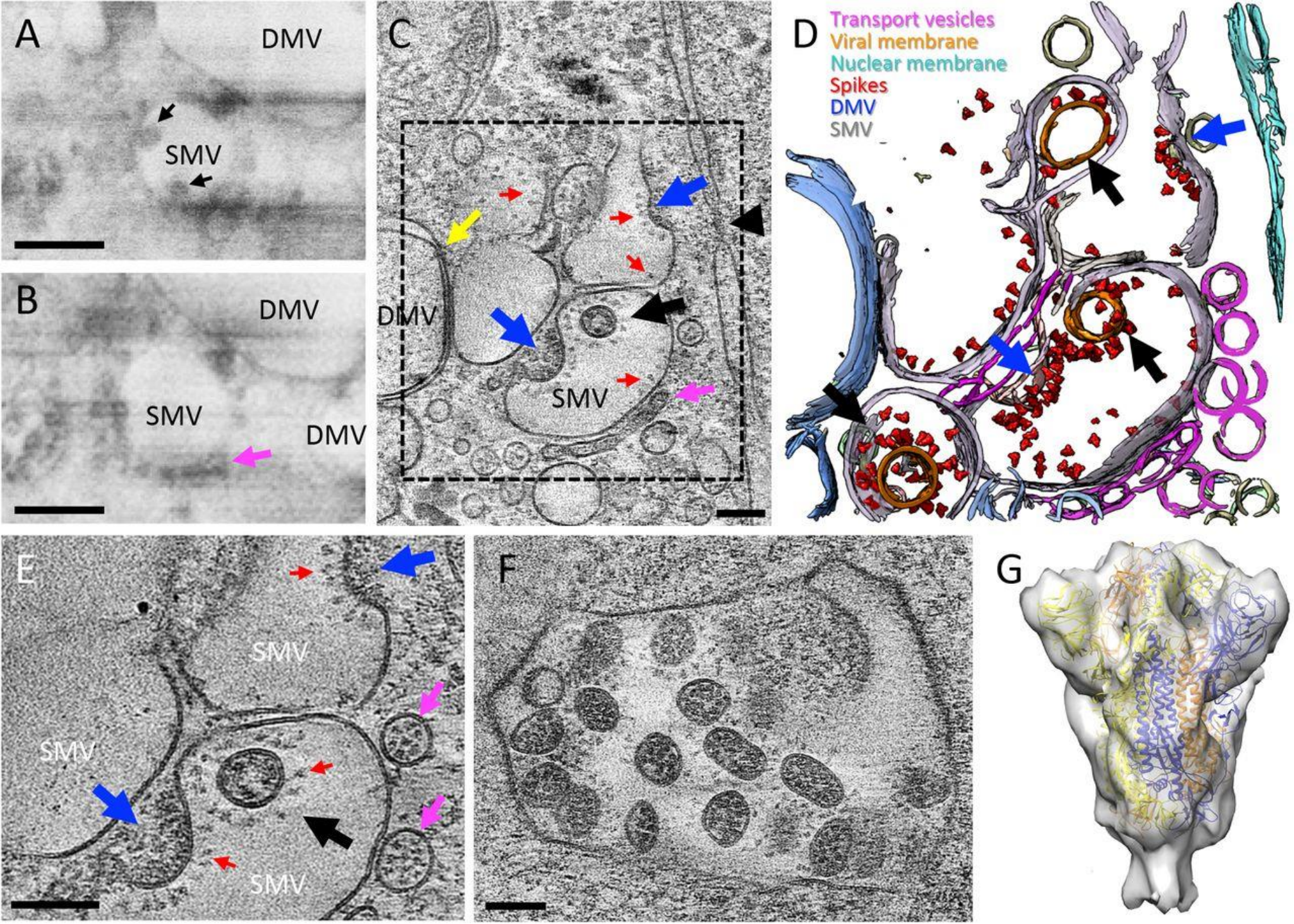


ACE2, angiotensin-converting enzyme 2; NRP1, neuropilin 1; S, spike;
SARS-CoV, severe acute respiratory syndrome coronavirus; TMPRSS2, transmembrane protease serine 2.

Science AAAS

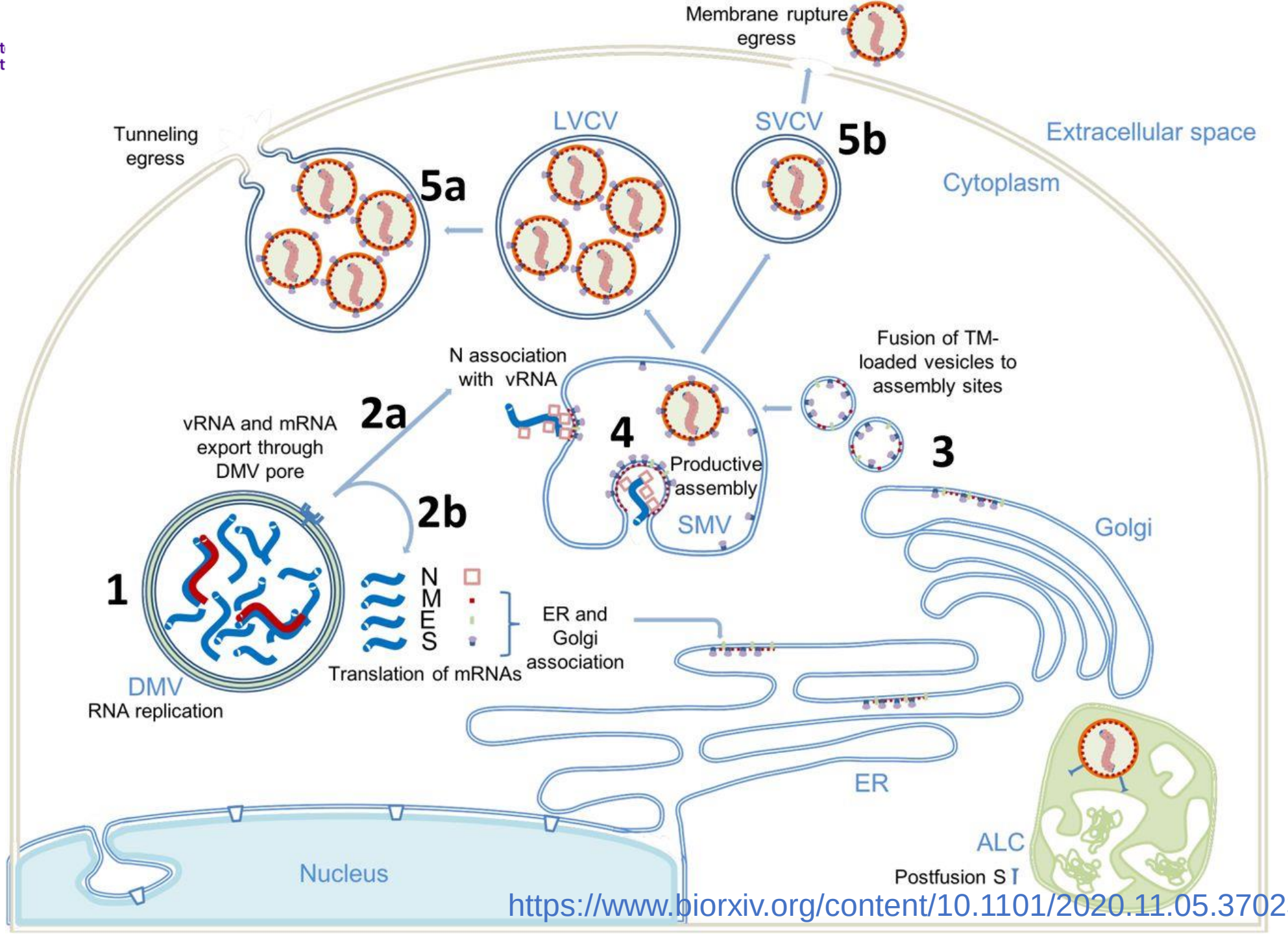
Margaret Kielian Science 2020;370:765-766


A Binding and viral entry via membrane fusion or endocytosis
SARS-CoV-2
ACE2
CD147 ?
Cytoplasm
Ribosome
B Release of viral genome
RNA genome (+ sense)
Viral polymerase
C Translation of viral polymerase protein
D RNA replication
RNA genome (– sense)
Genomic and subgenomic RNA (+ sense)
Genomic replication
E Subgenomic (nested) transcription
Nucleocapsid (N)
Spike (S)
Membrane (M)
Envelope (E)
F Translation of viral structural proteins
S, M, and E at ER membrane
G S, E, and M proteins combine with nucleocapsid
Viral genome
N in cytoplasm
N
Nucleocapsid
ERGIC
M
E
S
Endoplasmic reticulum (ER)
H Formation of mature virion
Virus inside golgi vesicle
I Exocytosis



https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.11.05.370239v1.full

Tampereen yliopist
Tampereen ammat



https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.11.05.370239v1.full

Koronaviruksen leviämismekanismit ja mittaamisen haasteet

TkT Sampo Saari, TAMK

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Koronaviruksen leviämismekanismit

Virusta leviää ympäristöön:

- Hengitysteistä: yskiminen, aivastus, hengitys, puhuminen, laulaminen, räkä ja lima
- Ulosteen mukana

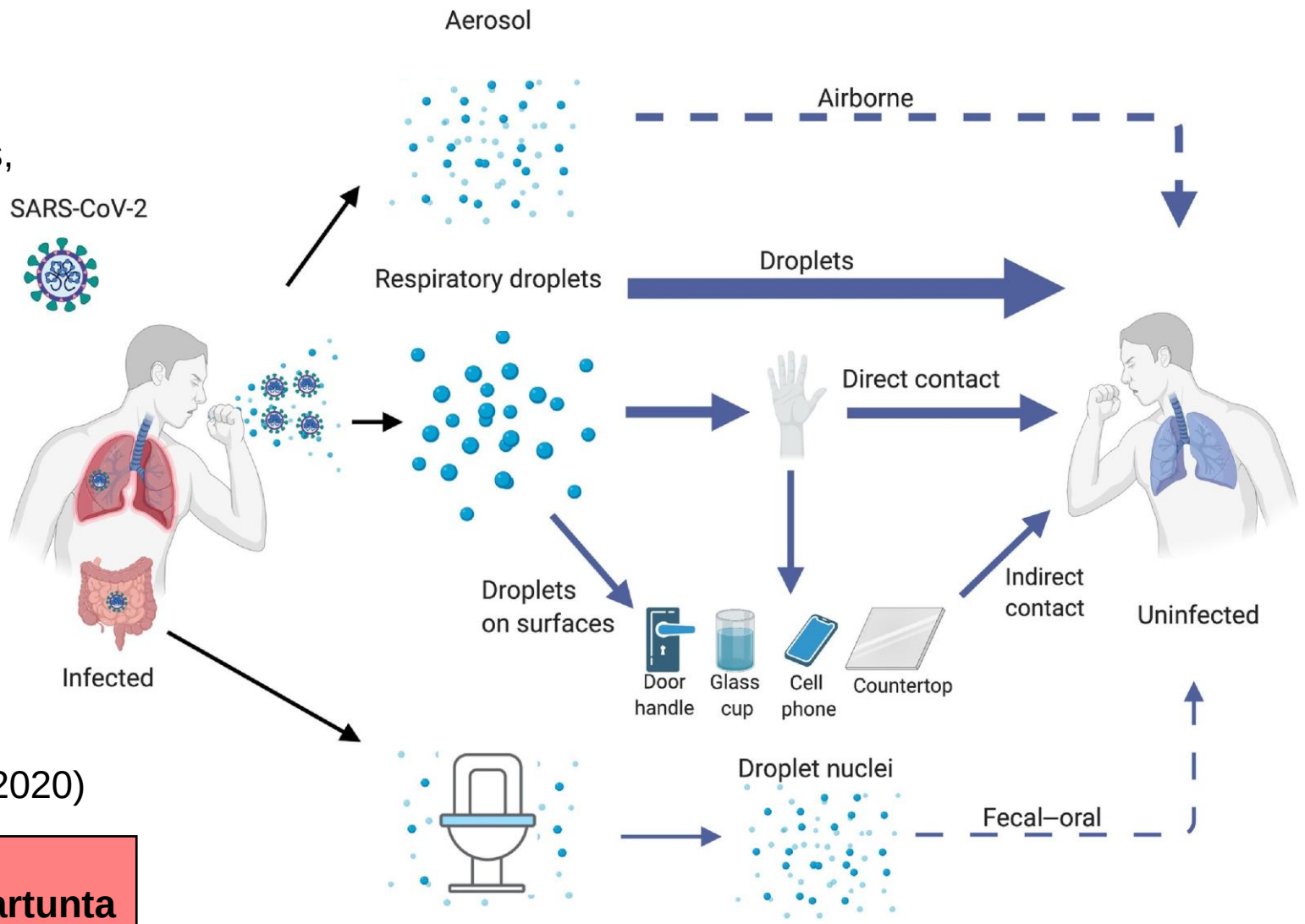
Viruksen tartuntatavat:

- Pisaratartunta (< 2m)
- Aerosolitartunta (> 2m)
- Kontaktitartunta (suora/epäsuora)

Viruksen elinaika (laboratoriossa):

- Pinnoilla jopa 72 h (Van Doremalen, 2020)
- Aerosolihiukkasissa jopa 16 h (Fears et al., 2020)

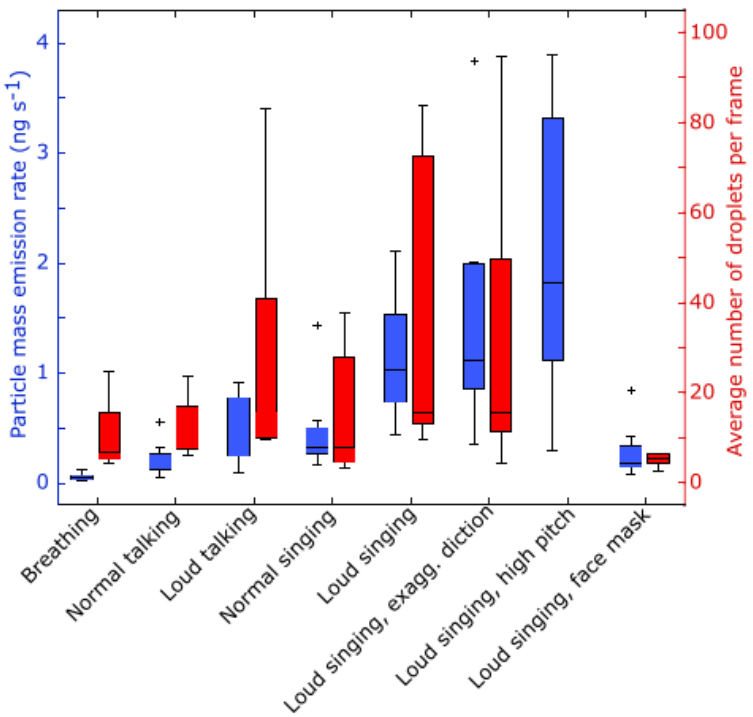
Oireettomat tartuttajat + pisara + aerosolitartunta
=> ”Vikkelä virus” => Pandemia



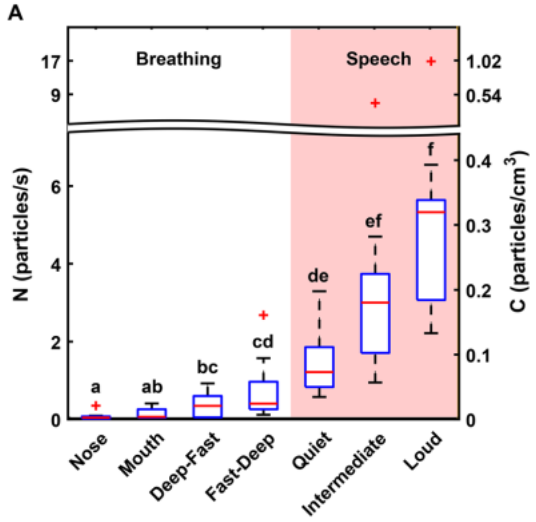
Kuva: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1471490620302337 Trends in Immunology
Van Doremalen, 2020: https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmc2004973
Fears, 2020: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7454081/

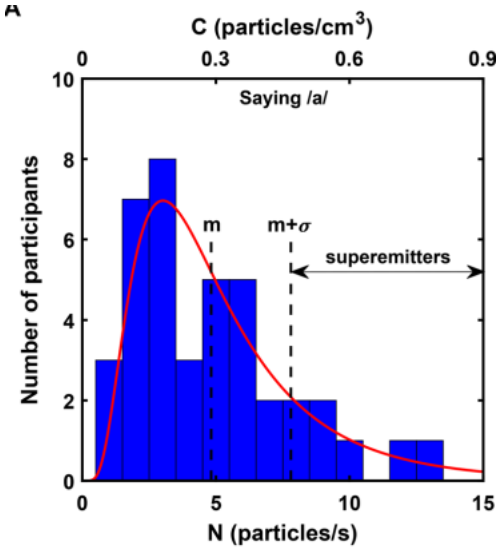
Pisara- ja aerosoliemissio hengitysteistä

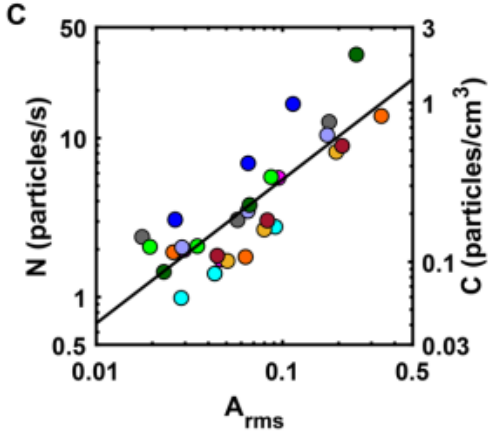
- Pisaroiden määrä ja kokojakauma vaihtelee voimakkaasti eri tilanteissa ja yksilöiden välillä (1-1000 pisaraa/s)
- Käytetyt mittausmenetelmät vaihtelevat tutkimuksissa, joten mittaustulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään ja hajonta pitoisuuksissa on suurta
- Pelkässä hengityksessä syntyvät hiukkaset ovat kuivuttuaan n. 1 µm kokoluokassa, kun taas puhumisesta ja laulamisesta syntyy hieman suurempia hiukkasia (3 – 5 µm), jotka ovat ilmeisesti lähtöisin äänihuulista (Morawska 2009: https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.11.002).
- Yskiminen tuottaa kerralla suuren määrän hiukkasia, mutta jatkuva hengitys voi tuottaa pidemmällä aikavälillä suuremman pitoisuuden (Morawska 2009).
- Äänen voimakkuus kasvattaa hiukkasemissiota
- Superlevittäjät tuottavat mahdollisesti suuremman hiukkasmäärän
- Kasvomaskeilla saatiin vähennettyä hiukkasemissiota merkittävästi

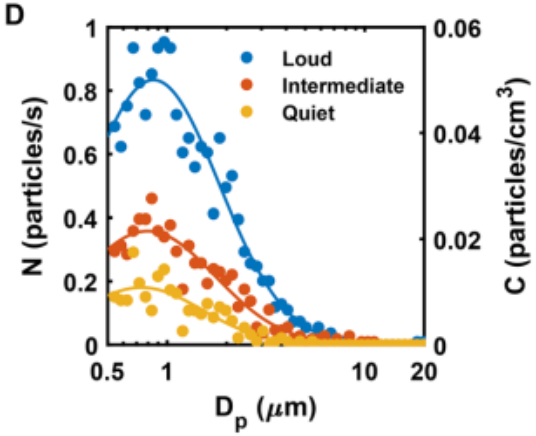


Alsved et al., 2020: https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1812502







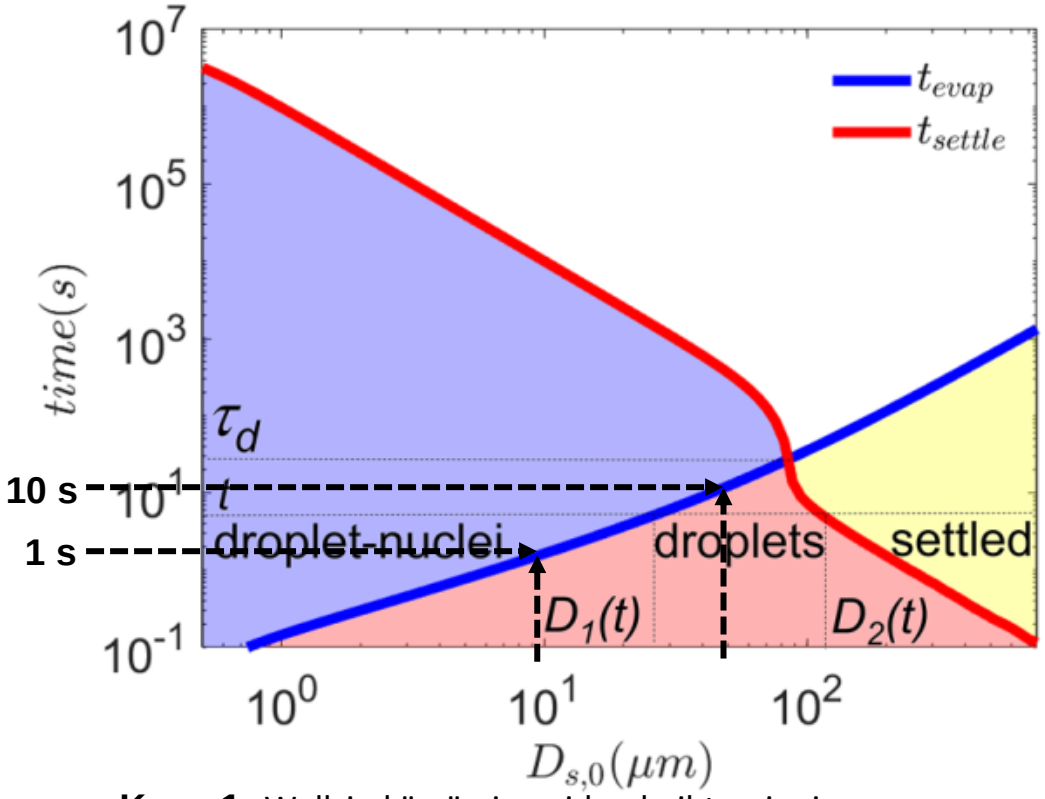


Asadi et al., 2020: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227699

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Pisara- ja aerosolitartunnan dynamiikka

- Hengitysteistä vapautuvien pisaroiden koko ja ympäristön ilmankosteus vaikuttavat pisaroiden kuivumisaikaan: Pienemmät pisarat kuivuvat nopeammin kuin suuret pisarat (10 µm -> 1 s; 50 µm -> 10 s).
- Kuivuttuaan kokonaan pisaran koko pienenee tyypillisesti noin 1/6 – 1/10 alkuperäisestä koosta.
- **Pisaratartunta:** Suuret pisarat eivät ehdi kuivua ennen kuin putoavat maahan (n. > 80 µm pisarat). Vaikutusetäisyys tyypillisesti < 2 m.
- **Aerosolitartunta:** < 80 µm pisarat kuivuvat nopeammin ja ovat kuivuneena tyypillisesti alle 10 µm kokoisia (aerosolihiukkanen), joten ne pystyvät leijailemaan ilmassa jopa tunteja ja voivat konsentroitua suljetuissa tiloissa. Vaikutusalue jopa > 10 m.
- **Ilmavirtaukset ja alhainen kosteus voi kasvattaa pisaroiden ja aerosolien leijunta-aikaa ja vaikutusetäisyyttä**, eli vaikutusetäisyydet riippuvat olosuhteista.
- Keskimääräinen viruspitoisuus hengitysteistä otetussa näytteessä on ollut noin 7 × 10^6 RNA kopiota/ml ja ns. supertartuttajilla suurimmillaan jopa 2.4 x 10^9 RNA kopiota/ml (Wölfel 2020).
- **Pisarakoko (hiukkaskoko) vaikuttaa virusten määrään:**
  - 60 µm pisarassa virusmäärä keskimäärin n. 1 RNA kopio/hiukkanen
  - 6 µm kokoisessa pisarassa keskimäärin n. 1 RNA kopio 1000 hiukkasta kohti
- 1 min ääneen puhuminen tuottaa vähintään 1000 SARS-CoV-2 virusta sisältävää pisaranydintä, jotka pysyvät ilmassa yli 8 minuutin ajan (Stadnytskyi et al., 2020).
- **Supertartuttajilla virusmäärä/hiukkanen voi olla jopa 1000x suurempi, jolloin infektioriski kasvaa merkittävästi!!**



Kuva 1: Wellsin käyrä pisaroiden haihtumis- ja putoamisnopeudesta, RH=50%. Y-akseli kuvaa kuivumis- ja putoamisaikaa maahan. X-akseli kuvaa pisarakokoa. (Chaudhuri 2020)

Chaudhuri 2020: https://doi.org/10.1063/5.0034032
Wölfel 2020: https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x
Stadnytskyi 2020: https://doi.org/10.1073/pnas.2006874117

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Viruksen mittaaminen ilmasta

Tavoitteena selvittää:

1) Virusten määrää pisaroissa- ja aerosoleissa
2) Viruksen aerosolileviämistä ja elinkykyä ilmassa
3) Infektioon vaadittava virusaerosoli-/pisara-annos

RNA mittaus

- SARS-CoV-2 viruksen RNA:ta saatu kerättyä useista ilmanäytteistä potilashuoneissa, esim. poistoilmasuodatin, erilaiset keräysalustat ja keräimet (mm. Liu et al., 2020).
- RNA pitoisuus ei tarkoita sitä, että virus olisi infektiokykyinen.

Elinkykyisen (infektiokykyinen) viruksen mittaus

- Elinkykyisiä viruksia on saatu kerättyä ilmanäytteistä COVID-19 potilaiden lähettyviltä yli 2 metrin päästä (Lednicky et al., 2020).
- Laboratorio-olosuhteissa SARS-CoV-2 viruksia sisältävät ilmassa leijuvat pisarat ovat säilyneet elinkykyisenä jopa 3 tuntia ja keskimääräinen elinkyvyn puoliintumisaika oli noin 1 tunti (Van Doremalen et al., 2020).
- Viruksen elinkyvyn mittaaminen ilmasta sisältää useita vaiheita ja onnistumiseen vaikuttaa koko ketju:
    1) Aerosolihiukkasten kerääminen, eli näytteenotto
    2) Aerosolinäytteen säilytys ja valmistus analyysiä varten
    3) Näytteen analysointimenetelmä ja laitteisto

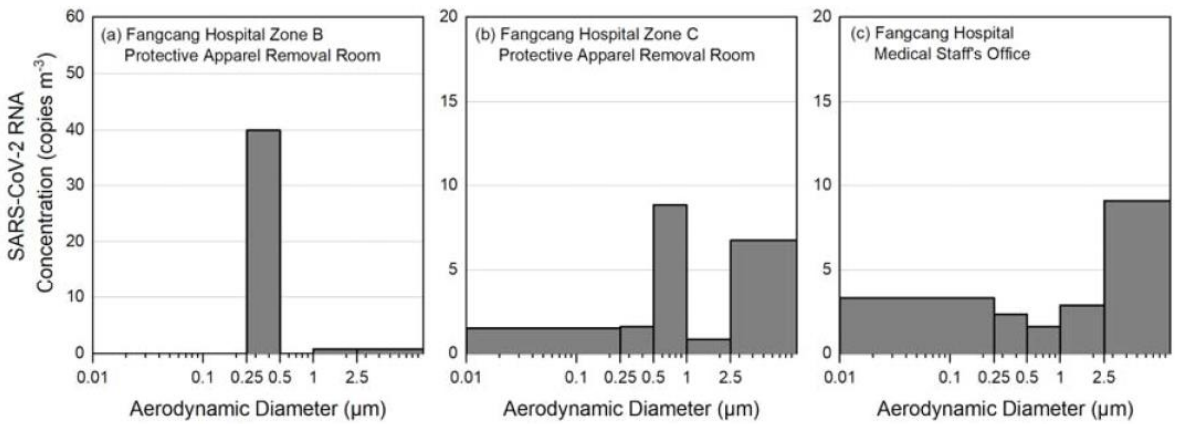
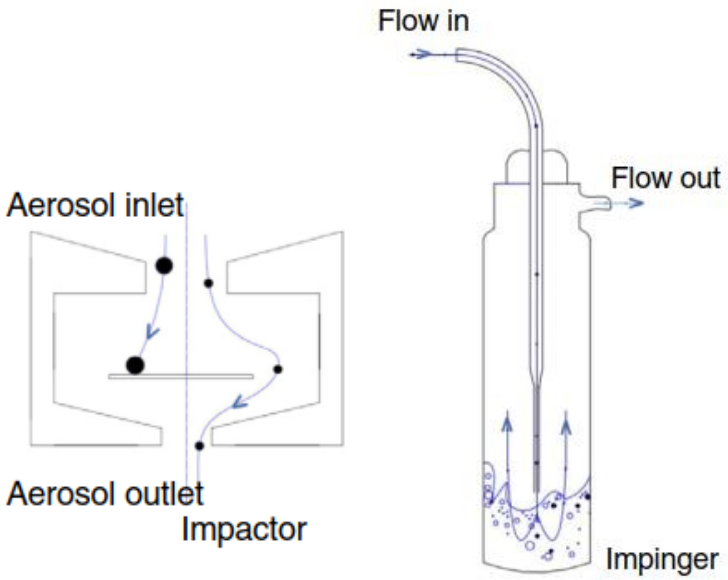


Figure 1 Concentration of airborne SARS-CoV-2 RNA in different aerosol size bins
Liu et al, 2020: https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3



Aerosol samplers
Pan et al, 2019: https://doi.org/10.1111/jam.14278

#2 Käytöskoodi turvallisuudelle

Älykkäällä ympäristöllä vastuulliseen ja turvalliseen käyttäjäkokemukseen

Kohti tilatyyppien rajojen hälvenemistä

1. Digitalisaatio on ottanut 10 vuoden loikan yhdessä vuodessa.
2. Tämä on vaikuttanut merkittävästi työntekemisen tapoihin ja tilatarpeisiin sekä toimitila- että asuntosektorilla.
3. Kiinteistöliiketoiminta on nyt voimakkaassa muutoksessa, joka tulee olemaan monelta osittain pysyvää.

https://www.senaatti.fi/app/uploads/2020/12/Koronakriisin-vaikutukset-kiinteist%C3%B6-ja-rakennusalaan.pdf

Epidemiat ovat aina muuttaneet rakennettua ympäristöä

Kolera toi meille pitkät avenuet

Tuberkuloosi toi meille taiteltavat lepotuolit…..

Epidemiological Disease	Built Environment (Infrastructure, Buildings, Urban Areas, Green Spaces)
Infectious diseases in the Roman Empire (second century)	Infrastructure: Aqueducts, public baths, division of water and sanitation systems.
Black Death (fourteenth century)	Urban planning begins to create more space between buildings—Elimination of dirty and cramped neighbourhoods. Larger public spaces with more organised layouts.
Cholera (nineteenth century)	Green areas: Parks in the middle of cities. Urban design: Long avenues and open spaces (e.g., Paris). Sanitation: Creation of infrastructure with improved sewage systems.
Tuberculosis (nineteenth century)	Building design: Terraces, balconies and flat roofs. Modern urban design. Building design: revolvin summer houses. Furniture: reclining chairs.
Spanish Flu (twentieth century, 1918–1919)	
SARS-CoV-1 (twenty-first century, 2003–2004	Local building design: Improved ventilation and drainage systems in specific areas of Asia (e.g., Hong Kong).

Pinheiro and Nuno (2020) COVID-19 Could Leverage a Sustainable Built Environment, Sustainability 2020, 12, 5863; doi:10.3390/su12145863

https://www.hs.fi/visio/art-2000007863738.html

Koronaepidemia voi panna valtion virastojen tilasuunnitelmat uusiksi – monitilatoimistojen rakentamisesta ei silti aiota luopua

Valtion tilankäyttöä ohjaavan toimitilastrategian päivittämisen on mä käynnistyä syksyllä.

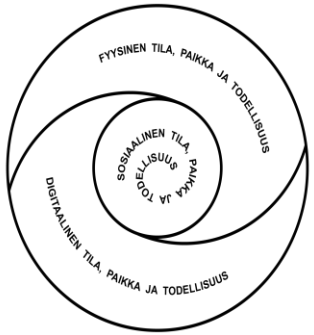
Jokiniemi, Vantaa 20.6.2020

https://yle.fi/uutiset/3-11394096

Pandemiatietoiset työympäristö-skenaariot

Skenaario 3
Monipaikkaisen työn solmukohdat

Skenaario 4
Uudenlaiset työympäristöt



Skenaario 1
Tuunataan turvalliseksi
.

Skenaario 2
Väljyys on viisautta

Sanni Aalto, Suvi Nenonen, Jukka Puhto ja Piia Sormunen
Neljä skenaariota pandemiatietoisesta työympäristöstä. Mervi Ahola ja Anna Merikari (toim) Sisäilmayhdistys raportti 39 SISÄILMASTOSEMINAARI 2021. Sisäilmayhdistys ry SIY Sisäilmatieto Oy ISSN 1237-1866 ISBN 978-952-5236-52-1 Painopaikka Grano Oy, Vaasa. Sivut 69-74

Arvioi alla olevien tilankäyttöön liittyvien ratkaisujen suosiota pandemian jälkeen

	SUOSIO EI KASVA	SUOSIO KASVAA VÄHÄN	SUOSIO KASVAA JONKUN VERRAN	SUOSIO KASVAA PALJON	EN OSAA SANOA	YHTEENSÄ
Uudet kiinteät ratkaisut tukemaan hygieenistä käyttäytymistä, kuten esimerkiksi käsienpesu-/desinfiointimahdollisuus ulko-oven viereen.	0.00% 0	23.53% 4	41.18% 7	29.41% 5	5.88% 1	17
Ilmanvaihdon tehostaminen tilan käytön perusteella.	5.88% 1	29.41% 5	35.29% 6	17.65% 3	11.76% 2	17
Perinteisten tilanjakoratkaisujen kuten henkilökohtaisten huoneiden käyttäminen.	52.94% 9	11.76% 2	23.53% 4	11.76% 2	0.00% 0	17
Läpinäkyvyyteen perustuvat tilanjakoratkaisut, kuten lasiseinin jaetut henkilökohtaiset työpisteet.	47.06% 8	29.41% 5	23.53% 4	0.00% 0	0.00% 0	17
Hygieeniset materiaalivalinnat. Esimerkiksi antimikrobiset tai pesemistä kestävät pintamateriaalit.	6.25% 1	12.50% 2	43.75% 7	37.50% 6	0.00% 0	16

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Pandemian jälkeinen työympäristöstrategia

Työtyylien analyysi

Työympäristötarjontaa määrittää koti osana paikkojen verkostoa

Työ-ympäristö-strategia

Ensisijaista on toimiston laatu ja puitteet – sitten vasta määrä

Digitaalinen ja analoginen työympäristö

=

Digitaaliset kanavat

- Yhteistyöalustat
- Digitaaliset sovellukset
- Jaettu data ja dokumentit, pilvet
- Digitaaliset kokousjärjestelmät
- Pikaviestimet ja puhelin

+

Analogiset kanavat

- Toimistossa työskentely
- Kotoa käsin työskentely
- Lähitoimistossa työskentely
- Jaetuissa tiloissa työskentely
- Liikennevälineissä työskentely

=

Hybridi-ratkaisut palveluineen

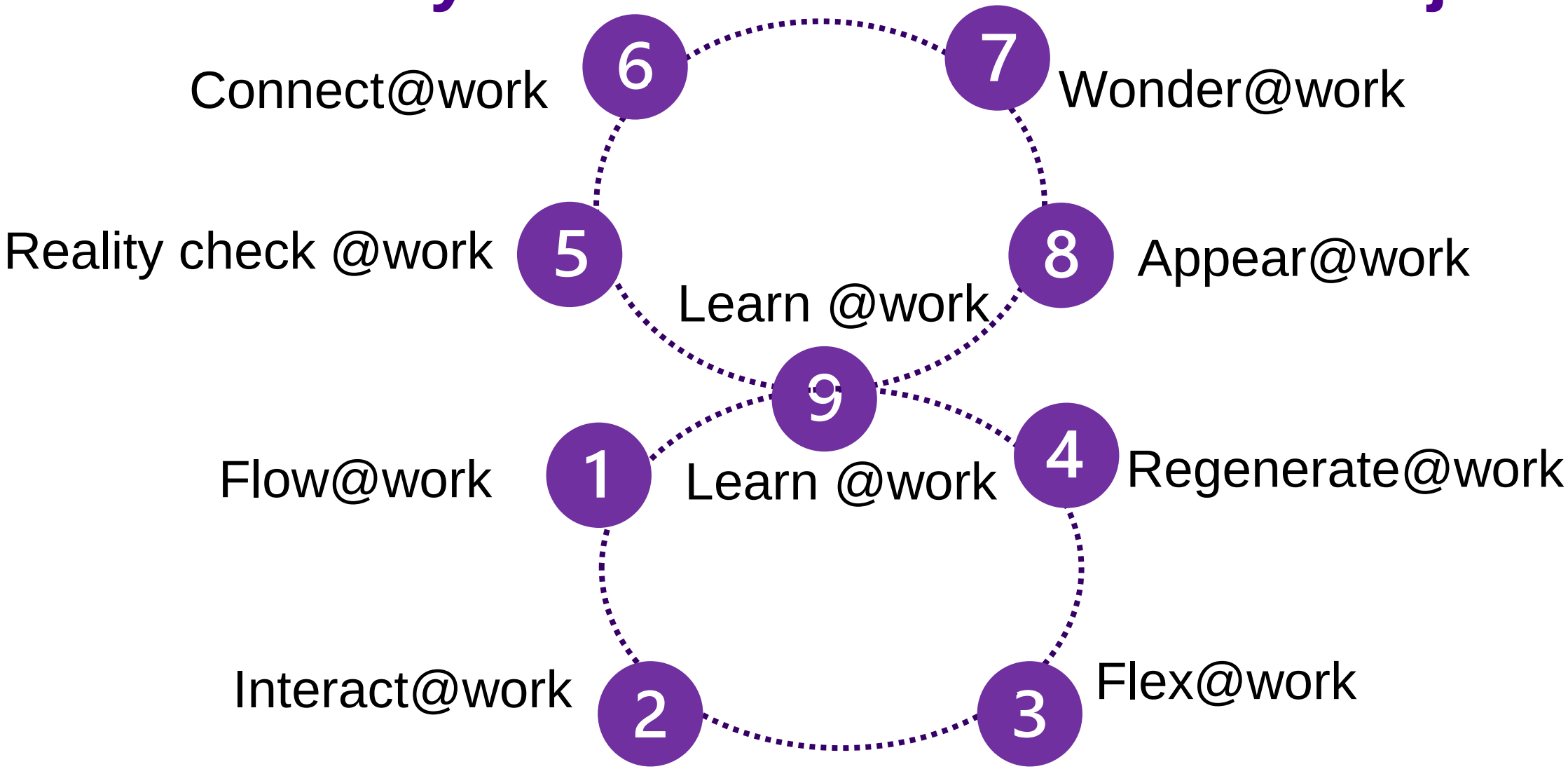
Käytön ja arjen helppoutta tukevat palvelut

Käyttäjä-kokemus

Tuottavuus
Tehokkuus
Tyytyväisyys

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

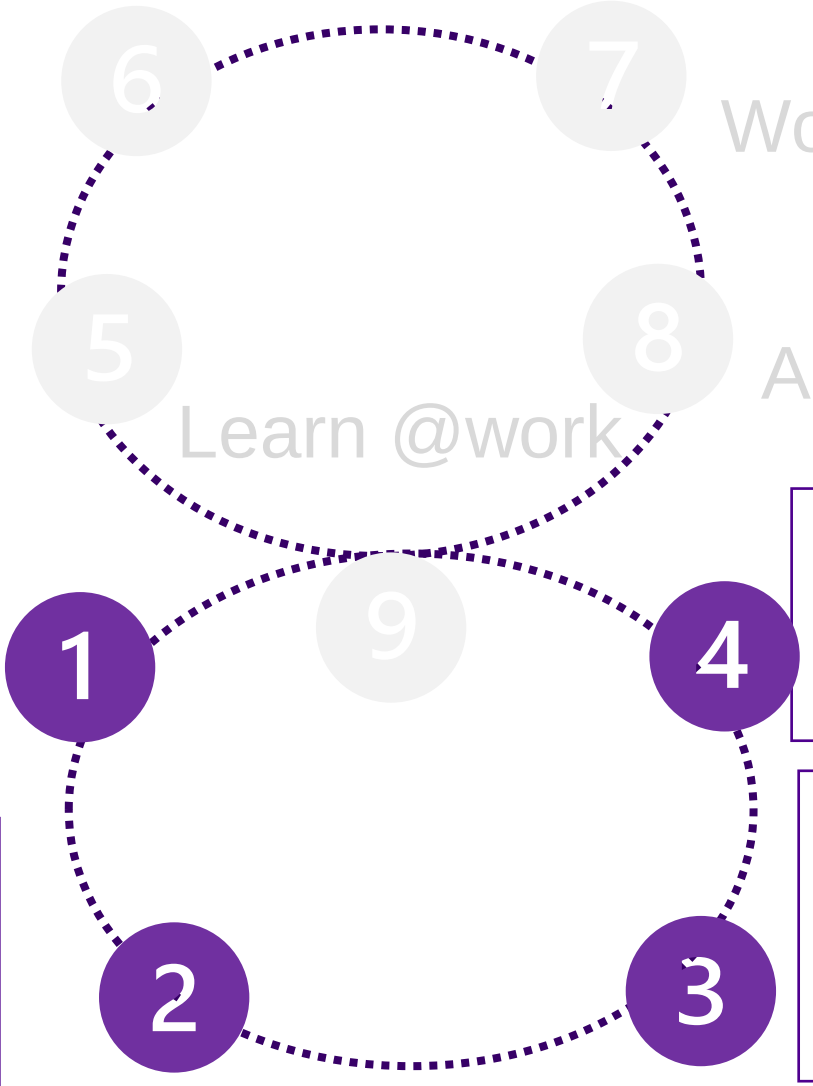
Resilienssi työn todellisuus – 9 laatutekijää



Nenonen, S. (2021) Framework for resilient work environment

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Resilienssi työn todellisuus – fyysinen painotus



Flow@work
Turvallisuuden kokemus
Älykkäät palvelut
Vuorovaikutteisuus ihmisen ja rakennuksen väillä

Interact@work
Sujuvuus ihmisvirroissa
Esteettömyys tietovirroissa
Turvallisuus käyttäjämatkoissa tiloihin ja tilassa

Flex@work
Joustavuus toiminnassa
Yhteensopivilla järjestelmillä
Monikäyttöisillä tiloilla

Regenerate@work
Energisoivat ihmiskohtaamiset
Kestävää kehitystä vahvistaen
Vastuullisuuteen virittävässä ympäristössä

Nenonen, S. (2021) Framework for resilient work environment

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Turvallisuuden kokemus kutoutuu psykososiaalisesta ja fyysisestä todellisuudesta

Kuinka paljon ihmisiä on yhdessä?

Turvallisuus käyttäjämatkoissa tiloihin ja tilassa

Mikä on ilmanvaihdon toimivuus/tehokkuus?

Vuorovaikutteisuus ihmisen ja rakennuksen väillä

Kuinka suuri ja avara tila on?

Monikäyttöisillä tiloilla

Kuinka läheisessä kontaktissa henkilöt ovat?

Vastuullisuuteen virittävässä ympäristössä

Mitä aktiviteetteja harrastetaan (kuinka tehokkaasti hengitystie-eritteet leviävät pisaroina/aerosoleina) ja kuinka paljon pärskitään?

MINÄ yksilön itsensä suojautuminen (riittävät etäisyydet, maskit, käsihygienia) ja MUUT tilassa olevien muiden henkilöiden alttius sairastua (ikä, riskitekijät, rokotukset).
Vastuullisuus

Muutos on mahdollisuus

Liiketoimintakentän perinteisen liiketoimintalogiikan muutos mahdollistaa myös uudenlaiseen arvonluontiin perustuvan liiketoiminnan kiinteistöalalla.

https://www.alamy.com/text-sign-showing-date-of-birth-conceptual-photo-day-when-someone-is-born-new-baby-coming-pregnant-lady-keyboard-key-intention-to-create-computer-mes-image240124789.html

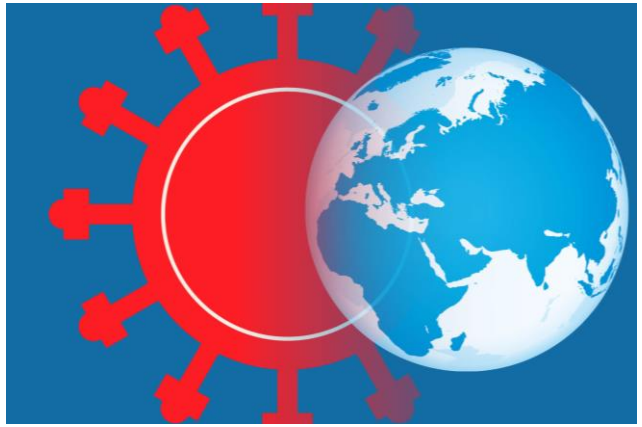
#3 Sisäilmastonmuutos:

Lupa hengittää!

ENNEN PANDEMIAA –
Rakennus voi sairastuttaa tilojen käyttäjän vakavasti

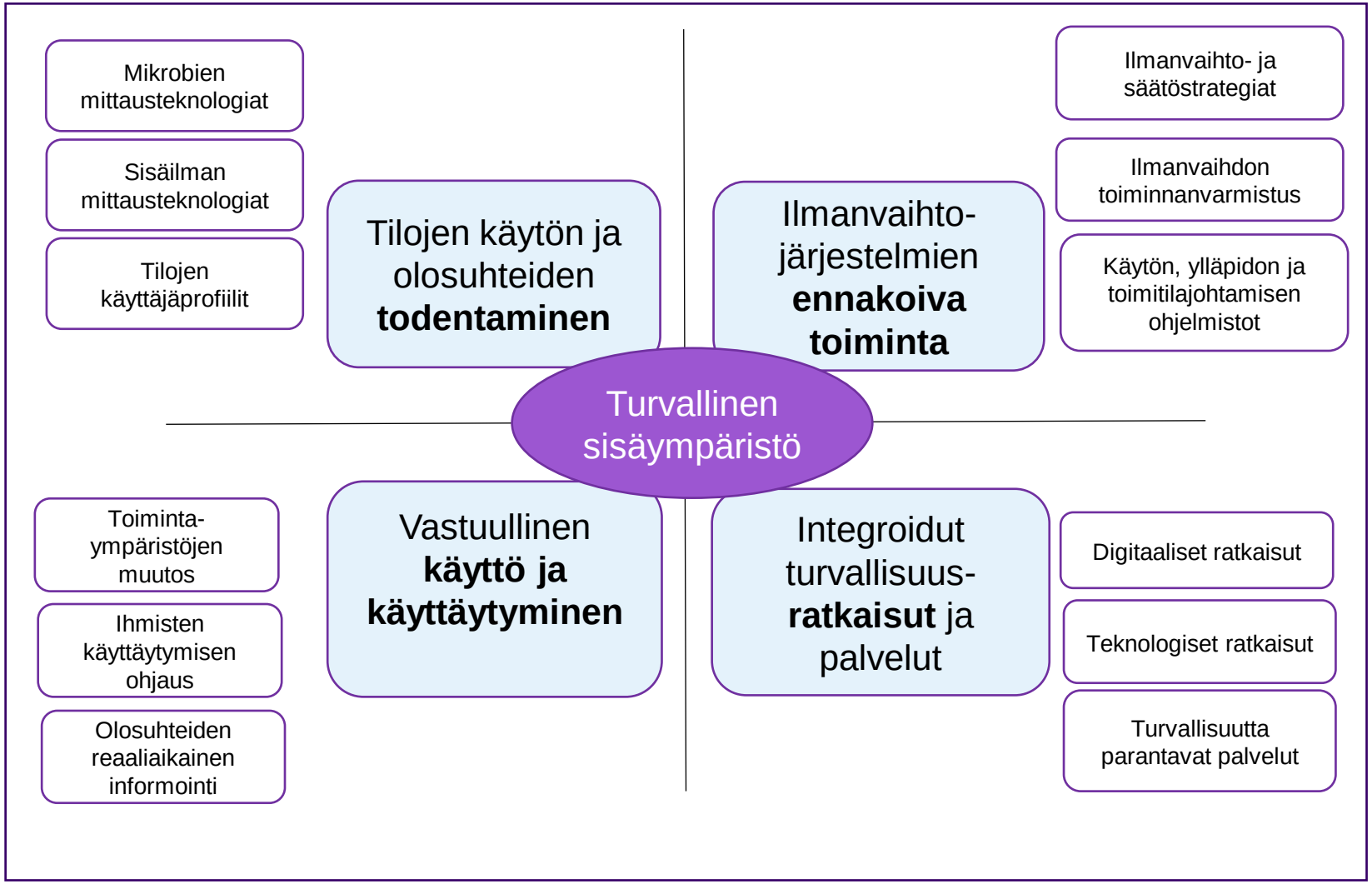
https://healthybuildingscience.com/2013/07/04/sick-building/

NYT –
Toinen ihminen voi sairastuttaa tilojen käyttäjän vakavasti



https://www.ft.com/aftermath

Miten luodaan turvallinen käyttäjäkokemus?



Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Sisäilmanmuutoksen monialainen ymmärtäminen

Mikrobien tartunta ja leviäminen

Teknologia ja digitaalisuus

Turvallinen käyttäjäkokemus

Teknologia ja digitaalisuus

Älykäs ja reagoiva rakennus

Mikrobien mittausteknologiat

Sisäilman mittausteknologiat

Tilojen käyttäjäprofiilit

Tilojen käytön ja olosuhteiden **todentaminen**

Ilmanvaihto- ja säätöstrategiat

Ilmanvaihdon toiminnanvarmistus

Käytön, ylläpidon ja toimitilajohtamisen ohjelmistot

Ilmanvaihto-järjestelmien **ennakoiva toiminta**

Turvallinen sisäympäristö

Toiminta-ympäristöjen muutos

Ihmisten käyttäytymisen ohjaus

Olosuhteiden reaaliaikainen informointi

Vastuullinen **käyttö ja käyttäytyminen**

Integroidut turvallisuus-**ratkaisut** ja palvelut

Digitaaliset ratkaisut

Teknologiset ratkaisut

Turvallisuutta parantavat palvelut

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Kehityspolut sisäilmaston muutoksessa

Mikrobien tartunta ja leviäminen

Teknologia ja digitaalisuus ⟷ Turvallinen käyttäjäkokemus ⟷ **Teknologia ja digitaalisuus**

Älykäs ja reagoiva rakennus

- Ennaltaehkäisy
- Viruserittyminen ja päästöt ihmisestä
- Pisara- ja aerosolien dynamiikka
- Elinkyky ilmassa ja pinnoilla
- Infektiomekanismit
- Ympäristön vaikutus
- Muuntuminen ja sopeutuminen

Turvallinen sisäympäristö

Tilojen käytön ja olosuhteiden **todentaminen**

- Mikrobien mittausteknologiat
- Sisäilman mittausteknologiat
- Tilojen käyttäjäprofiilit

Ilmanvaihto-järjestelmien **ennakoiva toiminta**

- Ilmanvaihto- ja säätöstrategiat
- Ilmanvaihdon toiminnanvarmistus
- Käytön, ylläpidon ja toimitilajohtamisen ohjelmistot

Vastuullinen **käyttö ja käyttäytyminen**

- Toiminta-ympäristöjen muutos
- Ihmisten käyttäytymisen ohjaus
- Olosuhteiden reaaliaikainen informointi

Integroidut turvallisuus-**ratkaisut** ja palvelut

- Digitaaliset ratkaisut
- Teknologiset ratkaisut
- Turvallisuutta parantavat palvelut

- Integroi hajautetut järjestelmät hyödyntäen IoT:tä ja tekoälyä
- Ennakoi, reagoi ja takaa ihmisten turvallisuuden
- Havaitsee patogeenit ja tukee valittuja vastatoimia
- Viestii käyttäjien kanssa ja opastaa tartuntariskin minimointiin
- Varmistaa keskeytyksettömän toiminnan uhkien ja epidemioiden aikana
- Luo turvallisuuden tunteen ilman uhkien jatkuvaa esille tuomista

Ilmanvaihdon rooli tartuntojen ehkäisyssä

Ilmanvaihdon tunnuslukuja

	IV-kerroin 1/h	Ulkoilmamäärä l/s, hlö
WHO:n ohjeistus	**6**	**10**
Skagit Valley –kuoroharjoitus	0,7	2,5
Guangzhou-ravintola (Kiina)	<1	1
Jeonjun-ravintola (Korea)	-	-
SUOMI-VERTAILU, asetukset uusille rakennuksille		
Koulut, päiväkodit	5	6 (väh)
Ravintolat	12	6 (väh)
Kodit, rappukäytävät	0,5	Ei määritelty

WHO, 2021: https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280
Miller, 2020: https://doi.org/10.1111/ina.12751
REHVA, 2020: REHVA Covid19 Guidance version 4.0
Kwon, 2020: https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e415
FINVAC, 2020: https://finvac.org/iv-oppaat/
Lewis, 2021: https://www.nature.com/articles/d41586-021-00460-x

Ilmanvaihto laimentaa viruspitoisuutta ilmassa

- Viime aikoina tutkimuksissa on korostunut aerosolitartuntojen oletettua merkittävämpi osuus Covid-19 tartuntareiteissä.
- Useiden maailmalla tunnettujen tartuntaryppäiden yhteinen tekijä on riittämätön ilmanvaihto, n. 1-2 l/s,hlö.
  - Suomen tartuntaryppäistä kaivataan vastaavaa tarkastelua
- Tartunta voi tapahtua eri aikaan tilassa oleskelevien välillä.
- Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettujen tilojen ilmanvaihtuvuutta on haastava varmentaa.
  - Sisäilman turvallisuutta voidaan tällöin parantaa täydentämällä tuuletusta esim. oikein valituilla, mitoitetuilla ja sijoitetuilla ilmanpuhdistimilla.
  - Esimerkiksi paristokäyttöisiä CO_2-mittareita voi sijoittaa tiloihin ilmaisemaan käyttäjille tuuletuksen ja/tai tauon tarpeesta.
- **Sisällä oleskelun tartuntaturvallisuudelle on keskeistä tilan koko ja ilmatilavuus, avaruus.**

Ilmanvaihdon rooli tartuntojen ehkäisyssä

Poimintoja arkeen

Jäähallien **luistelualueella** voi olla kohonnut tartuntariski, mikäli lämpötilaerot ja pleksilasit estävät ilman tehokkaan vaihtumisen.

Lähde: https://publichealth.yale.edu/research_practice/interdepartmental/covid/schools/sports/

Kuva: https://fi.wikipedia.org/wiki/Tampereen_jäähalli

Pienen iv-kertoimen vuoksi kannattaa välttää:

- useissa rakennuksissa **käytävillä** oleskelua ja ovien auki pitämistä oleskelutilojen ja käytävien välillä
- pidempiä oleskeluja esim. **taloyhtiöiden yleisissä tiloissa**

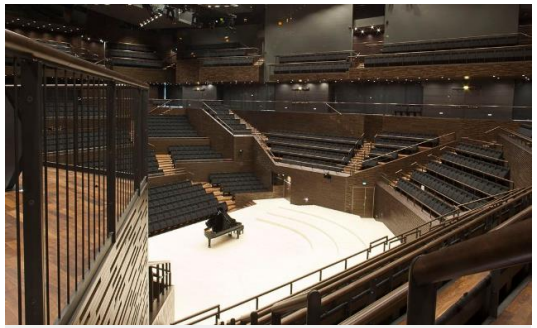
Lähteet: https://yle.fi/uutiset/3-11719146, https://www.bbc.com/news/world-australia-55929180

Kuva: https://fi.pinterest.com/

Mikäli ilmanvaihto ei pääse esteettömästi laimentamaan tilan viruspitoisuutta tasaisesti koko tilassa, voi **pleksilasien** väliin kertyä tartuntariskivyöhykkeitä.

Lähde: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753520302630

Kuva: https://lasiliike.fi/tuotteet/akryylit-ja-polykarbonaatit/



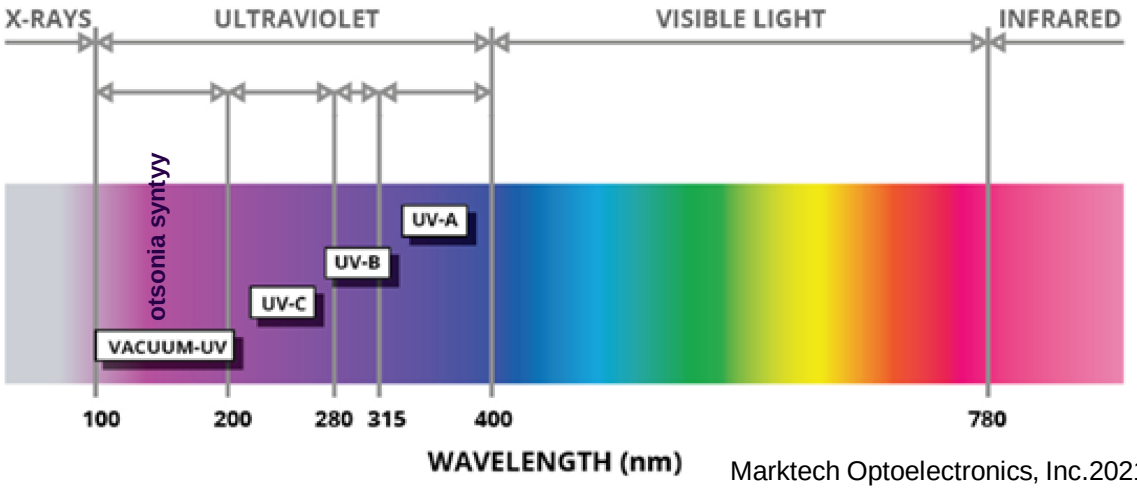
Nykyaikaisia **kulttuuritiloja** voinee käyttää ns. salmiakkiruututäytöllä tartuntaturvallisesti maskien kanssa. Koska jokainen tila on uniikki, voi ilmavirtaukset varmistaa esim. mallintaen.

Lähteet: https://www.hhi.fraunhofer.de/en/press-media/news/2020/corona-infection-probability-fraunhofer-hhi-conducts-initial-aerosol-and-co2-measurements-in-concert-hall.html, https://www.reuters.com/article/health-coronavirus-france-3d-idINKBN2A32DY

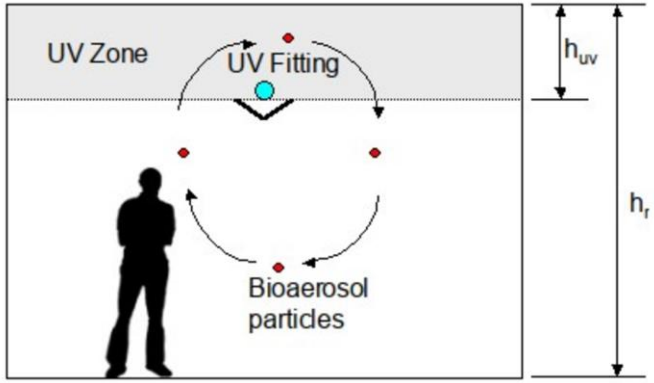
Kuva: https://musiikkitalo.kuvat.fi/kuvat/

Optisen säteilyn hyödyntäminen virustartuntariskin pienentämisessä

- UVC-säteilyä voidaan hyödyntää sekä pintojen että ilman virustartuntariskin pienentämisessä => turvallisuus huomioitava
- Mallinnustutkimusten perusteella näyttää siltä, että UVC-säteilykaistoilla saadaan tehokkaasti pienennettyä SARS-CoV-2-viruksen tartuntariskiä (inaktivoituvuus > 90 %) jopa tiloissa, joissa ilmanvaihtuvuus on 8 x huonetilavuus tunnissa.
- Kauko-UVC-ratkaisut (200 - 230 nm) saattavat mahdollistaa tehokkaan menetelmän virusten inaktivointiin pinnoilta ja ilmasta vaarantamatta tilan käyttäjien terveyttä => materiaalien kestävyys?
- Näkyvää valoa voidaan hyödyntää valokatalyyttisten, itsedesinfioituvien pintojen aktivoinnissa. Viimeinen tutkimus viittaa myös siihen, että sininen valo itsessään tuhoaa SARS-CoV-2 virusta.



Marktech Optoelectronics, Inc.2021.

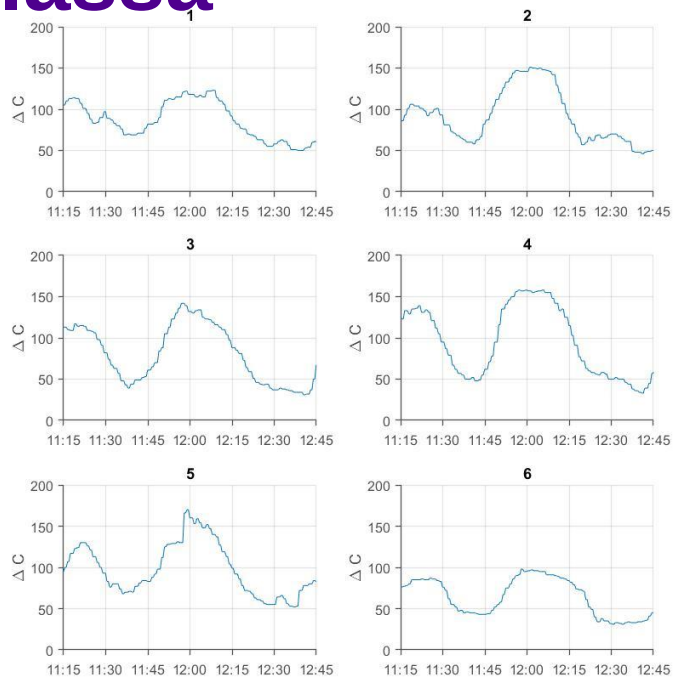


Beggs, C & Avital, E. 2020.

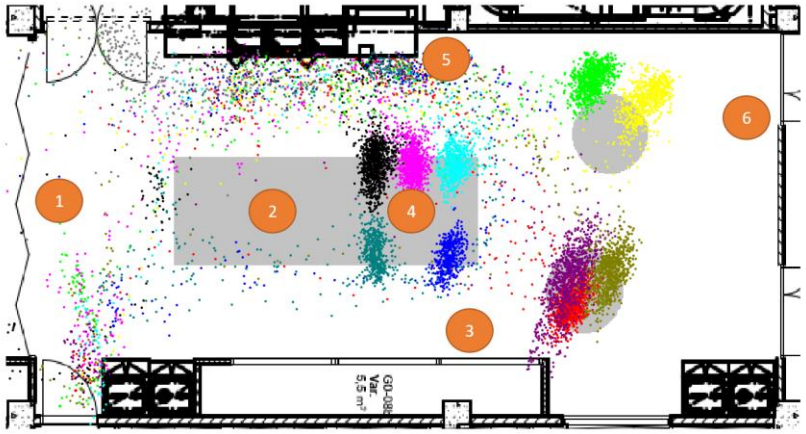
Sterlights, 2021

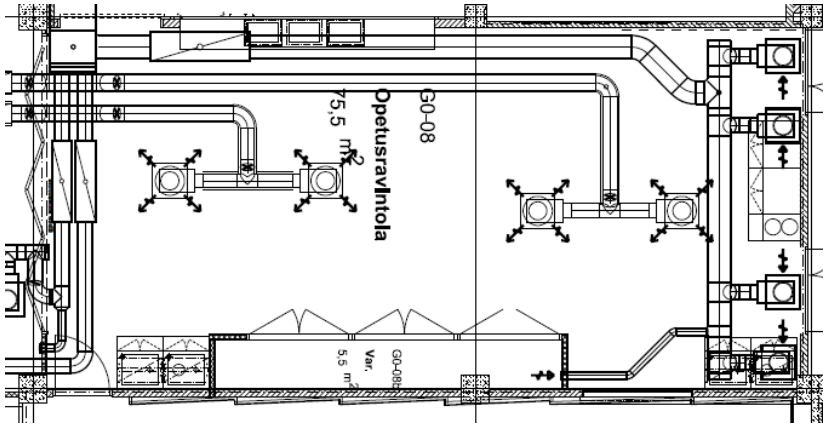
Tilakohtaiset ilmavirrat sekä ilman liike tilassa

- Riittävillä tilakohtaisilla tuloilmavirroilla ja hallitulla ilmanjaolla saavutaan oleskeluvyöhykkeelle mahdollimman lyhyt ilmanikä
  - Riittävällä ilmanvaihtumisella turvataan tilan ilman puhtaus
- Ilmanjaon tulisi toimia siten, että puhdas tuloilma huuhtelee oleskeluhyöhykkeen kaikissa tilanteissa
  - Ilmamääräsäätöisissä järjestelmissä tulee kiinnittää huomiota minimi-ilmavirta tilanteisiin
  - Tuloilman lämpötila on myös huomioitava asia
- Ilman liike vaikuttaa Sars-Cov-2 viruksen leviämiseen tilassa
  - Huonon ilmanjaon tai paikallisen kiertoilmalaiteen tarpeettomilla ilmavirtauksilla voidaan saada aikaa tilan sisäistä tarttumisriskiä



Kuva 1. Tilan CO2 pitoisuuden muutos eri mittauspisteissä





Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Sisäilman olosuhteiden seuranta kiinteistöjohtamisen työkaluilla

Hiilidioksidipitoisuus indikoi tilojen ilmanvaihdon toimintaa suhteessa sen käyttöön.

Selvityksen toteutus

Selvityksessä tarkasteltiin kiinteistöjohtamisen työkalusta (Granlund Manager) saatuja eri tilojen hiilidioksidipitoisuuksia (437 tilaa). Mittausajankohta oli helmikuu 2019 ja mittausdatan intervalli oli 5-15 min. Hiilidioksidipitoisuuksien pysyvyydet laskettiin eri rakennustyyppien käyttöajoille, jotka on esitetty taulukossa 1. Hiilidioksidipitoisuuksien tarkastelurajoina pidettiin 800 ppm ja 1000 ppm.

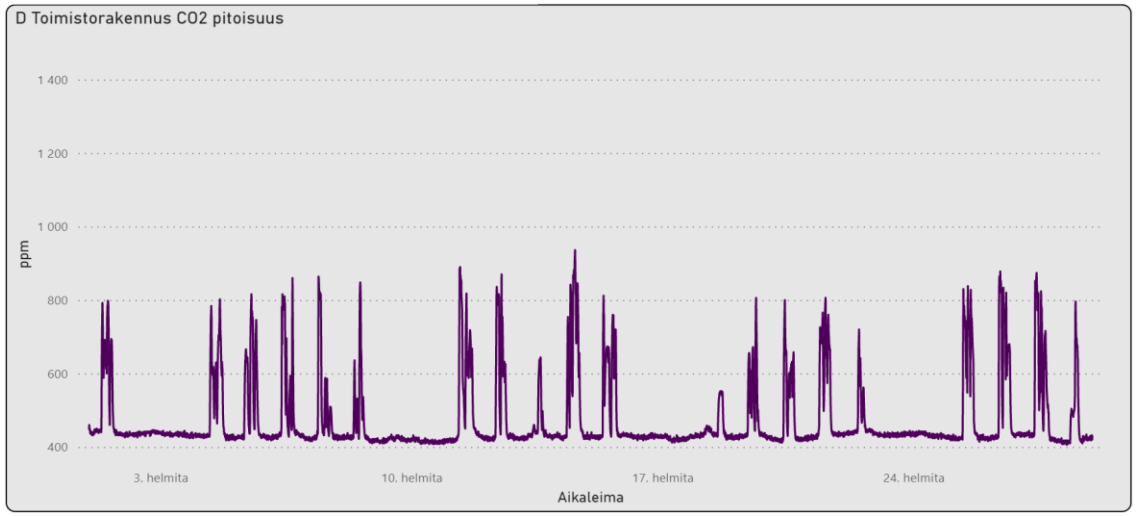
Hiilidioksidipitoisuuksien pysyvyyksien lisäksi tarkasteltiin yksittäisiä tilojen pitoisuuksia. Kuvassa 1 on esitetty yksittäisen toimistotilan hiilidioksidipitoisuudet mittausjakson aikana.

Tulokset

- Sisäilman CO2 pitoisuudet ovat erinomaisella tasolla, kun tarkastellaan koko mittausajanjaksoa ja kaikkia tilojen hiilidioksidipitoisuuksien pysyvyyttä. Tarkastelluissa rakennuksissa on käytössä kiinteistöjohtamisen ohjelmisto, joka mahdollistaa olosuhteiden seurannan ja epäkohtiin puuttumisen. Tämä näkyy myös tuloksissa.
- **Tartuntariskin tarkastelu vaatii tilakohtaisen tarkastelun** (kuva 1), jotta voidaan varmentua, että ilmanvaihto on riittävä suhteessa tilan käyttöön.
- Sisäilman olosuhteiden mittaus ja raja-arvojen ylitysten hälytykset ovat erittäin tärkeässä roolissa, kun tarkastellaan tilojen ilmanvaihdon toimintaa suhteessa sen käyttöön.

Taulukko 1. CO2 pitoisuuksien pysyvyydet

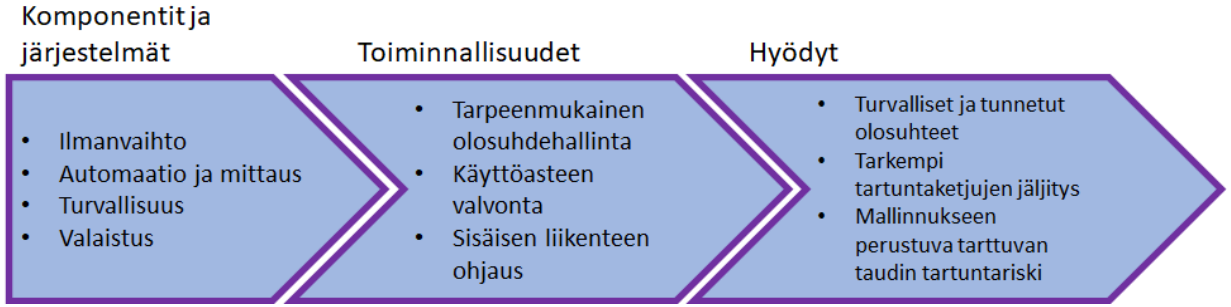
Rakennustyyppi	Tarkastelu-ajankohta Helmikuu 2019	Tilojen lukumäärä kpl	Hiilidioksidipitoisuuksien pysyvyys tarkasteluajasta	
			< 800 ppm	< 1 000 ppm
Toimisto, sarja A	ma-pe 08-18	67	98,1 %	99,4 %
Toimisto, sarja D	ma-pe 08-18	88	99,1 %	100 %
Kauppakeskus, sarja B	ma-pe 6-22 la 9-18 su 12-18	44	99,8 %	100 %
Kauppakeskus, sarja C	ma-pe 6-22 la 9-18 su 12-18	7	93,1%	100 %
Opetus, sarja F	ma-pe klo 8-22	231	96,0 %	98,8 %



Kuva 1. Yksittäisen toimistotilan CO2 pitoisuudet

Älykäs rakennus

- Taloteknisestä näkökulmasta tarkasteltuna rakennus koostuu komponenttitasolla erilaisista järjestelmistä, kuten lämmitys-, ilmanvaihto-, valaistus-, automaatio- ja turvallisuusjärjestelmistä ja niihin liittyvistä komponenteista.
  - Nykyteknologia tarjoaa mahdollisuuden näiden eri järjestelmien väliseen integrointiin ja suurten datamäärien keräämiseen
- Älyrakennusta määriteltäessä ei riitä kuitenkaan vain komponenttitason tarkastelu, vaan pitää tarkastella myös minkälaisiin tehtäviin älyrakennus kykenee näitä komponentteja käyttämällä.



- Olosuhteiden mukavuuden ja energiatehokkuuden maksimoinnin lisäksi älyrakennuksen uusi haaste on tarttuvien tautien leviämisen minimoiminen
  - Tulevaisuuden älyrakennukset ja eri järjestelmien välinen integraatio tarjoavat tähän entistä enemmän mahdollisuuksia
- Tutkimuskysymyksiä
  - Millaisilla taloteknisillä toiminnallisuuksilla voidaan vaikuttaa tehokkaasti tarttuvien tautien leviämiseen?
  - Minkälaisia komponentteja ja järjestelmiä rakennuksessa tulee olla, jotta kyseiset toiminnallisuudet voidaan toteuttaa?
  - Miten dataa tulisi jalostaa ja missä muodossa esittää tilan käyttäjille sekä mitä eettisiä haasteita muodostuu lisääntyvän ja henkilökohtaisemman datan keruusta?

Tampereen yliopisto
Tampereen ammattikorkeakoulu

ENNEN PANDEMIAA –
Rakennus voi sairastuttaa tilojen käyttäjän vakavasti

NYT –
Toinen ihminen voi sairastuttaa tilojen käyttäjän vakavasti

PANDEMIAN JÄLKEEN-
Ennakoivat ja reagoivat älykkäät rakennukset takaavat turvallisen käyttäjäkokemuksen

E3 hankkeen valmistelun tilanne, *E3 koordinaattori*

Jari Erkkilä, Tamlink

KIITOS!