

# Võimalused respiraatorite saastusest puhastamiseks ja taaskasutamiseks COVID-19 pandeemia kontekstis

8. juuni 2020

## Kokkuvõte

COVID-19 pandeemia kontekstis on maailmas puudus respiraatoritest ehk lihtsatest filtreerivatest näokaitsevahenditest. Nende vahendite puuduse tõttu tuleb neid eelistada tervishoiuasutustes kasutamisel aerosooli tekitavatel protseduuridel. Respiraatorite vähesuse korral on katsetatud mitut saastusest puhastamise meetodit. Kõige kasulikumad meetodid on loetletud ülevaatlikus tabelis aruande järeldustes.

Taaskasutamise juhtpõhimõtted

- Respiraatorid, mis on nähtavalt saastunud (näiteks protseduuril intubeeritud patsiendiga: hingamisteede puhastamine, proovide võtmine, intubatsioonitoru väljavõtmise katsed jne) või mis on kahjustunud või ei sobi kohale, tuleb kõrvaldada ning neid ei saa taaskasutada ega saastusest puhastada.
- Respiraatoreid võib katta meditsiinilise kaitsemaskiga, et takistada respiraatori määrdumist.
- Aegunud (tootja määratud kõlblikkusaja ületanud) uute respiraatorite kasutamine on võimalik, kui neid säilitatakse kuni kasutamiseni nõuetekohaselt.

Üsna teostatav võimalus respiraatoreid taaskasutada näib olevat anda igale tervishoiutöötajale vähemalt viis respiraatorit (potentsiaalne SARS-CoV-2 saaste kaob neljalt mittekasutatavalt respiraatorit pärast viit päeva). Olenemata saastusest puhastamise meetodist tuleb enne taaskasutamist kontrollida, kas respiraator sobib kohale. Kui respiraator sobivuskatset ei läbi, tuleb respiraator kõrvaldada.

## Dokumendi rakendusala

Dokumendis on ülevaade olemasolevatest meetoditest, kuidas saastusest puhastada respiraatoreid nende vähesuse korral tervishoiuasutustes, kus ravitakse võimaliku, tõenäolise või kinnitatud COVID-19 diagnoosiga patsiente.

## Sihtrühm

ELi/EMP riikide ja Ühendkuningriigi tervishoiuasutused ja haiglaametnikud.

## Taustteave

Mitmes ELi/EMP riigis ja Ühendkuningriigis on COVID-19 juhtumite arv kiiresti suurenenud. Selle tõttu on tekkinud puudus isikukaitsevahenditest, eelkõige 2. ja 3. kaitseklassiga respiraatoritest (FFP2/FFP3).

Respiraator on ette nähtud kasutaja kaitsmiseks kokkupuute eest õhu kaudu levivate saasteainetega (nt väikeste ja suurte piiskadega levivad nakkustekitajad, mis satuvad hingamisteedesse) ning see klassifitseeritakse isikukaitsevahendiks [1]. Respiraatoritega kaitseb tervishoiutöötaja peamiselt iseennast, eriti aerosooli tekitavate protseduuride ajal. Ventiiliga respiraatorid ei sobi nakkusallika tõrjeks, sest need ei takista piiskade kandumist väljahingamisel kasutaja hingamisteedest keskkonda [2].

Respiraatorid vastavad Euroopa standardi EN 149:2001+A1:2009 nõuetele. FFP2 vastab klassile N95, nagu määratleb USA standard NIOSH 42 CFR Part 84.

Respiraatorid on ette nähtud ühekordseks kasutamiseks ja need tuleb kõrvaldada pärast märgumist või määrdumist patsiendi kehavedelikega, kui need enam ei sobi kohale nõuetekohaselt või kui hingamine läbi respiraatori raskeneb (näiteks suurenenud niiskuse tõttu respiraatoris). Respiraator tuleb kõrvaldada ka pärast kasutamist aerosooli tekitaval protseduuril, sest seda peetakse väga saastavaks.

Kuigi respiraatorid on ette nähtud ühekordseks kasutamiseks, on nende kasutamise optimeerimiseks pakutud mitu lähenemisviisi, näiteks nende limiteerimine ja/või saastusest puhastamine ja taaskasutamine, seoses gripipandeemiateks ettevalmistumise ja praeguse COVID-19 pandeemiaga seotud hiljutiste suurte tarneraskuste tõttu [3,4].

Suurenenud ravivajaduste ajal on respiraatorite kasutamise optimeerimise lähenemisviisid näiteks järgmised:

- kasutada respiraatoreid ainult aerosooli tekitavatel protseduuridel;
- kasutada meditsiinilisi kaitsemaske (kirurgilisi maske)<sup>1</sup>, kui respiraatorivarud on piiratud, patsiendikokkupuudetest enamiku korral, millega ei kaasne aerosooli tekitavat protseduuri;
- määrata teatud toiminguteks töötajad, kes kasutavad sama respiraatorit kogu vahetuse, mil teevad sama toimingut [5]. Sellisel juhul ei tohi respiraatorit eemaldada kogu kasutusaja vältel.

Seni on tootjatel puudunud põhjus või stiimul, miks välja töötada respiraatorite saastusest puhastamise meetodeid, kuid praegu on tungiv vajadus välja töötada taaskasutatavad respiraatorid, mida saab saastusest puhastada [4].

## Ühekordkasutusega respiraatorite üldine ja saastusest puhastamine

Haigust COVID-19 põhjustav viirus SARS-CoV-2 püsib keskkonnas, sealhulgas mitmesugustel materjalidel, näiteks raual, papil ja hügieenilisel paberil. SARS-CoV-2 püsib pärast aerosooliks muutumist keskkonnas stabiilsena kuni 3 tundi, vasel kuni 4 tundi, papil kuni 24 tundi ning plastil ja roostevabal terasel kuni 2...3 ööpäeva, kuigi oluliselt väiksemate tiitritega [6]. Kuigi need tulemused on saadud kontrollitud keskkonnas tehtud katsetel ja neid tuleb tõlgendada ettevaatlikult, annavad need ka kaudseid tõendeid, mis riski võib tekitada patsientide ravis kasutatavate respiraatorite ja meditsiiniliste kaitsemaskide välispinna saastumine.

Enne praegust COVID-19 pandeemiat peeti respiraatorite saastusest puhastamist ebasoovitavaks ja eesmärk oli peamiselt nende kasutamist pikendada – kas nii, et sama tervishoiutöötaja taaskasutab respiraatorit piiratud arvu kordi, või maksimeerides nende kasutamist (nt pikendades ühekordse kandmise kestust) teatud toimingute jaoks määratud töötajate poolt. Respiraatori taaskasutamist on peetud vastuvõetavaks piiratud aja jooksul ja sama tervishoiutöötaja poolt, näiteks kui ta siseneb tuberkuloosiga patsientide raviks patsiendi ruumi. Seda lähenemisviisi saab laiendada COVID-19 pandeemia kontekstis respiraatorite vahetuse ajal.

Respiraatori välispinna potentsiaalne saastumine tekitab riski seda taaskasutavale tervishoiutöötajale; on usutav, et saastumisriski saab vähendada, kui asetada respiraatori ette meditsiiniline kaitsemask või kanda läbipaistvat näokaitset, mida saab puhastada.

Et saastusest puhastamise meetod oleks tervishoius kohaldatav, peab see efektiivselt eemaldama viiruseosakesed, olema kasutajale ohutu ega tohi kahjustada respiraatori elementide funktsionaalsust [4].

<sup>1</sup> Meditsiinilised kaitsemaskid on Euroopa standardi EN 14683:2014 kohaselt meditsiiniseadmed. Need on ühekordse kasutusega ning nende saastusest puhastamist ja taaskasutamist meditsiiniuasutustes ei soovitata.

## Respiraatorite saastusest puhastamise ja taaskasutuse võimalused

Respiraatorite saastusest puhastamise ja taaskasutuse efektiivse meetodi kaalutlemisel tuleb arvestada järgmisi punkte.

- Meetod peab inaktiveerima saastavad organismid.
- Meetod ei tohi kahjustada respiraatori funktsioneerimist seoses järgmisega:
  - filtreerimiseefektiivsus
  - sobivus
- Meetod ei tohi jätta respiraatorile kemikaaljääke, mis võivad olla kasutajale ohtlikud.

Kasutaja peab saastusest puhastatud respiraatori kasutamisel võtma järgmisi üldmeetmeid.

- Respiraatorit tuleb enne paigaldamist visuaalselt kontrollida ja see kõrvaldada, kui mis tahes komponent näib olevat lagunenu või selle ehitus muutunud.
- Respiraatori paigaldamise või puutumise eel ja järel (nt pärast reguleerimist) tuleb tagada range kätehygieen.
- Respiraatori paigaldamise ja reguleerimise ning sobivuskatse ajal on soovitatav kanda kindaid. Puutuda tohib ainult respiraatori välisosa.
- Respiraator tuleb kõrvaldada, kui see ei läbi sobivuskatset.

Uuritud on järgmisi respiraatorite saastusest puhastamise meetodeid.

### Auruga steriliseerimine

Aursteriliseerimine on haiglates tavaline protseduur. Madalmaades tehtud uuringus teatati sõltuvalt kasutatud respiraatori tüübist respiraatori deformatsioonist või sobivuskatse ebaõnnestumisest pärast aursteriliseerimist temperatuuril 134 °C [7]. Artiklis Lore jt (2012) [8] tõendati mikrolainegenereeritud auru (MGS) efektiivsus gripiviiruse osakeste inaktiveerimisel N95-respiraatorite kahel mudelil. Heimbuch jt [9] olid 2010. aastal samuti tõendanud mikrolainegenereeritud auru efektiivsust elujõulise gripiviiruse > 4 log vähendamisel N95-respiraatoritel, kusjuures kuuest uuritud mudelist ainult ühel irdus ninapadja vahttugi veidi. Ka Bergman jt [10] teatasid teatud N95 mudelite füüsikalisest deformeerumisest, eelkõige seesmise vahust ninapadja irdumisest, kuid pärast kolme tsükli säilis adekvaatne aerosooli läbilaskvuse ja filtri õhuvoolu takistus. Fischer jt [11] kasutasid bakteriofaagidega saastunud N95-respiraatorite desinfitseerimiseks aurukotte ja teatasid, et saasteaine inaktiveerimise efektiivsus oli 99,99% ja vee absorptsioon olenes respiraatori mudelist. Aurul oli vähe mõju filtreerimiseefektiivsusele, mis püsis üle 95%. Hiljutises eelpublikatsioonis Liao jt [12] tõendati, et N95-ühilduva sulaniidist puhutud kanga aurtöötlus ei mõjutanud oluliselt efektiivsust ega rõhulangust esimese kolme aurutöötlustsükli jooksul. Uuringus Bergman jt (2011) [13] teatasid autorid, et mikrolainegenereeritud auru kolm rakendamist ei põhjustanud katsetatud kolme N95-respiraatori kohalesobivuse olulisi muutusi (läbimissuhe ≥ 90%).

### Vesinikperoksiidi aur

Ühes USA toidu- ja raviameti (FDA) tellitud uuringus tõendati, et vesinikperoksiidi aur (HPV) oli efektiivne N95-respiraatorite (FFP2-respiraatorite USA ekvivalent) saastusest puhastamisel ühestainsast organismist mitme saastusest puhastamise tsükli jooksul. Respiraator säilitas funktsiooni isegi pärast 10...20 HPV tsükli, kuid seejärel ilmsed lagunemise tunnused [14]. 29. märtsil 2020 kiitis FDA heaks tselluloosita N95 erakorralise kasutuse respiraatorite HPV-põhise kaubandusliku saastusest puhastamise meetodi [15]. Teistes uuringutes ei tuvastatud saastusest puhastamise kolme [10] kuni viie [16] tsükli ajal N95-respiraatoritel makroskoopilisi kahjustusi ega deformatsiooni. Respiraatorid säilitasid adekvaatse aerosoolifiltreerimiseefektiivsuse ja filtri õhuvoolu takistuse pärast üht [17] kuni kolme HPV-tsükli [10]. Madalmaades toimunud katseuuringus leiti, et HPV on efektiivne kahe saastusest puhastamise tsükli jaoks ilma deformatsioonita, säilitades ühtlasi filtreerimisvõime, mida hinnati kiire sobivuskatsega<sup>2</sup>, mis viitab, et katsetatud FFP2-respiraatoreid (tselluloosita mudelid) saab taaskasutada kuni kaks korda. Meetodi võimalik puudus on, et vesinikperoksiidi kahjulikud kontsentratsioonid võivad pärast saastusest puhastamist jääda respiraatorile mitmeks päevaks. Teine probleem on, et pärast korduva saastusest puhastamise tsükleid võib tekkida deformatsioon [7].

SARS-CoV-2 korral HPV-ga saastusest puhastamise uuringutes tõendati, et pärast töötlemist (10 minutit kuivatamist, 3 minutit eeltöötlust (5 g/min), 30 minutit saastusest puhastamist (2,2 g/min) ja 20 minutit aereerimist) ei leitud N95-respiraatorilt SARS-CoV-2 viiruse ehituslik ja funktsionaalne terviklus säilis kuni 10 steriliseerimistsükli [18]. Sarnaselt leidsid Fisher jt [19], et HPV inaktiveerib SARS-CoV-2 kiiresti N95-respiraatoritel pärast kolme saastusest puhastamise tsükli, ühtlasi säilitades vastuvõetava tervikluse ja toimivuse.

<sup>2</sup> Sobivuskatse: respiraatorist väljaspool ja respiraatori sees olevate osakeste arvu suhe, kasutades seadet TSI PortACount Pro+ 8038. Kasutamata mask (kontroll): suhe = 162; RIVM peab sobivuskatse tulemust piisavaks, kui pärast saastusest puhastamist on suhe >100.

### Vesinikperoksiidi muu kasutamine

Uuringus Cramer jt [20] katsetati ioniseeritud vesinikperoksiidi (IHP) N95-respiraatorite saastusest puhastamisel; autorid leidsid, et IHP võimaldas ainsa saastusest puhastamise tsükliga bakterispoore hävitada vähemalt 9 log ning N95-maskid võivad säilitada filtreerimiseefektiivsuse ja adekvaatse sobivuse kuni 5 saastusest puhastamise tsükliks.

Bergman jt katsetasid saastusest puhastamist vedela vesinikperoksiidiga (LHP), sukeldades respiraatoreid 30 minutiks vesinikperoksiidi 6% lahusesse. Kuue N95-respiraatori filtreerimisomadused säilisid pärast kolme saastusest puhastamise tsükli. Saastusest puhastamise mõju sobivusele ei katsetatud [10].

Bergman jt katsetasid ka vesinikperoksiidi gaasiplasma (HPGP) meetodit N95-respiraatorite kuuel tüübil. Nad leidsid, et pärast 3 saastusest puhastamise tsükli halvenesid kuuest tüübist nelja filtreerimisomadused [10].

### Gammakiiritus

Seda meetodit kasutatakse sageli meditsiiniseadmete ja toidukaupade ulatuslikuks steriliseerimiseks. Vajalikke seadmeid haiglates tavaliselt ei ole. Ühes uuringus leiti, et doos 20 kGy (2 MRad) on piisav, et inaktiveerida koroonaviirusi [21]. Toimivates gammakiirituse uuringutes, milles steriliseeritakse respiraatoreid doosiga 24 kGy, täheldati respiraatori võimalikku deformatsiooni, mis kahjustas seesmist filterkihti ja kohalesobivust näole. Madalmaalades tehtud töendas, et üks FFP2-mask ei deformeerunud doosiga 25 kGy gammakiiritusel, kuid sobivuskatse pärast saastusest puhastamist ebaõnnestus [7]. Uuringus Lin jt [22] uuriti filtreerimisomadusi pärast kiiritust ja leiti, et töötus doosiga 10...30 kGy mõjutas N95-mudelite filtreerimisomadusi, suurendades aerosooli läbitungimist, kuigi säilitas vastuvõetava takistuse sissehingamisel.

### Antimikroobne ultraviolettkiiritus

Antimikroobne ultraviolettkiiritus (UVGI) on paljutöötav meetod, mis kasutab UV-C-kiirguse antimikroobset toimet. Kaks peamist metodoloogilist piirangut on vajalik kiiritusdoos ja respiraatori ehitusest tingitud varjud, mis võivad takistada UV-kiirguse jõudmist mikroorganismideni ja seega piirata saastusest puhastamise efektiivsust.

Eri sõltumatud teadlased ei ole kuni mitme UV-C-rakendustsükli täheldanud olulist mõju filtri õhuvoolu läbilaskvusele ega filtri õhuvoolu takistusele [10,17]; uuringus Liao jt [12] teatati, et UV-C-ga (254 nm, 17 mW/cm<sup>2</sup>) töödeldud N95-respiraatorid talusid 10 töötlustsükli ja 20 tsükli järel olid lagunened vähe. 2011. aastal avaldatud uuringus Bergman jt [13] teatasid autorid, et kolm töötlust antimikroobse ultraviolettkiiritusega ei tekitanud kolmel katsetatud N95-respiraatoril kohale sobivuses olulisi muudatusi (läbivussuhe  $\geq 90\%$ ).

Uuringus Fisher ja Shaffer [23] tõendati, et UV-C-kiirgus (N95-respiraatoritest lõigatud ümmargustel näidistel) vähendas elujõuliste MS2-bakteriofaagide arvu vähemalt 3 log. Nende täheldusel siseneb UV-C respiraatoritesse ja läbib nende materjale. Sise- ja väliskihide poorsus võimaldab UV-C-kiirgusel jõuda seesmisse filtermaterjali (IFM), kuid selleks vajalik kiirituskestus varieerub N95-respiraatorite eri mudelitel suures vahemikus (2...266 minutit).

Elujõulise H1N1-gripiviiruse olulist vähenemisest (>4 log) pärast UVGI-töötlust (254 nm, 1,6...2,0 mW/cm<sup>2</sup>, 15 min) teatati uuringus Heimbuch jt [9] kuuel N95-respiraatori mudelil, ilma töötlusjärgsete ilmsete lagunemis- või deformatsioonitunnusteta. Gripiviiruse eluvõimelisuse vähenemist ( $\geq 3$  log) vaadeldi ka uuringus Mills jt [24], milles analüüsiti N95-respiraatori 15 mudelit. Autorid järeldasid, et respiraatori saastusest puhastamine ja taaskasutus UVGI abil võib olla efektiivne, kuid UVGI-meetodi rakendamine nõuab respiraatori mudeli, materjali tüübi ja konstruktsiooni hoolikat kaalutlemist. Uuringus Lore jt [8] teatati suure intensiivsusega UVGI viirusidest toimest pärast selliste N95-respiraatorite kahe mudeli 15-minutist kiiritamist, millele oli aerosoolpiiskadena lisatud gripiviirus (A/H5N1).

### Mikrolainekiiritus

Vähesed uuringud on käsitletud kuivmikrolainete võimalikku kasutamist respiraatorite saastusest puhastamisel. Uuringus Viscusi jt [17] kasutati mikrolaineahju kiiritust üheksal respiraatorimudelil (N95 ja P100). Mikrolaineahju kiiritus sulatas kahe respiraatorimudeli näidised. Üheksast katsetatud mudelist seitsmel ei muutunud filtri aerosoolifiltreerivus ega filtri õhuvoolutakistus. Antimikroobset toimet ja kohalesobivust ei hinnatud. Üldiselt puuduvad tõendid mikrolaineahju kiirituse efektiivsuse kohta respiraatorite saastusest puhastamisel. Tähtis on arvestada, et metallist ninariba võib mikrolaineahjus kiiritamisel tekitada sädemeid, mis võivad kahjustada ahju.

### Etüleenoksiid

Etüleenoksiidsteriliseerimine toimub madal temperatuuril ja seda meetodit eelistatakse selliste tundlike seadmete steriliseerimiseks nagu endoskoobid, mida ei saa piisavalt puhastada käsitsi või autoklaavida. Meetodil on olemuslik risk, et respiraatorisse võib jääda etüleenoksiidi, mis on kasutajale kahjulik. Uuringutes Viscusi jt ja Bergman jt [10,17] teatati, et see meetod ei kahjusta filtri aerosooli läbilaskvust, filtri õhuvoolu takistust ega respiraatorite füüsilist ilmet. Uuringus Kumar jt [18] teatati, et ehituse ja funktsiooni terviklus säilis pärast kolme tsükli ning respiraatoritel ei avastatud mikrobioloogilist saastumist vesikulaarse stomatiidi viirusega (VSV) pärast ühetunnist kokkupuudet ja 12-tunnist aeratsiooni.

## Niiske soojusega inkubeerimine

Niiske soojusega inkubeerimine (MHI) on paljulubav lähenemisviis respiraatorite saastusest puhastamiseks ja taaskasutamiseks. Uuringus Heimbuch jt [9] leiti, et niiske soojuse (WMH) kasutamine 30 minuti jooksul ( $65\text{ °C} \pm 5\text{ °C} / 85\% \pm 5\% \text{ RH}$ ) vähendas mitmesugustele tahkete osakeste N95-mudelitele hajutatud elujõulist H1N1 gripiviirust keskmiselt  $> 4$  log. Pärast 30-minutilist tsükli ei täheldatud ilmseid lagunemise ega deformeerumise tunnuseid. Sarnaseid tulemusi on esitanud Lore jt [8], kes teatavad, et MHI on täielikult efektiivne gripiviiruse A/H5N1 osakeste inaktiveerimisel N95-respiraatoritel pärast 20-minutilist töötlemist. Respiraatoriomaduste püsivust on katsetanud Bergman jt [10], kes leidsid, et pärast kolme saastusest puhastamise tsükli säilisid N95-respiraatorite filtri õhuvoolu läbilaskvus ja filtri õhuvoolu takistus. Ühel respiraatorimudelil täheldati seesmise vahust ninapadja osalist irdumist. Bergman jt [13] teatasid, et kolm töötlust niiske soojusega ei tekitanud kolmel katsetatud N95-respiraatoril kohale sobivuses olulisi muudatusi (läbivussuhe  $\geq 90\%$ ).

## Kuivkuumutamine

Uuringus Liao jt [12] ei täheldatud sulaniidist puhutud kanga (materjal, millest tehakse respiraatoreid) filtreerimisomaduste olulist halvenemist, kui esialgne efektiivsus oli  $\geq 95\%$ , kuni 20 tsükli jooksul, kasutades staatilise õhuga ahju temperatuuril  $75\text{ °C}$  30 minutit/tsükkel. Temperatuuril kuni  $100\text{ °C}$  oli filtreerimiseefektiivsuse ja rõhulanguse muutus väike või puudus. Publikatsioonis rõhutavad autorid, et aur võib vähendada efektiivsust ja õhuniiskus tuleb hoida  $100\text{ °C}$ -le lähenedes madal. Sarnased tulemused saadi uuringus Fisher jt [19], milles kuivkuumutati N95-respiraatorite kangast temperatuuril  $70\text{ °C}$  kuni 60 minutit. Autorid leidsid, et pärast üht saastusest puhastamise tsükli filtreerimisomadused ei halvenenud, kuigi halvenesid pärast järgmisi tsükleid. Samuti inaktiveeris saastusest kuivkuumutusega puhastamine SARS-CoV-2 N95-kangal kiiremini kui terasel. Autorid rõhutasid, et kuivkuumutada tuleb piisavalt kaua, et tagada viiruse kontsentratsiooni vähenemine. Uuringus Viscusi jt [17] teatati, et see, kui palju temperatuur mõjutab filtri aerosooliläbilaskvust ja komponentide sulamist, oleneb mudelist. Autorid teatasid, et üle  $100\text{ °C}$  temperatuuri kasutamisel esines mõne mudeli korral sulamist.

## Autoklaavimine

Autoklaavimine on tervishoiuasutustes tavaline. Pärast saastusest puhastamist autoklaavis temperatuuril  $121\text{ °C}$  15 minutit ei leitud N95-respiraatorite eri mudelitelt SARS-CoV-2 viirust [18]. N95-respiraatori kuuel mudelil säilis ühe tsükli järel ehituse ja funktsiooni terviklus, kuid pärast esimest tsükli säilitas kuuest katsetatud mudelist ainult neli oma omadused (kuni 10 tsükli) [18]. Uuringus Lin jt [22] teatati, et viiest katsetatud N95-mudelist ühe korral suurenes aerosooli läbilaskvus, mis ületas sertifitseerimispiiri 5%, kuid kõik mudelid täitsid hingamistakistuse nõude.

## Alkohollahus

Teadaolevalt on etanool SARS-CoV-2 inaktiveerimisel väga efektiivne ning seda kasutati ka uuringus Fischer jt [19] N95-respiraatoritel. Kuigi pärast etanooli kasutanud ainsat saastusest puhastamise tsükli filtreerimisomadused ei halvenenud, põhjustasid järgmised tsüklid järsu halvenemise [19]. Seda kinnitasid ka Liao jt [12], kes teatasid filtreerimiseefektiivsuse drastilisest halvenemisest, kuigi rõhulangus jäi võrreldavaks pärast etanooliga töötlemist, mil sulaniidist puhutud kangas sukeldati ja õhkkuivatati.

## Klooripõhised lahused

Teadaolevalt on klooripõhised lahused (pleegitid) SARS-CoV-2 inaktiveerimisel efektiivsed [25], kuid tungivalt soovitatakse neid respiraatorite saastusest puhastamisel mitte kasutada, sest need kahjustavad mitut komponenti (metallist ninaribad, klambrid, ninapadjad jt) [10,17]. Uuringus Liao jt [12] teatati filtreerimiseefektiivsuse drastilisest halvenemisest, kuid teised autorid [10,17] teatasid, et kuni kolmetsükiline pleegititöötus ei mõjutanud filtri aerosooliläbilaskvust ega filtri õhuvoolutakistust. Uuringus Viscusi jt teatati, et pärast 16 tundi õhkkuivatamist olid respiraatorid puutekuivad, kuid siiski kloorilõhnaga [17].

# Respiraatorite taaskasutamise muud lähenemisviisid

USA haiguste ennetamise ja tõrje keskus (CDC) pakub lihtsa lähenemisviisi, kuidas respiraatoreid taaskasutada, ilma et oleks vaja rakendada konkreetset saastusest puhastamise meetodit. Igale tervishoiutöötajale antakse vähemalt viiest respiraatorist koosnev komplekt. Iga respiraatorit kasutatakse ühe vahetuse ja seejärel hoitakse seda enne taaskasutamist vähemalt viis päeva õhku läbilaskvas paberkotis. Selle lähenemisviisi eesmärk on vähendada või likvideerida respiraatorit potentsiaalselt saastav SARS-CoV-2 ja see tugineb tõenditele viiruse elumise kohta keskkonnas [26]. USA CDC rõhutab, et respiraatoreid tuleb pidada ikka saastunuks ja seepärast tuleb taaskasutamisel võtta ettevaatusmeetmeid, samuti tuleb saastuse eemaldamise menetlusi kasutada ainult siis, kui igale tervishoiutöötajale ei saa anda viit respiraatorit [26]. Selle lähenemisviisi rakendamisel tuleb kaalutleda respiraatori kasutuskestust ja meetodeid, kuidas hinnata, kas respiraatori omadused võivad olla halvenenud (nt kas filtreerimisomadused püsivad ja respiraator sobib kohale).

## Ettevaatusmeetmed saastusest puhastatud respiraatorite taaskasutamisel

Ettevaatusmeetmena tuleb saastusest puhastatud respiraatorit käsitada ikka saastununa ning soovitatakse järgmisi meetmeid.

- Peab kontrollima, kas respiraator on terve; mis tahes makroskoopilise lagunemise leidmisel tuleb respiraator kõrvaldada.
- Saastusest puhastatud respiraatorit tohib puudutada ainult kinnastega.
- Respiraatori puudutamisel (kandmisel, eemaldamisel, reguleerimisel jne) peab järgima ranget kätehügieeni, kasutades alkoholpõhist kätepuhastuslahust.
- Respiraatori sisemust ei tohi puudutada.
- Respiraatori välisosa tohib puudutada nii vähe kui võimalik (nt ainult reguleerimiseks).
- Respiraatori igal taaskasutamisel peab kontrollima, et see sobib kohale. Kui respiraator sobivuskatset ei läbi, tuleb respiraator kõrvaldada.

## Aegunud ühekordse kasutusega respiraatorite kasutamine

Mõne riigi varudes on FFP2- või FFP3-respiraatoreid, mis on ületanud tootja määratud säilivusaja. Tootjad määravad aegumiskuupäeva selleks, et tagada toote kvaliteet. USA CDC riikliku tööhutuse ja tervishoiu instituudi (NIOSH) praegu toimuva uuringu esimesed tulemused tõendavad, et mitu aastatel 2003–2013 toodetud N95-mudelit, millest paljud olid aegunud, toimisid edasi NIOSHi standardite kohaselt [27].

Arvestades seda tähelepanekut ja praegust suurenenud vajadust tervishoiutöötajate isikukaitsevahendite järele, võib olemasolevaid ühekordse kasutusega aegunud FFP2- ja FFP3-maskide varusid kasutada tervishoiutöötajate kaitseks, kui

- respiraatoreid säilitati ohutult kohas, kus ei olnud otsest päikesekiirgust, liigset niiskust ega kahjureid (nt putukad, närilised);
- kastidest võetud proovid tõendavad, et respiraatorid on heas töökorras, sobivad hästi kohale (pärast sobivuskatset) ning ei ole lagunened, näiteks kummipaelad ja nina pealt.

**Tabel 1. Respiraatorite saastusest puhastamise ja taaskasutamise lähenemisviiside kokkuvõte**

	Saastusest puhastamine / Filtreerimisvõime steriliseerimine†	Kohalesobivus/kuju	Meetodi põhikaalutlused	Kasutatavus tervishoiuasutustest††	Viited	
Kiiritus	Gammakiiritus	+	+/-	-	Peamisteks puudusteks peetakse respiraatorite füüsilist deformeerumist või sobivuskatse ebaõnnestumist ning aerosoolide läbitungimise suurenemist	[7,21,22]
	Antimikroobne ultraviolettkiiritus (UVGI)	+	+	+	Hiljutistes katsetes on tõendatud, et mitme töötlustsükli järel puudub füüsikaline deformatsioon, sobivuskatset ei ebaõnnestu, saastusest puhastamine on efektiivne. Kaks peamist metodoloogilist piirangut on vajalik kiiritusdoos ja respiraatori ehitusest tingitud varjud, mis võivad takistada häirida saastusest puhastamist	[8-10,12,13,17,23,24]
Gaas	Etüleenoksiid	+	+	+	Püsiv risk, et respiraatorisse võib jääda etüleenoksiidi, mis on kasutajale kahjulik	[10,17,18]
Aur	Auruga steriliseerimine	+	+	+/-	Respiraatori füüsikaline deformatsioon või sobivuskatse ebaõnnestumine	[7-13]
	Autoklaav	+	+/-	+	Pärast üht saastusest puhastamise tsüklit ei säilitanud mõni respiraator toimivust. Ühes uuringus suurendas meetod ühel respiraatorimudelil aerosooli läbilaskvust	[18,22]
Soojus	Niiske soojusega inkubeerimine (NHI)	+	+	+/-	Meetodi tulemusel võib tekkida füüsikaline deformatsioon (seesmise vahust ninapadja irdumine respiraatori seest)	[8-10,13]

		Saastusest puhastamine / Filtreerimisvõime steriliseerimine†		Kohalesobivus/kuju	Meetodi põhikaalutlused	Kasutatavus tervishoiuasutustest††	Viited
	Kuivkuumutamine (DHT)	+	+	+/-	Meetodi tulemusel võib kõrgel temperatuuril tekkida füüsikaline deformatsioon, filtreerimisomadused halvenesid pärast mitut saastusest puhastamise tsüklit	✓/✗	[12,17,19]
	Mikrolained	hindamata	+/-	hindamata	Respiraatorid võivad sulada	✗	[17]
Kemikaal	Vesinikperoksiidi aur (HPV)	+	+	+	Peamisteks võimalikeks puudusteks peetakse vesinikperoksiidi kahjulikku kontsentratsiooni, mis võib püsida respiraatoril, ja võimalikku deformeerumist, mis võib toimuda pärast korduvaid tsükleid	✓/✗	[7,10,14-19]
	Alkohollahus	+	+/-	hindamata	Täheldati filtreerimisomaduste halvenemist pärast sulaniidist puhutud kanga sukeldamist ja õhkuivatamist või pärast järgnevat saastusest puhastamise tsükleid	✗	[12,19]
	Kloorilahus	+	+/-	-	Mitme komponendi kahjustamine (metallist ninariba, klambrid, ninapadi jne) ja kloorilõhna püsimine. Vastuolulised tulemused mõju kohta filtreerimisele	✗	[10,12,17,25]
Viis respiraatorit tervishoiutöötaja kohta järjest taaskasutamiseks		hindamata	hindamata	hindamata	Seda pakub USA CDC ja selle aluseks on respiraatorit potentsiaalselt saastava SARS-CoV-2 aegsõltuv inaktiveerumine	✓	[26]

Saastusest puhastamine / steriliseerimine: +: efektiivne; „hindamata“: ei hinnatud. Filtreerimisvõime ja kohalesobivus/kuju: +: püsib; -: kaob; +/-: piiratud hooldus või eri kirjandusandmete vastuolu; „hindamata“: ei hinnatud. Kasutatavus tervishoiuasutustes: ✓: kasutatav; ✗: mittekasutatav; ✓/✗: piirangutega kasutatav.

Saastusest puhastamise / steriliseerimise efektiivsust on uuritud eri mikroorganismidel; täielik teave on eespool punktides ja viidetes.

†† Kasutatavus tervishoiuasutustes arvestab meetodi kättesaadavust tervishoiuasutuses ja meetodi üldist mõju saastusest puhastamisele / steriliseerimisele, filtreerimisele ja kohalesobivusele/kujule.

## Järeldused

Eespool esitatud meetodeid respiraatorite saastest puhastamiseks ja taaskasutamiseks peetakse üksnes erakorralisteks viimase võimaluse meetoditeks respiraatorivarude vähesuse korral. Neid tuleb kohaldada pärast olukorra hoolikat hindamist ja pärast seda, kui on uuritud võimalust kasutada respiraatoreid ressursiteadlikult ja ratsionaalselt, näiteks pikendades nende kasutuskestust, ning järgides respiraatoritootjate kasutusjuhendeid. Riiklikke tervishoiuasutusi ja selliseid meetodeid uurivad rühmi julgustatakse jagama tulemusi kohe, kui need on kättesaadavad.

Respiraatorite saastusest puhastamise meetodite hulgas on mitu võimalust, millel on soodus efektiivsus ja mis samas ei halvenda vähemalt mõne saastusest puhastamise tsükli jooksul filtreerimisomadusi ega hingavust. Need on näiteks antimikroobne ultraviolettkiirgus (UVGI), etüleenoksiid, vesinikperoksiidi aur ning mõningal määral kuivkuumutamine ja niiske soojus. Kui lähtuda soodsast efektiivsusest, olulise lagunemise mitteteketamisest ja praktilisusest tervishoiuasutustes, võib olla praktilisem variant anda igale tervishoiutöötajale komplekt, milles on viis järjest taaskasutatavat respiraatorit. Saastest puhastamist vesinikperoksiidi auru või etüleenoksiidiga saab kaalutleda üksnes siis, kui on võimalik määrata ohutu aurustumisaega ja -protokoll.

Igal siin aruandes kirjeldatud meetodil on puudusi, mida arvestada enne otsustamist, mis meetod sobib konkreetses olukorras kõige paremini. Iga meetodi mõju sõltub ka kohaldatavatest eritingimustest ja respiraatori mudelist.

Soovitav on taaskasutatavad vahendid enne steriliseerimist puhastada, kuid puuduvad andmed selliste ühekorras kasutusega vahendite nagu respiraatorite efektiivsete ja mittekahjustavate puhastusmeetodite kohta. Taaskasutatavate vahendite ohutuse tagamiseks on vaja kasutatavate steriliseerimismeetodite kvaliteedikontrolli (sealhulgas kehtestada kvaliteedinäitajad).

## Osalenud ECDC eksperdid

Tähestiku järjekorras: Agoritsa Baka, Orlando Cenciarelli, Scott Chioffi, Bruno Ciancio, Diamantis Plachouras, Carl Suetens, Klaus Weist





## Viited

1. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Use of respirators and surgical masks for protection against healthcare hazards 2020 [updated 19 November 2018 23 April 2020]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/healthcarehps/respiratory.html>.
2. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Safe use of personal protective equipment in the treatment of infectious diseases of high consequence 2014 [cited 23 April 2020]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/safe-use-of-ppe.pdf>.
3. World Health Organization (WHO). Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance, 6 April 2020. 2020 [14 April 2020]. Available from: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331215/WHO-2019-nCov-IPCPE\\_use-2020.1-eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331215/WHO-2019-nCov-IPCPE_use-2020.1-eng.pdf).
4. 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.
5. 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>.
6. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*. 2020.
7. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Hergebruik mondmaskers en isolatiekleding 2020 [updated 30 March 2020 14 April 2020]. Available from: <https://www.rivm.nl/documenten/hergebruik-ffp2-mondmaskers>.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Fisher EM, Williams JL, Shaffer RE. Evaluation of microwave steam bags for the decontamination of filtering facepiece respirators. *PLoS One*. 2011;6(4).
12. 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.
13. 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.
14. Battelle. Final Report for the Bioquell Hydrogen Peroxide Vapor (HPV) Decontamination for Reuse of N95 Respirators 2016 [24 April 2020]. Available from: <https://www.fda.gov/media/136386/download>.
15. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Emergency Use Authorisations. Personal Protective Equipment. 2020 [updated 15 April 2020 15 April 2020]. Available from: <https://www.fda.gov/medical-devices/emergency-situations-medical-devices/emergency-use-authorizations#covid19ppe>.
16. Kenney P, Chan BK, Kortright K, Cintron M, Havill N, Russi M, et al. Hydrogen Peroxide Vapor sterilization of N95 respirators for reuse. *medRxiv*. 2020.
17. 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.
18. Kumar A, Kasloff SB, Leung A, Cutts T, Strong JE, Hills K, et al. N95 Mask Decontamination using Standard Hospital Sterilization Technologies. *medRxiv*. 2020.
19. 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.
20. 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.

21. Feldmann F, Shupert WL, Haddock E, Twardoski B, Feldmann H. Gamma Irradiation as an Effective Method for Inactivation of Emerging Viral Pathogens. *Am J Trop Med Hyg.* 2019 May;100(5):1275-7.
22. Lin T-H, Tseng C-C, Huang Y-L, Lin H-C, Lai C-Y, Lee S-A. Effectiveness of N95 Facepiece Respirators in Filtering Aerosol Following Storage and Sterilization. *Aerosol and Air Quality Research.* 2020;20:833-43.
23. Fisher EM, Shaffer RE. A method to determine the available UV-C dose for the decontamination of filtering facepiece respirators. *Journal of applied microbiology.* 2011;110(1):287-95.
24. Mills D, Harnish DA, Lawrence C, Sandoval-Powers M, Heimbuch BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American journal of infection control.* 2018;46(7):e49-e55.
25. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Disinfection of environments in healthcare and nonhealthcare settings potentially contaminated with SARS-CoV-2 [02 May 2020]. Available from: [https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Environmental-persistence-of-SARS\\_CoV\\_2-virus-Options-for-cleaning2020-03-26\\_0.pdf](https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Environmental-persistence-of-SARS_CoV_2-virus-Options-for-cleaning2020-03-26_0.pdf).
26. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators 2020 [updated 9 April 2020]. Available from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>.
27. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Release of Stockpiled N95 Filtering Facepiece Respirators Beyond the Manufacturer-Designated Shelf Life: Considerations for the COVID-19 Response 2020 [updated 6 March 2020]. Available from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/release-stockpiled-N95.html>.