



Call for Reviews 2

Ali Harlin, Satu Salo, Ilpo Kulmala,  
Taina Kamppuri & Eetta Saarimäki  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

# **Kriittinen arvio joistakin mikrobikontaminaation poisto- ja inaktivointimenetelmistä kasvomaskuille**

Smartagile Oy  
Espoo 2020

Kirjoittajat:

TkT Ali Harlin, Research Professor

<https://orcid.org/0000-0002-9226-5991>

<https://isni.org/isni/0000000481145200>

Satu Salo, Senior Scientist

Ilpo Kulmala, Principal Scientist

<https://orcid.org/0000-0001-6923-8197>

<https://isni.org/isni/0000000139288142>

Taina Kamppuri, Senior Scientist

Eetta Saarimäki, Senior Scientist

Kirjoittajien taustayhteisö:

[Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT](#)

Rahoittajat:

Työ- ja elinkeinoministeriö on myöntänyt COVID-19 erityisrahoituksen tälle tutkimukselle.

Rahoittajatunniste: <http://dx.doi.org/10.13039/501100001838>

Julkaisun vertaisarvioinnista kiinnostuneita pyydetään ottamaan yhteyttä sarjan toimitusneuvostoon, [mikket\(at\)utu.fi](mailto:mikket(at)utu.fi).

Avainsanat YSO: [bakteerit](#) ; [COVID-19](#) ; [hengityksensuojaimet](#) ; [kasvosuojaimet](#) ; [kontaminaatio](#) ; [lämpökäsittely](#) ; [mikrobit](#) ; [pesu \(tekstiilihuolto\)](#) ; [puhdistus](#) ; [sterilointi \(puhdistaminen\)](#)

Avainsanat TERO: [hengityssuojaimet](#) ; [mikro-organismit](#)

Avainsanat MESH: [mikrobiologiset menetelmät](#) ; [naamarit](#)

Julkaisu on saatavilla osoitteesta <https://agilepublishing.fi/julkaisut>

Smartagile Oy

Espoo 2020

## Kriittinen arvio joistakin mikrobikontaminaation poisto- ja inaktivointimenetelmistä kasvomaskeille

**Ali Harlin, Satu Salo, Ilpo Kulmala, Taina Kamppuri, Eetta Saarimäki,**

**Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT**

Uudelleen käytettävät kasvomasakit puhdistetaan tyyppillisesti pesemällä. Äskettäisen COVID-kriisin aikana on noussut esiin kysymys siitä, voidaanko myös kertakäyttöiset hengityssuojaimet puhdistaa. Tämä työ on kriittinen näkemys joistakin matalan teknologian menetelmistä ja niiden tehokkuudesta. Viimeisen vaihtoehdon (last resort) mahdollisuuden takia ECDC kannustaa kansallisia kansanterveysviranomaisia ja tällaisia menetelmiä tutkivia ryhmiä kannustetaan jakamaan tulokset heti, kun ne ovat saatavilla.

### Taustaa

Virustartuntataudit ja niihin liittyvät pandemiat ovat maailmanlaajuisen liikkuvuuden vuoksi modernin avoimen yhteiskunnan suurimpia turvallisuusriskejä. Tyyppilliset epidemiat toistavat itsensä syklisellä, mutta arvaamattomalla tavalla, alkuvaiheessa eksponentiaalisesti. Tällaisten kriisien onnistuminen riippuu turvallisten, hyväksyttävien ja korkealaatuisten suojarusteiden saatavuudesta sekä hallituksen valmiudesta vaikuttaa kansalaisten suojakäyttäytymiseen tiukkojen säännösten lisäksi.

Virustartuntataudit ja niihin liittyvät pandemiat ovat yksi nykyaikaisen avoimen yhteiskunnan merkittävimmistä turvallisuusriskeistä. [1, 2] Yleisin ihmisten sairaus on flunssa, joka on virusten aiheuttama ylähengitystieinfektio. Hengitysteiden virukset leviävät ihmisten keskuudessa pisaroiden, aerosolien ja saastuneiden pintojen kautta. [3] Ilmeisesti pisarat ovat välttämättömiä virusten leviämisessä. [4] Aerosolin siirtymisreitti on korostettu SARS-CoV-2-viruksen tutkimuksessa. [5]

Laaja valikoima maskimateriaaleja ja -konsepteja on testattu, [6] ja niiden tarjoamassa suojaustasossa on suuria eroja. Esimerkiksi 0,03–2,5 µm: n kokoisten hiukkasten suodatustehokkuus on 80–90% kuitukankailla, kun taas kangasnaamareilla tehokkuus on 39–65%. [7] Ammattimaiset N95- ja FFP2-suojalaitteet näyttävät olevan 1,7 [8] ja jopa 33 [9] kertaa tehokkaampia kuin epätyypilliset kangasmaskit. Joistakin heikkouksista huolimatta henkilökohtaiset suojalaitteet näyttävät yhdessä muiden toimenpiteiden kanssa olevan tehokkaita. [10]

COVID-10-pandemian yhteydessä on maailmanlaajuisesti pulaa hengityssuojaimista tai suodattavista kasvopaloista (FFP). Siksi ne olisi asetettava etusijalle etulinjan terveydenhuollon työntekijöille, joilla on suurempi riski saada COVID-19 (Nguyen et al., 2020). Hengityssuojainten puhdistamiseksi on testattu useita erilaisia menetelmiä puutteen vaikutusten lieventämiseksi. [11] Pula on havaittu myös suojanaamioiden hinnannousussa, joka aiheuttaa ongelmia matalapalkkaisille kansalaisille. Kesäkuussa 2020 julkaistiin CEN-työpajasopimus CWA 17553 Yhteisön kasvojen peitteet - Opas vähimmäisvaatimuksista, testausmenetelmistä ja käytöstä

julkaistiin, ja todettiin, että uudelleenkäytettäviksi määriteltyjen yhteisön kasvojen peitteiden on kestettävä tuottajan ilmoittama puhdistusjaksojen määrä (klo vähintään 5 puhdistusjaksoa), pesun minimilämpötila on 60 ° C. Kasvojen peitteiden puhdistamisesta ei kuitenkaan ole vielä julkaistu tutkimuksia.

Lisääntyneen hoitotarpeen aikana lähestymistapoja FFP:n käyttömäärien optimoimiseksi ovat:

- FFP suodattimien varaaminen käytettäväksi riskialttiisiin työtehtäviin;
- Lääkinnällisten kasvomaskien (kirurgiset maskit) harkittu käyttö kun FFP saatavuus on rajallinen
- Tietety toimet, joilla FFP katkeamatonta yhtenäistä käyttöaikaa voidaan jatkaa [12].

Toistaiseksi valmistajilla ei ole ollut mitään syytä tai kannustinta kehittää menetelmiä FFP: n puhdistamiseksi, mutta tällä hetkellä on kiireellistä tarvetta kehittää uudelleenkäytettävät FFP: t, jotka voidaan puhdistaa [13].

### Aiempi tutkimus hengityssuojainten puhdistamisesta

Eri mikrobien, mukaan lukien virukset, hengityssuojainten puhdistamiseksi on käytetty erilaisia tekniikoita. Useat näistä, kuten UV-säteilytys, autoklaavit ja vetyperoksidihöyryn käyttö, ovat mahdollisia ammattikäyttöön, mutta eivät tavallisille ihmisille.

### Höyrysterilointi

Höyrysterilointi on rutiinia sairaaloissa. Hengityslaitteen muodonmuutos tai sen epäonnistunut sovitustesti höyrysteriloinnin jälkeen 134 ° C:ssa raportoitiin Alankomaissa suoritetussa tutkimuksessa käytetyn hengityssuojaimen tyypistä riippuen [14]. Lore et al. julkaisi vuonna 2012 tutkimuksen [15] joka osoitti mikroaaltouunissa kehitetyn höyryn (MGS) tehokkuuden influenssaviruksen viruspartikkelien inaktivoinnissa kahdessa N95-hengityssuojaimen mallissa. Heimbuch et al., vuonna 2010 [16], olivat myös osoittaneet MGS: n tehokkuuden yli neljän kertaluokan verran elinkelpoisen influenssaviruksen vähentämisessä N95-hengityssuojaimissa, ja vain yksi kuudesta testatusta mallista osoitti vaahdon vähäistä erottumista nenätyynyssä. Bergman et al. [17] ilmoitti myös fyysisestä muodonmuutoksesta tietyille N95-malleille, erityisesti sisäisen vaahtomuovisen nenätyynyn erottamisen, mutta säilyttäen riittävän aerosolin tunkeutumisen ja suodattimen ilmavirran kestävyys kolmen jakson jälkeen. Käytettäessä höyrypusseja bakteriofageilla saastuneiden N95-hengityssuojainten desinfiointiin, Fischer et ai. Raportoivat [18] 99,99%: n tehokkuuden epäpuhtauden inaktivoinnissa ja että veden imeytyminen riippui hengityssuojaimen mallista. Höyryllä oli vain vähän vaikutusta suodatustehokkuuteen, joka pysyi yli 95%. Äskettäisessä esipainoksessa, jonka ovat kirjoittaneet Liao et al. [19], osoitettiin, että höyrykäsittely N95-yhteensopivalla sulapuhalletulla kankaalla ei vaikuttanut merkittävästi tehokkuuteen ja painehäviöön kolmen ensimmäisen höyrykäsittelyjakson aikana. Bergman et al. Vuonna 2011 [20] kirjoittajat raportoivat, kuinka kolme MGS-sovellusta eivät aiheuttaneet merkittäviä muutoksia (läpäisyaste  $\geq 90\%$ ) hengityssuojaimessa sovitettuna kolmen tyyppiseen N95-hengityssuojaimen.

## Lämpökäsittely

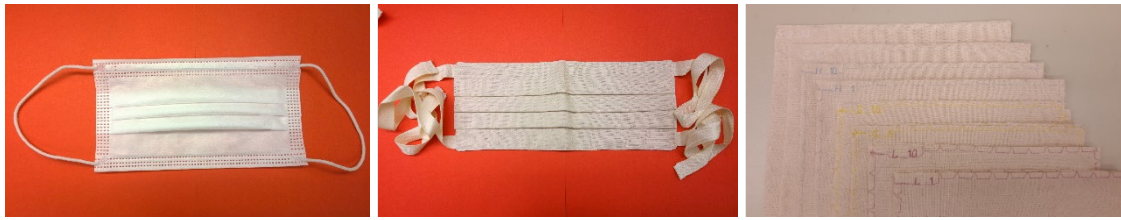
Liao et al. [19] raportoivat, ettei sulapuhallettujen kankaiden (materiaali, josta hengityssuojaimet on rakennettu) suodatusominaisuuksien merkittävää heikkenemistä alkutehokkuudella  $\geq 95\%$ , jopa 20 jaksoa käytettäessä staattisen ilman uunia  $75^\circ\text{C}$ :ssa 30 minuuttia toistoa kohden. Jopa  $100^\circ\text{C}$ :ssa suodatustehokkuudessa ja painehäviössä ei tapahtunut juurikaan muutosta. Tässä julkaisussa kirjoittajat korostavat, että höyry voi vähentää tehokkuutta ja että kosteuden tulisi olla alhainen lähestyttäessä  $100^\circ\text{C}$ . Samanlaiset tulokset saatiin Fisher et al. [21] käyttäen kuivaa lämpöä  $70^\circ\text{C}$ :ssa jopa 60 minuutin ajan kankaalla N95-hengityssuojaimista. He havaitsivat, että suodatusteho ei heikentynyt yhden puhdistamisjakson jälkeen, mutta suodatusteho laski seuraavien puhdistamiskierrosten jälkeen. Kuiva lämpöpuhdistus inaktivoi myös SARS-CoV-2: n nopeammin N95-kankaalla kuin teräksellä. Kirjoittajat korostivat, että kuivaa lämpöä tulisi käyttää riittävän kauan viruskonsentraation vähenemisen varmistamiseksi. Viscusi et al. [22] kertoi, että lämpötilan vaikutus suodattimen aerosolin tunkeutumiseen ja komponenttien sulamiseen on mallikohtainen. He raportoivat sulamisesta joissakin malleissa, kun lämpötilaa sovellettiin yli  $100^\circ\text{C}$ .

Edellä esitettyjä FFP: n puhdistamis- ja uudelleenkäyttömenetelmiä pidetään vain poikkeuksellisen viimeisenä keinona FFP-tarvikkeiden puutteen vuoksi. Niitä tulisi soveltaa tilanteen huolellisen arvioinnin jälkeen ja tutkittuaan mahdollisuuden resurssitietoiseen, järkevään FFP:n käyttöön, esimerkiksi pidentämällä FFP:n elinikää, ja pitäen mielessä FFP:n valmistajien antamat tuotteen käyttöohjeet. Lääketieteellisten kasvonaamioiden tai yhteisönaamojen puhdistuksesta on kuitenkin julkaistu vähän kansallisten viranomaisten määrittelemää käyttöä vastaavaa.

Seuraavassa kokeellisessa työssä testataan joitain mahdollisia matalan tekniikan viimeisen keinon menetelmiä aikomuksetta suositella niitä käytettäväksi normaaleissa olosuhteissa, joissa hengityssuojaimia on saatavilla. Kasvonaamioiden nopeasti nousevan kysynnän vuoksi niiden uudelleenkäyttöä on ymmärrettävä paremmin. Tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät valittiin kotona käytettävissä olevista tekniikoista. Tutkimukseen valittiin kertakäyttöinen kirurginen kasvonaamio ja kotitekoinen kangasnaamari ja tutkittiin seuraavia mikrobien inaktivointi- tai poistomenetelmiä: kiehuminen, konepesu, höyry- ja lämpökäsittelyt, silytys ja pitkä säilytys ilmapölyssä huoneenlämmössä. Keskustelemme näiden menetelmien vaikutuksesta mikrobien poistamisen tehokkuuteen ja suodatustehoon.

## Kokeellinen työ

Testattu lääketieteellinen kasvomaskei oli kaupallisesti saatavissa oleva tyyppi I malli EN 14683 (2019) mukaisesti. Kotitekoinen kangasnaamio ommeltiin kaupallisesta puuvillakankaasta (tavallinen kudus,  $150\text{ g/m}^2$ , lankatiheys: kude 21 lankaa / cm ja loimi 25 lankaa / cm). Kangasnaamion jäljittelemiseksi mikrobien inaktivointi- ja poistomenetelmissä testattiin kaksinkertaiset puuvillakankaat. Suodatuskokeita varten näytteiden koko oli  $20\times 20\text{ cm}^2$  ja mikrobiologiseen testaukseen  $10\times 10\text{ cm}^2$ . Kuva 1.



a)

b)

c)

Kuva 1 Näytteet a) kirurginen kasvomaski, b) kotitekoinen puuvillainen maski, ja c) yliommellut puuvillanäytteet inaktivoimisen ja mikrobien puhdistuvuuden tehokkuuden testaamiseksi.

## Menetelmät mikrobien inaktivoimiseksi ja poistamiseksi

Menetelmät mikrobien inaktivoimiseksi ja poistamiseksi valittiin siten, että ne voidaan tehdä myös kotona. Tutkittiin viittä erilaista menetelmää:

- 1) Pesu: näytteet pestiin pesukoneessa pesupussissa, jossa oli kaupallinen pyykinpesuaine 60 °C:ssa, ja kuivattiin kuivaushyllyssä ympäristön lämpötilassa vähintään 2 tuntia.
- 2) Kiehuminen: näytteiden annettiin pysyä kiehuvaan veteen pyykinpesuaineen kanssa 5 minuuttia, huuhdeltiin kylmällä vesijohtovedellä ja kuivattiin.
- 3) Höyrykäsittely: kaupallista kotimallihöyrypuhdistinta (Kärcher SC 3.000) käytettiin näytteiden käsittelemiseen molemmilla puolilla kuumalla höyryllä, joka syntyy vesijohtovedestä.
- 4) Lämpökäsittely: näytteet sijoitettiin lämmityskaappiin (Memmert UFE 400) kotiuunin jäljittämiseksi 70 °C:ssa 30 minuutin ajaksi.
- 5) Silitys: näytteet silitettiin molemmilta puolilta vaatesilitysraudalla. Lämpötila-asetus puuvillakankaalle oli kolme pistettä (ts. Noin 200 °C) höyryllä. Lääketieteellinen kasvonaamio ei kestänyt samaa lämpötilaa, se alkoi sulaa, joten lääketieteellinen kasvonaamio silitettiin yhden pisteen lämpötila-asetuksella (ts. Noin 100 °C) ilman höyryä.

## Mikrobiologiset tutkimukset inaktivoimiseksi ja poistamiseksi

Mikrobiologisissa tutkimuksissa käsittelemättömät näytteet kontaminoitiin ja käsiteltiin yllä olevilla menetelmillä. Lisäksi valittujen näytteiden annettiin pysyä huoneenlämpötilassa 72 tuntia ilman mitään inaktivoitukäsittelyä. Kymmenen käsittelyjakson jälkeen näytteet olivat kontaminoituneita ja käsittely toistettiin vielä kerran. Maskinäytteet olivat saastuneet mikrobiseoksella, joka sisälsi:

- *Aspergillus niger* VTT D-81078;  $1,5 \times 10^6$  pmy / ml
- *Bacillus atrophaeus*-itiöt VTT E-052737;  $1,4 \times 10^7$  pmy / ml
- *Saccharomyces cerevisiae* VTT C-96203;  $6,5 \times 10^7$  pmy / ml
- *Pseudomonas fragi* (gram-negatiivinen) VTT E-98200T;  $2,1 \times 10^3$  pmy / ml
- *Micrococcus luteus* (gram-positiivinen), VTT E-91474;  $1,2 \times 10^7$  pmy / ml
- MS2-bakteriofagi DSM 13767;  $5,0 \times 10^6$  pfu / ml.

Maskinäytteen keskelle lisättiin 0,1 ml mikrobisuspensiota ja maskinäytteet pakattiin muovipussiin ja vietiin inaktivaatiokäsittelyihin. Jokaisen käsittelyn jälkeen maskinäyte pakattiin steriiliin stomacher-pussiin ja pidettiin jääkaapissa ennen viljelyä.

Suodattimen suorituskyky arvioitiin käsittelemättömistä näytteistä ja näytteistä yhden ja kymmenen käsittelyjakson jälkeen.

### Mikroskopia

Näytteet tutkittiin lämpöemissioisilla JEOL JSM 6360 LV SEM -kuvantamislaitteilla. Kuvankäsittelyparametrit olivat: jännite 10 kV, etäisyys 19 mm ja täpläkoko 40. Näytteille sputteroitettiin kultaa ennen kuvausta 120 sekunnin ajan Balzers-päällystimestä (SCD 050).

### Mikrobiologiset menetelmät

Inaktiointimenettelyjen jälkeen eloonjääneiden mikrobien määrä määritettiin viljelymenetelmillä. Inaktiointi- ja poistokäsittelyjen tehokkuus määritettiin vertaamalla käsiteltyjen näytteiden tuloksia käsittelemättömään vertailunäytteeseen. Mikrobit irrotettiin naamioista lisäämällä 50 ml uuttonestettä (1 g/l peptonia, 5 g/l NaCl ja 2 g/l Tween 20) stomacher-pussiin, joka sisälsi maskinäytteen. Näytteitä homogenoitiin stomacherillä 1 minuutin ajan. Laimennussarja suoritettiin. Bakteereja viljeltiin Trypticase Sooy Agarilla (TSA) käyttäen 10 ml näytettä kaatolevytekniikalle ja 0,1 ml laimennoksia levityslevytekniikalle. Hiivoja ja muotteja viljeltiin YM-agarilla käyttäen 0,1 ml laimennoksia levitys-levytekniikkaa varten. MS2-bakteriofagia viljeltiin Nutrient-Agarilla (NA) yhdessä isännän Eschericia colin kanssa ja inkuboitiin 37 °C:ssa 1 päivä.

### Suodattimien suorituskyky

Puhdistustoimenpiteiden vaikutuksen määrittämiseksi kasvonaamioiden suorituskykyyn niiden tärkeimmät ominaisuudet mitattiin ennen ja jälkeen eri käsittelyjen. Hiukkasten poistotehokkuus mitattiin asettamalla kasvonaamio pidikkeeseen, jonka avoin ala oli 78 cm<sup>2</sup>, ja altistamalla se polydispersisillä dietyyliheksyylibakaatti (DEHS) -hiukkasilla. Hiukkaspitoisuudet maskin ylä- ja alapuolella mitattiin optisella hiukkasten laskurilla (PMS Las X II) kooltaan 0,1 - 5 . II µm man virtaus maskin läpi oli 28 lpm, jolloin kasvojen nopeus oli 6,5 cm/s. Vastaava hengitysvastus mitattiin maskin yli painemittarilla (Mikor TT470S).

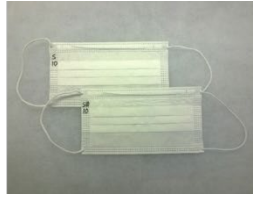
### Tulokset

Maskien visuaalinen arviointi puhdistushoitojen jälkeen osoitti, että vedenkäsittely, pesu ja kiehuminen aiheuttivat näytteiden pienen rypistyksen, mutta kirurgiset kasvomaskit pysyivät käyttökelpoisina näiden käsittelyn jälkeen. Muilla käsittelyillä ei ollut vaikutusta näytteiden visuaaliseen ulkoasuun, kuva 2.

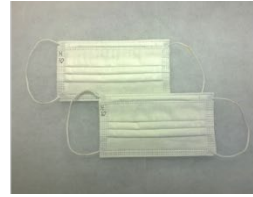




a)



b)



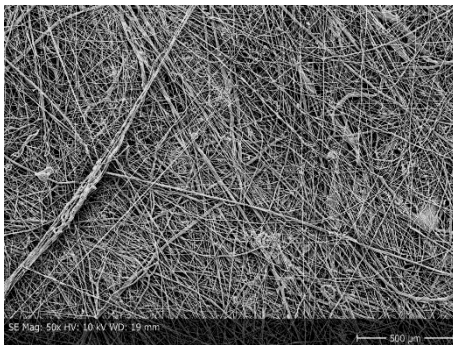
c)



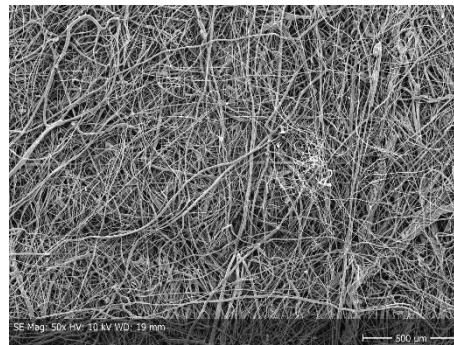
d)

*Kuva 2 Kirurgisista maskeista otetut valokuvat erilaisten inaktivoitinkäsittelyjen jälkeen, kun ne on toistettu kymmenen kertaa a) uunissa, b) silittämällä, c) höyryttämällä, ja d) pesemällä.*

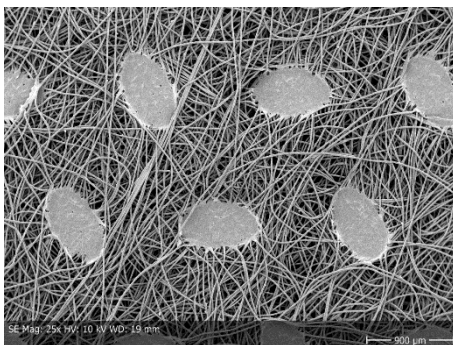
Inaktivoitinkäsittelyjen vaikutusta näytteiden rakenteeseen tutkittiin SEM:llä. Sekä kirurgisissa että kangasmasteissa pesu aiheuttivat merkittävimpiä muutoksia rakennetasossa muihin käsittelyihin verrattuna. Pesu muutti kirurgisen kasvonaamion molemmat kerrokset hieman suuremmiksi ja kuidut löystyivät rakenteesta käsittelemättömään näytteeseen verrattuna, kuva 3. Kangasmaskissa langat pakattiin tiiviimmin yhteen siten, että lankojen väliset tilat pienempi pesun jälkeen, kuva 4.



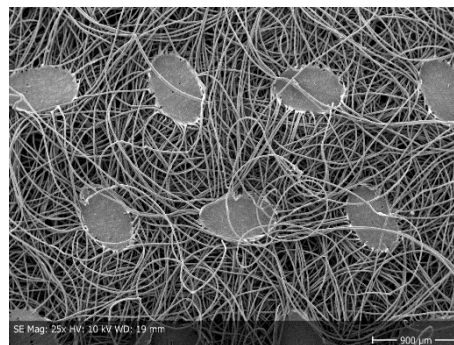
a)



b)



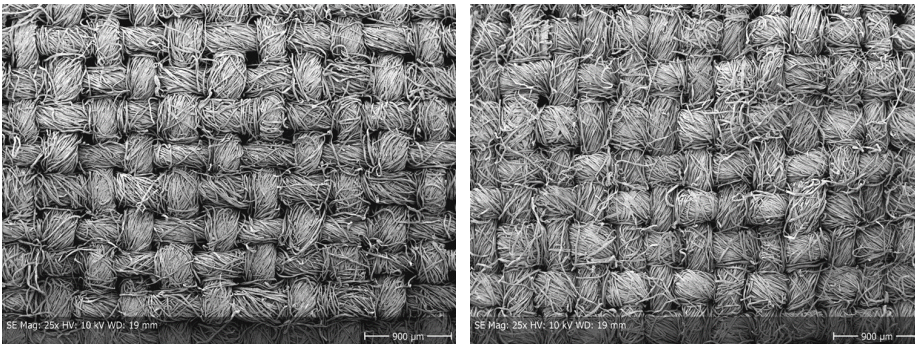
c)



d)

*Kuva 3 SEM mikroskoopi kuvat kirurgisesta kasvomaskista a) käsittelemätön keskikerros b) pesty keskikerros; c) käsittelemätön ulkokerros ja d) pesty ulkokerros*





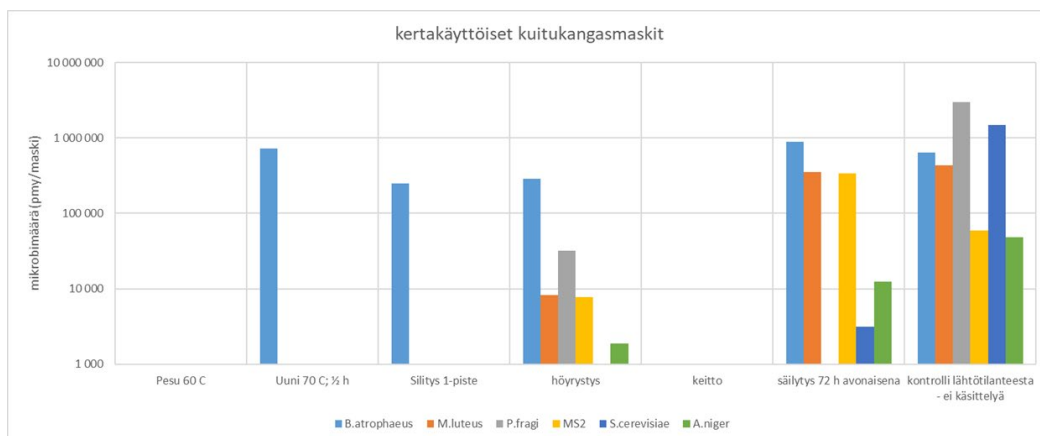
a)

b)

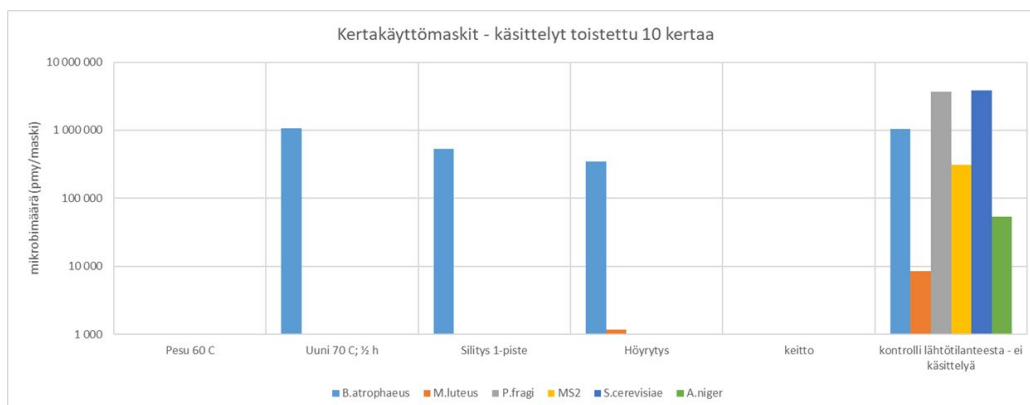
Kuva 4. SEM mikroskooppikuvat a) käsittelemätön puuvillamaski ja b) pesty puuvillamaski

### Mikrobien inaktivointi ja niiden poiston tehokkuus

Eri mikrobien inaktivointi ja poisto maskista on esitetty kuvissa 5-8. Kuvassa 5 on esitetty kertakäyttöisen kirurgisen kasvomaskien tulokset kerran käsitelty ja kuvaajassa 6 kun käsittely on toistettu 10 kertaa. Vastaavasti kuvissa 7 ja 8 on esitetty kangasmaskien tulokset. Havaitsemisraja oli 1000 CFU/maski.

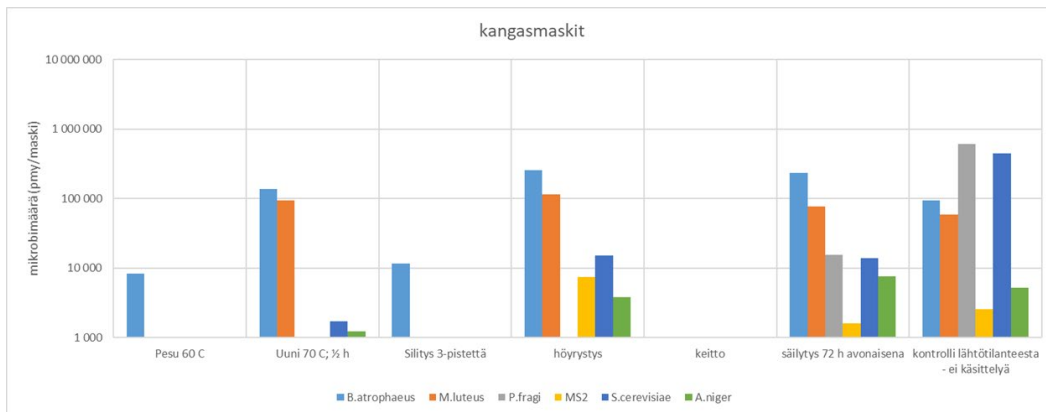


Kuva 5 Mikrobien inaktivoinnin tehokkuus eri menetelmillä kirurgisille maskeille yhden käsittelyn jälkeen

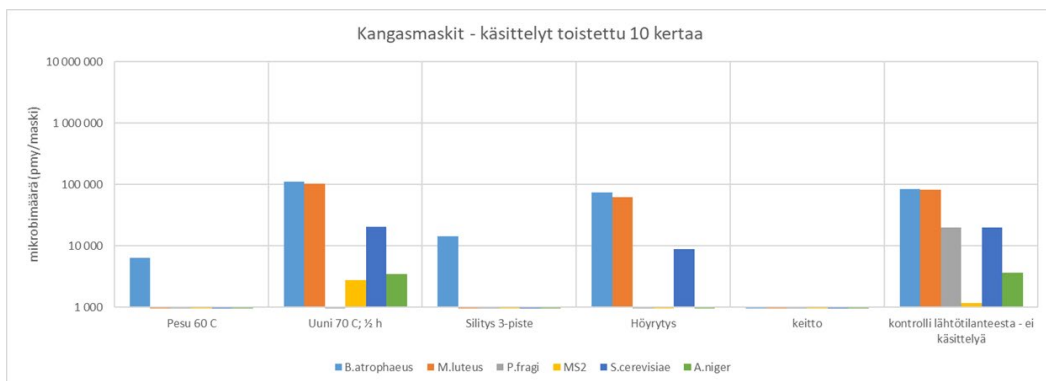


Kuva 6. Mikrobien inaktivoinnin tehokkuus eri menetelmillä kirurgisille maskeille kymmenen käsittelyn jälkeen

Kuten voidaan nähdä, kertakäyttöisen kirurgisen kasvomaskeiden keittäminen ja peseminen pesuaineella oli tehokkain puhdistusmenetelmä, joka antoi yli kolmen kertaluokan vähennyksen jopa tukeville *B. atrophaeus*-itiöille, kun taas lämpökäsittely ja silytys olivat tehokkaita muuta testiä vastaan mikrobit. Lämpökäsittelyn jälkeen uunissa ja silytysnäytteissä näytteissä oli edelleen vain *B. atrophaeus* -bakteereja. Toistetut käsittelyt eivät vaikuttaneet desinfiointin tehokkuuteen. *B. atrophaeus* -bakteerit ja *M. luteus* -bakteerit eivät muuttuneet 72 tunnin varastoinnin aikana, mutta *P. fragi*, *A. niger* ja *S. cerevisiae* -bakteerit laskivat eikä MS2:n taso laski.



Kuva 7 Mikrobin inaktivoinnin tehokkuus eri menetelmillä kangasmaskeille yhden käsittelyn jälkeen

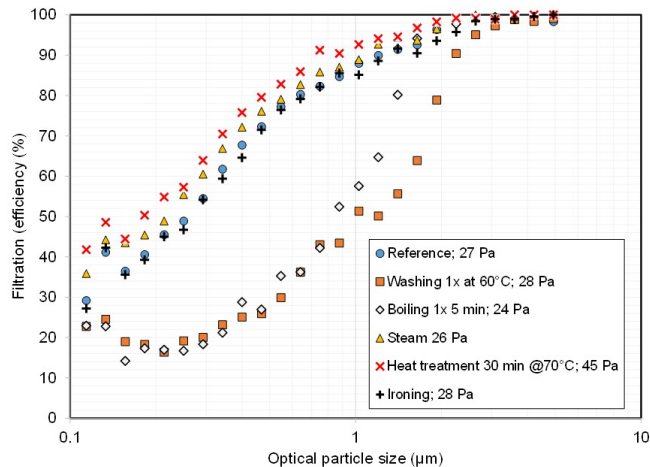


Kuva 8 Mikrobin inaktivoinnin tehokkuus eri menetelmillä kangasmaskeille kymmenen käsittelyn jälkeen.

Vastaavasti kiehuminen oli tehokas puhdistusmenetelmä kangasmaskeille. On mielenkiintoista huomata, että pesu johti *B. atrophaeus* -bakteerit vain yhden kertaluokan vähenemiseen kangasnaamiossa. Lisäksi uunin lämpökäsittely ei ollut yhtä tehokasta kangasmaskille kuin kertakäyttöiselle kirurgiselle maskille. Tämä voi johtua puuvillan hydrofiilisestä luonteesta, joka lisäsi bakteereilla kontaminoituneen nesteen tunkeutumista kirurgiseen kasvomaskiin verrattuna, joka on hydrofobisempi termoplastisten materiaaliensa vuoksi. Silytys oli tehokkaampaa kangasmaskille, koska materiaali kesti korkeamman lämpötilan kuin kirurginen maski. 72 tunnin varastointi vähensi kontaminaatiota, vain *P. fragi* -bakteerit lisääntyivät varastoinnin aikana.

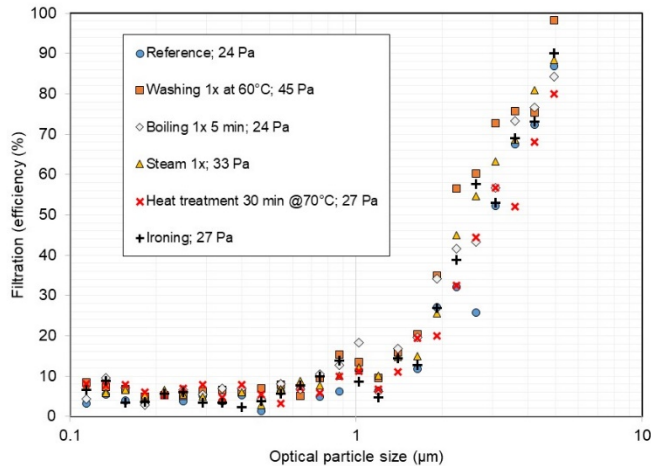
## Suodatusteho

Jotkut käsittelyt vaikuttivat voimakkaasti kirurgisen kasvomaskin suorituskykyyn, kuten kuvassa 9. on esitetty. Pesu ja kiehuminen heikensivät hiukkasten poistotehokkuutta merkittävästi. Päinvastoin, lämpökäsittely paransi suodatustehokkuutta jonkin verran, mutta lisäsi samalla hengitysvastusta. Höyrypuhdistus ja silitys eivät vaikuttaneet merkittävästi painehäviöön eikä suodatustehokkuuteen. Suurimmat muutokset tapahtuivat jo ensimmäisen käsittelyn jälkeen; kymmenen kertaa käsitellyt kasvomaskit käyttäytyivät aivan samalla tavalla kuin kerran käsitellyt maskit.



Kuva 6. Mitatut suodatustehokkuudet partikkelikoon mukaan eri tavoin käsitellyille maskeille ensimmäisen käsittelyn jälkeen.

Toisin kuin kirurginen kasvomaski, puuvillaisen maskin suodatustehokkuudessa ei tapahtunut suuria muutoksia, kuva 10. Alle mikronisten hiukkasten erotustehokkuus pysyi heikkona ja kasvoi kooltaan yli 1 µm hiukkasilla. Suurimmat muutokset havaittiin virtausvastuksessa: se melkein kaksinkertaistui alkuperäisestä 24 Pa:sta 45 Pa:iin 60°C:ssa pesemisen jälkeen. Höyrypuhdistus lisäsi painehäviöitä jonkin verran (33 Pa:iin), mutta muilla puhdistusmenetelmillä ei ollut merkittävää vaikutusta hengitysvastukseen. Hiukkasten erotustehokkuudet ja painehäviöt olivat samanlaiset kuin kymmenen kertaa käsitellyt kasvomojuukset kerran käsiteltyjen kanssa.



Kuva 10. Mitatut suodatustehokkuudet partikkelikoon mukaan eri tavoin käsitellyille maskeille ensimmäisen kymmenen käsittelyn jälkeen.

## Yleiset havainnot

ECDC:n mukaan FFP: n dekontaminaatiomenetelmät ovat tehokkaita mikrobin suhteen, mutta ne eivät aiheuta merkittävää heikkenemistä suodatuksessa ja hengittävydessä ainakin joissakin puhdistuskerroissa. Tällaisia vaihtoehtoja ovat ultraviolettinen säteilytys (UVGI), etyleenioksidi, vetyperoksidihöyry ja jossain määrin kuiva ja kostea lämpö. Etyleenioksidi ei kuitenkaan ole suotuista, koska se on syöpää aiheuttava.

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kehityshankkeessa olemme osoittaneet, että kertakäyttöisten hengityssuojainten puhdistus on teollisesti mahdollista kaasumaisella vetyperoksidikäsitelyllä heikentämättä hengityssuojainten ominaisuuksia. Nämä kokeet osoittivat, että vetyperoksidihöyry riittävän korkeilla pitoisuuksilla ja pitkällä käsittelyajalla johti sitkeiden *Bacillus atrophaeus*-itiöiden yli kuuden kertaluokan vähenemiseen. Vetyperoksidikäsitely ei kuitenkaan ole turvallista kotona.

Kirurgisen kasvonaamarin suojauskyvyn heikkeneminen pesun ja kiehumisen jälkeen voi johtua suodatuseräaalin sähkövarauksen häviämisestä. Ehdotamme, että pieni suodatustehokkuuden kasvu lämpökäsittelyn jälkeen ei johdu polymeerin sulamisesta (ei havaittu SEM: llä), vaan rakenteen orientaation relaxoitumisesta. Tällöin maski kutistui niin, että kuidut kutistuivat hieman pituussuunnassa ja turpoavat poikittaissuunnassa. Joka tapauksessa kirurgisen kasvonaamion hiukkasten poistotehokkuus puhdistustöiden jälkeen oli korkeampi kuin puuvillamaskeilla, jotka eivät suodattaneet alle mikronin hiukkasia käytännössä ollenkaan. Huono suodatusteho ei ole yllätys, koska improvisoituja materiaaleja ei ole suunniteltu hengityssuojaimiin. Kankaan naamarin melkein kaksinkertainen virtausvastus pesun jälkeen johtui todennäköisesti SEM-kuvissa havaituista rakenteellisista muutoksista, joissa langat pakkautuvat tiukemmin yhteen.

## Johtopäätökset

Testattujen mikrobin inaktivointi- ja poistomenetelmistä puuvillakankaasta tehdyt yhteisötasot puhdistettiin parhaiten keittämällä vähintään 5 minuuttia. Konepesu 60 °C:ssa oli toiseksi paras tapa vähentää mikrobikontaminaatiotasoa. Puuvillanaamion desinfiointitoimenpiteet eivät

vaikuttaneet hiukkasten poistotehokkuuteen, mikä oli jo heikkoa varsinkin alle mikronisten hiukkasten osalta. Siitä huolimatta pesu lisäsi hengitysvastusta huomattavasti.

Tässä tutkimuksessa käytetyn kirurgisen kasvomaskin rakenne oli mekaanisesti kestävä jopa kymmeneen pesuun asti. Pesu ja kiehuminen olivat kuitenkin haitallisimpia kertakäyttöisille kirurgisille kasvomaskeille. Molemmat menetelmät aiheuttivat merkittävän menetyksen suodatustehokkuudessa. Lämpökäsittely uunissa on lupaava vaihtoehto, jos uunin lämpötila on lähellä 100 °C, mikä on kuitenkin riski erityisesti kertakäyttöisten kirurgisten kasvomaskien rakenteelle. Puoli tuntia alemmassa lämpötilassa 70 °C ei riittänyt tuhoamaan mikrobeja tehokkaasti. Lisäksi menetelmä on epävarma, koska kotitalouksien uunien lämpötilan säätö ei ole tarkka tällä lämpötila-alueella. Höyrypuhdistus ei poistanut mikrobeja tehokkaasti. Silitys poisti mikrobit melko tehokkaasti. Kirurgisen kasvonaamion silitys kuitenkin vähensi ilmanläpäisevyyttä ja lisäsi siten hengitysvastusta.

## Kiitokset

Työ- ja elinkeinoministeriö on myöntänyt COVID-19 erityisrahoituksen tälle tutkimukselle.

## Kirjallisuus

1. Cirillo, P., Taleb, N. N. (2020). Tail risk of contagious diseases. *Nature Physics* 16(6): 606–613.
  2. WHO report (2019) A world at risk: annual report on global preparedness for health emergencies.
  3. Kutler, J. S., Spronken, M., Fraaij, P. L., Fouchier, R. A. M., Herfst, S. (2018) *Current opinion in Virology*, 28, 142–151.
  4. Milton, D., Fabian, M., Cowling et al. (2013): Influenza virus aerosols in human exhaled breath. *PLoS Pathog.* 9(3): e1003205
  5. Santarpia, J. et al. (2020). Aerosol and surface transmission potential of SARS-CoV-2. medRxiv 2020.03.23.20039446
  6. Tcharkhtchi, A., Abbasnezhad, N. et al. (2021) *Bioactive Materials* 6(1):106–122.
  7. Shakya, K. M., Noyes, A. et al. (2017) *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 27(3):352–357.
  8. Rengasamy, S., Miller, A., Eimer, B. C., Shaffer, R. E. (2009) *J Int Soc Respir Prot* 26:54–70.
  9. Sande, M van der, Teunis, P., Sabel, R. (2008) *PLoS One* 3(7): e2618.
  10. Abaluck, J. et al. (2020) The case for universal cloth mask adoption... <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3567438>
  11. European Centre for Disease Prevention and Control. Options for the decontamination and reuse of respirators in the context of the COVID-19 pandemic – 8 June 2020. Stockholm: ECDC; 2020.
  12. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Guidance for health system contingency planning during widespread transmission of SARS-CoV-2 with high impact on healthcare services 2020 [23 April 2020]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/guidance-health-system-contingency-planning-during-widespread-transmission-sars>.
  13. Bailar JC, Burke DS, Brosseau LM, Cohen HJ, Gallagher EJ, Gensheimer KF. Reusability of facemasks during an influenza pandemic. Institute of Medicine, National Academies Press, Washington [DC]. 2006.
  14. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Hergebruik mondmaskers en isolatiekleding 2020 [updated 30 March 2020] April 2020]. Available from: <https://www.rivm.nl/documenten/hergebruik-ffp2-mondmaskers>.
  15. Lore MB, Heimbuch BK, Brown TL, Wander JD, Hinrichs SH. Effectiveness of three decontamination treatments against influenza virus applied to filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene.* 2012;56(1):92–101.
  16. Heimbuch BK, Wallace WH, Kinney K, Lumley AE, Wu C-Y, Woo M-H, et al. A pandemic influenza preparedness study: use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets. *American journal of infection control.* 2011;39(1):e1–e9.
  17. Bergman MS, Viscusi DJ, Heimbuch BK, Wander JD, Sambol AR, Shaffer RE. Evaluation of multiple (3-cycle) decontamination processing for filtering facepiece respirators. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* 2010;5(4):155892501000500405.
  18. Fisher EM, Williams JL, Shaffer RE. Evaluation of microwave steam bags for the decontamination of filtering facepiece respirators. *PLoS One.* 2011;6(4).
  19. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, Wang Q, et al. Can N95 respirators be reused after disinfection? And for how many times? medRxiv. 2020.
  20. Bergman MS, Viscusi DJ, Palmiero AJ, Powell JB, Shaffer RE. Impact of three cycles of decontamination treatments on filtering facepiece respirator fit. *Journal of the International Society of Respiratory Protection.* 2011;28(1):48.
  21. Fischer R, Morris DH, van Doremalen N, Sarchette S, Matson J, Bushmaker T, et al. Assessment of N95 respirator decontamination and re-use for SARS-CoV-2. medRxiv. 2020.
  22. Viscusi DJ, Bergman MS, Eimer BC, Shaffer RE. Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene.* 2009;53(8):815–27.
  23. Cramer A, Plana D, Yang HL, Carmack M, Tian E, Sinha MS, et al. Analysis of SteraMist ionized hydrogen peroxide technology as a method for sterilizing N95 respirators and other personal protective equipment. medRxiv. 2020.
- Nguyen L, Drew D, Graham M et al. (2020). Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study. *Lancet Public Health* 2020; 5: e475–83. Published Online July 31, 2020 [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30164-X](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30164-X)