**Otsonin käyttö kasvitautientorjuntaan sekä hygieniaan. Menetelmät eri kasvitaudeille**

Olen tähän kerännyt koosteen eri lähteistä otsonista. Materiaalia on löydettävissä runsaasti sekä suomen että englannin kielellä. Osa tiedoista perustuu omaan koetoimintaan sekä Turun yliopiston kanssa tehtyyn otsonivesiprojektiin Järventilalla kesät 2021-2022

# Otsonista yleisesti

Otsonin hajun voi kokea ukonilmalla salamoidessa.

Otsoni on kolmesta happiatomista koostuva korkean energiatason, epävakaa molekyyli (O3). Ylimääräinen happiatomi yrittää yhdistyä minkä tahansa mikro-orgasmin kanssa tilan vakauttamiseksi. Kun se kohtaa taudinaiheuttajia ja mikro-organismeja, kuten bakteereja, alkueläimiä, viruksia, leviä ja biofilmejä ja orgaanista jätettä tai ympäristön epäpuhtauksia, otsoni reagoi antimikrobisena hapettimena.

Otsoni on voimakkain kaupallisesti saatavilla oleva antimikrobinen hapetin. Kun otsonikaasu liuotetaan veteen, se tappaa voimakkaaseen hapetukseen perustuen taudinaiheuttajat, mikro-organismit, tuhoaa orgaaniset epäpuhtaudet, hajottaa epäorgaaniset epäpuhtaudet, tappaa biofilmit ja hajottaa klooriamiinit. Tästä syystä otsonia hyödynnetään laajalti muun muassa veden desinfioinnissa.

Otsoni on epävakaa kaasu, joka hajoaa ilmassa nopeasti. Luonnossa otsoni esiintyy vain ilman seoksena. Kaasun puoliintumisaika on hyvin lyhyt. Korkea lämpötila nopeuttaa hajoamista. Suurimmat luonnossa mitatut pitoisuudet ovat luokkaa 60-100 ppb. Yleensä maanpinnalla ei esiinny otsonia, koska se hajoaa hyvin nopeasti.  
Hajoamisessa otsonimolekyylistä syntyy kaksi happimolekyyliä ja yksi yksiatominen happi, joka yhdistyy toisen vastaavan kanssa happimolekyyliksi tai reagoi välittömästi esim. biologisen materiaalin kanssa. Eli puhutaan hapetusreaktiosta. Ilmassa olevan otsonin on havaittu torjuvan ja hidastavan taudinaiheuttajien kasvua ja tuhoavan niitä.

**Otsoni** O2 + O = O3

* 1 ‰ = 0.1 % = 1000 ppm = 1 ml/l (1 O3/1000 kaasumolekyyliä)
* 1 ppm = 0.0001 % = 1 μl/l (1 O3/1 000 000 kaasumolekyyliä)
* 1ppm = 1000 ppb
* 1 mg/l (vedessä) ~0.4 ppm
* Reaktiivisuutensa vuoksi otsoni on lyhytikäistä
* Todellisessa tilassa otsoni hajoaa reagoimalla
* Mitä lämpimämpää, sitä nopeammin otsoni hajoaa
* Myrkyllistä: Raja-arvot ihmiselle 0.05-0.1 ppm
* Kaupunki-ilmassa voi olla 20-40 ppb (0.02-0.04 ppm)

**Otsonin hajoamistaulukko**

**Otsoni terveydelle haitallinen aine**

Otsoni kulkeutuu elimistöön hengitysteitä pitkin, jopa keuhkorakkuloihin asti. Erityisen herkkiä otsonille ovat lapset ja hengitystiesairaat kuten astmaatikot. Otsoni hapettaa keuhkosoluja. Muutokset solujen pinnoilla aiheuttavat tulehduksia ja vaurioittavat hengitysteitä, mikä vaikeuttaa hapen ja hiilidioksidin kulkua hengitysilman ja verenkierron välillä.

Suuret lyhytkestoiset otsonipitoisuudet voivat aiheuttaa akuutteina oireina keuhkojen toiminnan heikkenemistä, hengitysvaikeuksia, yskää, rintakipua, tulehduksia ja vastustuskyvyn heikkenemistä. Lisäksi otsoni ärsyttää silmien, nenän ja kurkun limakalvoja. Otsoni voi pahentaa astmaa sairastavien oireita sekä siitepölyn aiheuttamia allergiaoireita.

Matalatkin otsonipitoisuudet voivat pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistuksessa aiheuttaa kroonisia terveyshaittoja, kuten astmaa. Vaikutuksille ovat erityisen alttiita otsonointia suorittavat työntekijät, mutta riski on minimoitavissa työturvallisuusohjeita noudattamalla. Otsonoinnin haitat riippuvat otsonin pitoisuudesta, altistuneen terveydentilasta, fyysisestä rasituksesta altistuminen aikana, altistuksen kestosta sekä geneettisistä tekijöistä.

Otsoni on erityisen ärsyttävä ylemmille ja alemmille hengitysteille. Ominaishaju on helposti havaittavissa alhaisissakin pitoisuuksissa 0,01–0,05 ppm. Otsoni aiheuttaa paikallista silmien ja limakalvojen ärsytystä ja saattaa aiheuttaa myös keuhkopöhöä suurissa altistuksissa. Otsoni hajoaa itsestään normaaleissa olosuhteissa hapeksi, joten sitä ei esiinny kuin muodostumispaikkansa välittömässä läheisyydessä. Otsonivalmistuslaitos tulee pitää siistinä, pöly ja epäpuhtaudet aiheuttavat syttymisvaaran ollessaan kosketuksissa ylimäärähapen tai -otsonin kanssa. Etenkin rasva, öljy ja hiilivedyt aiheuttavat vaaratilanteen. Otsonille tarkoitettujen laitteiden tulee olla puhdistettuja otsoni-happikäyttöön sekä pöly- ja öljyvapaita. Otsonilla on hyvin matala hajukynnys, 0,04 ppm, minkä ansiosta ihminen yleensä havaitsee mahdolliset otsonivuodot tai muut liialliset pitoisuudet ennen haitallisten vaikutusten syntymistä.

Suomen työterveyslaitos on laatinut työperäiselle altistumiselle taulukossa 4 olevat raja-arvot otsonille,  
8 tunnin pitoisuuskeskiarvo 0,05 ppm sekä 15 min altistus 0,2 ppm.

**Otsonin tuottaminen**

Otsonia voidaan tuottaa johtamalla ilmaa tai happea joko UV-valon tai sähköenergiakentän läpi, josta sähkön hyödyntäminen on vallitseva tuotantotapa. Tätä otsonin tuotantotapaa kutsutaan ns. koronapurkausmenetelmäksi. Otsonia on mahdollista tuottaa sähköenergiaa hyödyntämällä elektrolyyttisesti myös puhtaasta vedestä, jolloin sivutuotteena otsonin lisäksi tuotetaan pieniä määriä vetyä.

Otsonia voidaan hyödyntää joko kaasuna tai imeytettynä veteen

**Otsonia voidaan siirtää veteen**

* Viemällä otsonikaasu vesiastian pohjalle. ”Kuplittamalla” hävikki on 70%
* Sekoittamalla vesivirtaukseen venturiputken avulla. Hävikki 30%
* Kontaktoimalla venturiputken kautta muodostettu otsonivesi erikoisrakenteisessa imeytyssekoitussäiliössä. Tällöin hävikki on lähes olematon
* Valmistus elektrolyyttisesti suoraan ultrapuhtaasta vedestä. Hävikki 0 %

**Otsonoitavan veden laatu**

Pääperiaate on, että mitä kylmempää ja puhtaampaa vesi on, sitä helpommin siihen on liuotettavissa otsonia. Otsoni reagoi kaikkien veteen liuonneiden mineraalien, humuksen ja biologisen materiaalin kanssa. Nämä tekijät lisäävät veden biofilmikasvustoa. Biofilmikasvusto aiheuttaa ongelmia esim. suuttimissa. Korkea veden pH nopeuttaa otsonin hajoamista merkittävästi, jolloin riittävän jäännösotsonitason saavuttaminen vaikeutuu.

**Kasvien kestävyys otsonikaasulle sekä otsonivedelle**

Viljelykasvit kestävät otsonikaasua vaihtelevasti. Jatkuva altistus voi johtaa sadonalennuksiin,  
Kaasumaisessa muodossa otsoni kulkeutuu ilmarakojen kautta kasvin sisään. Lehtiin muodostuu helposti kloroosia, joka heikentää yhteyttämistä. Näin ollen käyttö kaasumaisessa muodossa ei onnistu kasveilla.  
Toisaalta kasvien kestävyys veteen liuotettuun otsoniin on varsin hyvä. Ei ole havaittu isojenkaan pitoisuuksien 1000-3000 ppb aiheuttavan kasveilla lehtivihreäpitoisuuden vähentymistä ja sitä kautta sadonalennuksia. Otsonipitoisuus vedessä häviää hyvin nopeasti, joten vahvojen pitoisuuksien kuten yli 3000 ppb antaminen kasveille on teknisesti aika mahdotonta.

**Jäämättömyys**

Mittauksissa ei ole pystytty osoittamaan kasvitautien torjunnassa syntyviä otsonijäämiä. Otsonivesikäsittely on todettu poistavan kemikaalijäämiä elintarvikkeista.

# Kasvitaudit

Otsonin käyttö taudinaiheuttajamikrobien poistamiseen kasvien pinnoilta perustuu niiden herkkien vaiheiden tuntemiseen, jolloin ne voidaan tuhota otsonilla. Tällaisia otsonille herkkiä vaiheita ovat kuivuneet rihmastot ja itiöt, parveiluitiöt ja herkät valoon tottumattomat rihmastot.  
Taudinaiheuttajamikrobit, ollessaan herkässä tilassa (kuivat itiömuodot), imevät itseensä otsonivettä ja tuhoutuvat otsonin vaikutuksesta. Valoon tottumattomat mikrobit kuten mm. Pythium-sieni tuhoutuu helposti kosteassa muodossa. Kasvutautien torjunta-ajan kosteus ja lämpötila ovat merkitseviä tekijöitä. Siksi torjunta ajoitetaan päivän kuivimpaan ajankohtaan.

**Virustaudit**

Tyypillisesti virustaudit leviävät kasvinesteissä kasvista toiseen. Viruksen ollessa jo kasvissa ei otsonilla voida sitä tuhota. Ainoastaan levittäjiä, kuten kirvoja poistamalla torjunta onnistuu. Otsonivedellä voidaan torjua kirvat niiden kehityskaaren alussa. Kasvihuoneiden ja viljelyalustojen desinfiointi poistaa virukset tehokkaasti, kunhan käsiteltävät kohteet ovat kuivia. Käsittelypitoisuus 300 ppb ja yli.

**Bakteerit**

Bakteerit ovat helposti torjuttavissa otsonivedellä. Otsonivesi tuhoaa bakteerit niin vedessä, kuin käsiteltävissä rakenteissa. Käsittelypitoisuus 200 ppb ja yli.

**Sienitaudit**

Sienitautien tuhoaminen on jo vähän haasteellisempi otsonivedellä. Torjunta ei onnistu, jos sienirihmasto on päässyt tunkeutumaan solukkoon sisään. Niitä ei voi tuhota edes otsonikaasulla. Kuitenkin tuhoaminen onnistuu kuivassa itiömuodossa (lepovaihe).

**Sienitaudit, härmä**

Härmäsienet muodostavat lehtien pinnoille ohutta rihmastoa. Ne saavat ravinteet sekä kasvunesteet isäntäkasvin solukoista loisena. Härmäsienen itiöissä on poikkeuksellisen korkea kosteuspitoisuus verrattuna muihin sienilajeihin, jolloin jo pelkkä korkea ilmankosteus saa itiön itämään. Härmä on torjuttavissa vain, kun itiö ottaa otsonivettä itääkseen. Torjunta tapahtuu iltapäivisin lämpötilan ollessa korkea ja ilman kuiva. Infektiovaihe kestää 6-12 tuntia. Jo syntynyttä rihmastoa ei pysty tuhoamaan otsonivedellä eikä kaasulla. Tautipaineen ollessa korkea voi kasveja joutua käsittelemään jopa 2 kertaa vuorokaudessa. Otsonivesipitoisuuden tulisi olla yli 300 ppb käsittelyhetkellä. Mitä korkeampi sitä parempi.

**Sienitaudit, harmaahome**

Kun harmaahome on päässyt muodostamaan rihmaston kasvin pinnalle, sitä ei voida torjua otsonivedellä eikä otsonikaasulla. Harmaahome on torjuttavissa vain itiövaiheessa, ennen kuin taudinaiheuttajaitiö imee alkukosteuden itiön kasvuun lähtöön. Torjutaan iltapäivisin kosteuden ollessa minimissään. Käsittelypitoisuus 300 ppb tai yli.

**Lehtihomeet**

Lehtihomeet ovat loisia, jotka elävät elävien kasvien pinnoilla. Sieni kasvattaa rihmastoa kasvin sisällä ja tuhoaa kasvusolukon. Kuromaitiöt tulevat esille kasvin solukon ilmaraoista ja leviävät tuulen mukana kasvista toiseen. Itiöiden jatkokehitys onnistuu vain itiön lentäessä kasvin lehdelle, jossa on vesipisaroita.  
Vesipisaroissa vapautuu uivia parveilijoita, jotka uivat kasvin hengitysaukoista sisään. Vaihe kestää 1-3 tuntia. Lehtihome on helposti torjuttavissa otsonilla, sillä parveilijat ovat erittäin herkkiä.

**Pythium-sieni**

Taimipolte- ja juurimätää aiheuttavat taudit ovat maalevintäisiä. Sienirihmasto voi elää ja säilyä pitkään maaperässä. Sieni muodostaa nopeasti rihmastossa pesäkkeitä, joista vapautuu parveilijaitiöitä maaveteen. Maavedestä kasvin hiusjuuret imevät itiöt sisäänsä. Itiöt kulkeutuvat kasvinesteessä aina lehtiin saakka. Merkittävin leviämisreitti on saastunut kasteluvesi ja maa-aines. Pythium -sieni on erittäin herkkä otsonivedelle rihmasto sekä parveiluitiöinä. Saastuneen kasvin sisällä sientä ei voi torjua. Myös jo saastuneesta maa-aineksesta sitä ei voi torjua otsonivedellä. Otsonivesi tuhoutuu välittömästi maa-aineksessa. Sienen torjunta perustuu puhtaaseen kasvi- ja maa-ainekseen sekä kasteluveden ja viljelyalustojen pitämiseen puhtaana pythium-sienestä. Parhaan tulokseen saa otsonoimalla raa’an kasteluveden ja desinfioimalla otsonivedellä kasvualustat sekä putkistot. Kasteluveden Redox -pitoisuus ei saisi ylittää 800 mv tai otsonipitoisuus 500 ppm.

**Fusarium -sienet sekä samankaltaiset**

Lakastumistautia aiheuttavat sienet tuhoavat kasvin johtojänteet. Sieni etenee aina lehtiin saakka. Lehtien alapinnoilla muodostuu ilman kautta leviäviä itiöitä, jotka voivat säilyä pitkäänkin. Myös kasvualustassa ja kuolleissa kasvinosissa itiöt säilyvät pitkään. Kun itiöiden lepotila purkautuu saadessaan otsonivettä, ne tuhoutuvat. Hyvä desinfiointi kasvukauden lopussa sekä alussa tuhoaa tämänkaltaiset sienet. Otsonivesikäsittely kannattaa tehdä kohteen ollessa mahdollisimman kuiva, jotta myös kestomuodot saadaan tuhottua. Otsonivesi tuhoaa myös rihmaston, toisin kuin esim. härmäsienen.

# Otsonimenetelmän pääperiaatteet taudintorjunnassa

Taudin aiheuttajat saatetaan lepotilaan. Torjutaan kun kasvusto on mahdollisimman kuiva ja torjunta-ajan lämpötila päivällä korkeimmillaan. Asentamalla kosteusmittari torjuttavaan tilaan, nähdään päivän kuivin hetki. Katteenalaisissa viljelmissä tämä toteutuu iltapäivällä. On kuitenkin muistettava, että kasvusto ei käsittelyn jälkeen jää yöksi märäksi. Sateen jälkeen on odotettava, että maan pinta on kuivahtanut ja ei nosta kasvuston kosteutta.  
  
Otsoniveden kuivuminen lehtien pinnoilta tulisi kestää 5- 20 minuuttia, torjuttavan taudinaiheuttajamikrobista riippuen. Ruiskutettavan otsoniveden pisarakoko tulisi olla mahdollisimman iso.  
Keskimäärin kastelukannun sihdistä tuleva pisarakoko on optimaalinen. MItä pienempi pisarakoko, sitä nopeammin otsoni siitä häipyy.

Sadetuslinjastoissa huolehdittava, että kasvit eivät saa otsonoimatonta vettä lehdille. Putkilinjastot tulisi olla tyhjät ennen otsonivesisadetusta.

Käsittelyiden määrä riippuu taudinaiheuttajan riskitasosta kulloisessakin kasvuvaiheessa. Kasvien infektiomallit olisi hyvä selvittää.

**Otsonin käyttö lannoitekastelujärjestelmissä**

Puhdistaa putkistot ja laitteistot taudinaiheuttajista. Ei ole havaittu vioittavan kasvin juuristoa koska otsoni hajoaa heti ollessaan tekemisessä maa-aineksen ja lannoitteiden kanssa. Käytetään raakaveden puhdistukseen patogeeneistä. Jäännösotsonin pitoisuus otsonoidun veden mittaushetkellä pitäisi olla noin 0,5 mg/l ~ 2000 ppb ennen lannoitteiden sekoitusta.

**Taimiaineksen upotus otsoniveteen**

Paljasjuuristen taimien upotuskastelu voi aiheuttaa vioituksia hiusjuurille. Toisaalta pottitaimien upotus ei vioita juuristoa, koska turve hajoittaa otsonin heti. Juurrutetun kasvuston upotuskastelussa pitoisuus 500-1000 ppb on riittävä ja käsittelyssä taimet käyvät vain hetkellisesti (1-5min) otsonivedessä.

**Otsonin käyttö tuotevarastossa**

Desinfiointi voidaan tehdä shokkikaasutuksena tähän tarkoitukseen tehdyllä kaasugeneraattorilla. Laitteistolla annetaan korkea otsonikaasupitoisuus 2000-4500 ppb tilaan noin 10 minuutiksi. Herkät varastotuotteet, kuten omena saa vioituksia helposti, joten suositellaan näiden poistamista ennen kaasutusta. Laitteissa on yleisesti otsoninpoisto tilasta käsittelyn jälkeen. Tuotevaraston pinnat tulee olla kuivat ja suhteellinen kosteus alle 80 %.   
Tuotevarasto voidaan pestä myös otsonivedellä. Parhaiten desinfiointi onnistuu, kun tila puhdistetaan kaikista karikkeista ja roskasta. Puhdistus painepesurilla otsonoidulla vedellä ei onnistu, koska otsoni häviää heti tullessaan ulos korkeapainesuuttimesta. Desinfiointihetkellä otsonivedellä pintojen tulee olla kuivat.

**Otsonin käyttö tyhjissä kasvihuoneissa**

Tilat, kuten tuotevarastot voidaan shokkikäsitellä kaasulla. Ylimääräinen lika, karike ja kasvinjätteet poistetaan tilasta. Annetaan 1-5 shokkikäsittelyä korkealla otsonikaasupitoisuudella tilaan muutaman päivän välein. Tilassa ei saa olla elävää kasvustoa. Huomioitava, että kumiosat ovat herkkiä hapertumaan korkeissa otsonipitoisuuksissa. Katso taulukko **Eri materiaalien kestävyys otsonille** sivulla 9.

**Otsonin käyttö viljelykalusteiden ja tarvikkeiden desinfioinnissa**

Desinfiointi tapahtuu korkealla 2000-3000 ppb otsovesipitoisella vedellä. Ylimääräinen lika, karike ja kasvijätteet poistetaan pinnoilta. Pintojen tulee olla kuivat tai varmistettava riittävä otsoniveden määrä sekä pitoisuus kontaktissa ennen pesua.

**Otsoni ja tuholaiseläimet**

Vihannespunkit ja kirvat, joilla on ohut ihokuori, otsoni imeytyy ihon lävitse ja tuhoaa ne. Sen sijaan luteille ja kovakuorisille tuhoeläimille ei saada mitään vaikutusta. Kimalaisille ja mehiläisille ei ole toksista otsonivesikäsittelyssä (alle 1000 ppb) vaikutusta. Ripsiäisiin on saatu jonkinlainen vaikutus mutta ei riittävä.

**Lähteet**:

Koetoiminta Jari Suominen, Turun Yliopisto Esa Tyysjärvi, Allergialiitto, Wikipedia, Vesa Nissinen /Theseus  
Aineisto USA Trio3 Company, National Sanitation Foundation (NSF), Särkkä-Tirkkonen & Leskinen EU hanke, Tuomas Tamminen HAMK 2014, QLIF, G.Virtanen laitehygienia elintarviketeollisuudessa, Flemming 1999, TRoller 1991, Cultivazone Espanja, USA patentti no 6817541

# Eri materiaalien kestävyys otsonille

Huomioi laitteistojen ja niiden materiaalien, kuten pumppujen, venttiilien ja siirtoletkujen materiaalien kestävyys otsonille. Esimerkiksi luonnonkumi hajoaa erittäin nopeasti ollessaan tekemisissä otsonin kanssa.

ABS plastic B – Good Kalrez A – Excellen  
Acetal (Delrin®) C – Fair Kel-F® A – Excellent  
Aluminum A – Excellent LDPE C – Fair  
Brass B – Good Natural rubberD – Poor  
Bronze B – Good Neoprene C – Fair  
Buna N (Nitrile) D – Poor NORYL® B – Good  
Carbon Steel C – Fair Nylon D – Poor   
Cast iron C – Fair PolycarbonateA – Excellent   
Ceramic A – Excellent Polyetherether Ketone (PEEK) A – Excellent  
ChemRaz (FFKM) B – Good Polyethylene B – Good  
Copper A – Excellent Polypropylene B – Good  
CPVC A – Excellent PTFE A – Excellent  
EPDM B – Good PVC B – Good  
Fluorocarbon (FKM) A – Excellent PVDF (Kynar®)A – Excellent  
Hastelloy-C® A – Excellent Silicone A – Excellent  
HDPE B – Good stainless steel – 304B – Good  
Hypalon® A – Excellent stainless steel – 316 A – Excellent  
Hytrel® C – Fair Titanium A – Excellent  
Tygon® B – Good Viton® A – Excellent

# Kerättyä tietoa kirjallisuudesta otsonista ruokateollisuudessa ja pintahygieniassa

Pilkottujen tuorekasvisten hygienia: kirjallisuuskatsaus, R. Kuisma, H-R Kymäläinen, Maataloustieteiden laitos – Helsingin yliopisto, julkaisuja 37, 2015 <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153124/PILKOTTUJEN%20TUOREKASVISTEN%20HYGIENIA%20-%20KIRJALLISUUSKATSAUS.pdf?sequence=2&isAllowed=y> saatavilla internet 20.8.2020

Otsonoitu vesi tuotetaan lisäämällä veteen kaasumaista otsonia kuplivaan muotoon, tai veden elektrolyysillä. Otsonin pitoisuuden ilmoittamistapa ei näytä olevan tutkimusartikkeleissa kovin vakiintunut. Horwitzin ja Cantalejon (2004) kirjallisuuskatsauksen mukaan otsonia on käytetty prosessoiduille tuorekasviksille pääasiassa pesuveden mukana. Otsonilla on raportoitu olevan tehoa erityisesti yhdessä muiden hygienisointitekniikoiden kanssa. Jos otsonin pitoisuutta ja käsittelyaikaa ei valita ja ylläpidetä huolella, etenkin herkkiin tuotteisiin, kuten salaattiin, voi tulla esimerkiksi värivaurioita. Millerin ym. (2013) kirjallisuuskatsauksen mukaan otsonin edut ovat seuraavat: 1) se on eräs aktiivisimmista ja voimakkaimmista hapettavista yhdisteistä, 2) se hajoaa nopeasti hapeksi jättämättä jäämiä, 3) se ei tuota myrkyllisiä halogeeniyhdisteitä, 4) sen toiminta on hyvin nopeaa ja 5) se tuhoaa monenlaisia mikrobeja. Mikrobien tuhoutumiseen vaikuttavat mikrobin tyyppi, käsiteltävä tuote, orgaanisen aineen määrä ja tyyppi, lämpötila, pH, otsonin pitoisuus ja laatu sekä kontaktiaika. Porkkana Otsonia on tutkittu porkkanan käsittelyssä pääosin 2000- luvulla (liite 1, taulukko 4). Osassa tutkimuksia porkkanoiden käsittelyyn on käytetty otsonoitua vettä, osassa varastotilan ilmaa on otsonoitu. Puolessa tutkimuksista keskityttiin kasvi- ja varastotautien aiheuttajamikrobien hallintaan (Liew ja Prange 1994, Forney ym. 2007, Hassenberg ym. 2008, Hildebrand ym. 2008, Sharpe ym. 2009). Kaikissa näissä tutkimuksissa havaittiin otsonin hyödyllinen vaikutus kyseisiin mikrobeihin, mutta muut porkkanan laatuominaisuudet joko säilyivät ennallaan tai heikkenivät tutkimuksesta riippuen. Otsonilla oli vaikutusta myös muiden mikrobien hallinnassa. 40 Salaatti Salaatin otsinikäsittelyä on tutkittu runsaasti. Otsonikäsittelyn tehokkuus vaihtelee riippuen otsonointimenetelmästä ja salaattityypistä, vaikka käsittelyolosuhteet, kuten lämpötila ja alkuperäiset mikrobimäärät, olisivatkin samankaltaiset (Koseki ym. 2001, Singh ym. 2002, Rodgers ym. 2004). Koseki (2001) raportoivat, että salaatin liotus otsonoidussa vedessä (5 mg/l, 10 min) vähensi aerobisten mesofiilisten mikrobien määrää 1,5 log10 pmy/g. Rodgers ym. (2004) havaitsivat, että mesofiilinen bakteerien määrä laski revityssä salaatissa otsonoidulla vedellä pesun jälkeen (3 mg/l, 5 min) noin 4,0 log10 pmy/g. Näiden bakteerien määrä kasvoi varastoinnin aikana (4 °C, 9 vrk) 2,0-3,0 log10 pmy/g. Ölmezin ja Akbasin (2009) tutkimuksessa lämpötilalla (10-26 °C) ei ollut merkitsevää vaikutusta otsonikäsittelyn tehokkuuteen salaatissa. Otsonipitoisuudet olivat 0,5-4,5 ppm, käsittelyajat 0,5-3,5 min ja tutkittavana mikrobina L. monocytogenes. Kimin ym. (1999a) tutkimuksen mukaan kuplitetun otsonin käyttö on todennäköisesti tehokkaampi kuin pelkkä salaatin kastaminen otsonoituun veteen. Kun vettä kierrätetään vihannesten prosessoinin aikana, veteen todennäköisesti kertyy likaa ja mikrobikontaminantteja. Siksi otsonikäsittely voi olla tehoton tavanomaisessa vihannestenjalostusympäristössä. Kim ym. (1999b) pesivät silputtua salaattia otsonoidulla vedellä (1,3 mM otsonia, virtausnopeus 0,5 l/min). Kokonaisbakteerimäärät vähenivät noin 2 log pmy/g. Kun otsonia (1,3 mM) kuplitettiin 3 minuuttia seoksessa, jossa oli silputtua salaattia ja vettä, mesofiilisten ja kylmäkestoisten bakteerien määrät pienenivät 1,4 ja 1,8 log pmy/g. Mikro-organismien määrät salaatin toisessa erässä pienenivät 5 min otsonikäsittelyn aikana vastaavasti 3,9 ja 4,6 log. Pesemällä silputtua salaattia vain vedellä kokonaispesäkemäärä vähentyi 0,74-1,0 log pmy/g. Achen ja Yousef (2001) totesivat, että käytännössä 5 minuutin käsittelyaika tuoretuotteiden pesemiseksi olisi teollisuuslaitoksissa todennäköisesti epäkäytännöllistä. Nopea sekoitus otsonointiprosessin aikana paransi Kaessin ja Weidemannin (1968) mukaan selvästi otsonin kykyä inaktivoida mikroorganismeja salaatista. Ultraääni ja ravistelu tehostivat otsonin desinfiointikykyä verrattuna alhaisella nopeudella tehtyyn sekoitukseen. Yukin ym. (2006) tutkimuksessa otsonikäsittely yhdistettynä orgaaniseen happokäsittelyyn oli tehokkaampi vähentämään tutkittujen patogeenien (E. coli O157: H7 ja Listeria monocytogenes) mikrobipopulaatioita salaatissa kuin pelkästään otsonikäsittely. Yhdistelmäkäsittelyn antimikrobinen vaikutus ei kuitenkaan säilynyt varastoinnin aikana. Tutkitut otsonin pitoisuudet olivat 1, 3 ja 5 ppm, vaikutusajat 0,5, 1, 3 tai 5 min. Lisäksi tutkittiin 3 ppm otsonin ja 1 % orgaanisen hapon (etikka-, sitruuna- tai maitohappo) yhteisvaikutusta 1 min käsittelyssä. Salaatit varastoitiin 15 °C:ssa 10 vrk ajan. 5 ppm, 5 min otsonikäsittely pienensi E. coli -määrää 1,09 log ja L. monocytogenesin määrää 0,94 log. Vähenemät olivat merkityksettömät verrattuna 3 ppm, 5 min otsonikäsittelyyn. 3 ppm otsonikäsittely yhdistettynä 1 % sitruunahappokäsittelyyn (1 min) vähensi E. colin määrää 2,31 log ja L. monocytogenesin määrää 1,84 log. 10 vrk varastoinnin aikana (15 °C) E. colin ja L. monocytogenesin määrät suurenivat noin 9,0 log pmy/g. Tomaatti Chaidezin ym. (2007) ja Yaunin ym. (2004) mukaan mm. otsonilla pystytään vähentämään tomaattien pintojen, mutta ei sisempien osien kontaminaatiota. Aguayo ym. (2006) tutkivat syklisesti (30 min välein joka kolmas tunti) lisättyä otsonikaasua kokonaisille ja viipaloiduille tomaateille. Verrokkina olivat ilmavirralla käsitellyt tomaatit. Tomaatteja varastoi- 41 tiin 5 °C:ssa 15 vrk. Otsonikäsitellyillä kokonaisilla ja viipaloiduilla tomaateilla oli suuremmat sokeri- ja orgaanisten happojen (askorbiinihappo ja fumaari) pitoisuudet kuin verrokeilla. Otsoni säilytti kokonaisten tomaattien solukon kiinteämpänä kuin verrokeilla, mutta otsoni ei vaikuttanut viipaloitujen tomaattien solukon kiinteyteen. Otsonikäsitellyillä viipaleilla oli hyvä ulkonäkö ja yleinen laatu, mutta aromikkuus kärsi. Otsoni vähensi selvästi mikrobimääriä ja oli huomattavasti tehokkaampi bakteereille (vähenemä 1,1-1,2 log10-yksikkö) kuin homeille (0,5 log10-yksikköä). Vaikutus mikrobeihin kasvoi, kun varastointiaikaa pidennettiin ja otsonoinnin tehoa suurennettiin. Otsoni ei aiheuttanut sivumakua viipaloituihin ja kokonaisiiin tomaatteihin. Aguayo ym. (2014) suosittelivat tomaattiviipaleiden pesemistä 0,4 mg/l otsonoidulla vedellä 3 min ajan. Pidempi käsittelyaika ei parantanut mikrobiologista laatua (mesofiiliit, psykrotrofit ja hiivat). Otsoni ei vaikuttanut viipaleiden happamuuteen ja useisiin muihin ei-mikrobiologisiin laatuominaisuuksiin, joihin kuitenkin tuli muutoksia varastointiaikana. Ulkonäön, maun ja yleisen laadun heikkeneminen ei mahdollistanut 14 vrk hyllyikää, vaan viipaleiden laatu säilyi 5 °C:ssa hyväksyttävänä 10 vrk ajan. Otsonia on tutkittu myös patogeenien vähentämiseen tomaatin siemenistä (Trinetta ym. 2011). Kurkku Skogin ja Chun (2001) tutkimuksessa otsonimäärä 0,04 µl/l saattoi pidentää siemenettömien kurkkujen säilyvyyttä 3 °C:ssa, kun taas 10 °C:ssa otsonin vaikutus säilyvyyteen oli olematon. Kurkut kuitenkin kuivuivat liikaa 3 °C käsittelyssä. Idut Otsonin käyttöä itujen hygienian edistämisessä on tutkittu jonkin verran 2000-luvun alussa ja jälleen 2010-luvun alussa. Otsoni on ollut vesiliuoksessa tai sitä on kohdistettu siemeniin tai ituihin jatkuvalla kuplitusmenetelmällä. Otsonilla on periaatteessa voimakas biosidinen vaikutus (Sharma 2002a), mutta tutkimusten mukaan se ei tuhonnut riittävän tehokkaasti sinimailasen siemenistä ja iduista EHECiä (Sharma ym. 2002a, 2002b, 2003, 2004; Singh ym. 2003), L. monocytogenestä (Wade ym. 2003) eikä Shigellaa (Singla ym. 2011). Otsonointi voidaan yhdistää muihin käsittelyihin, jotka voivat tehostaa otsonikäsittelyn vaikutusta mikrobien tuhoamisessa (Singh ym. 2003, Sharma ym. 2004, Singla ym. 2011). Otsonikäsittely ei useissa tutkimuksissa heikentänyt sinimailasen siementen itävyyttä (Sharma ym. 2002a, b, 2004; Singh ym. 2003). Singlan ym. (2011) tutkimuksessa otsonikäsittely ei heikentänyt itujen ravitsemuksellista laatua. Sharman ym. (2003) tutkimuksessa otsonikäsittely ei heikentänyt sinimailasen itujen visuaalista laatua, mutta Waden ym. (2003) tulosten mukaan itujen aistinvarainen laatu heikkeni käsittelyä seuraavalla varastointijaksolla. Itujen pintaan aiheutui Waden ym. (2003) tutkimuksessa vaurioita, jotka voivat heikentää desinfiointiaineiden tehoa iduissa oleviinn patogeeneihin. Warriner ym. (2005) sekä Trinetta ym. (2011) tutkivat vihannesten kasvattamiseen tarkoitettujen, eivät siis idätettyinä syötävien siementen dekontaminoimista. Vaikka nämä tutkimukset eivät liity suoraan ituihin, ne antavat viitteitä siitä, että patogeenien selviytyminen ja dekontaminatiotekniikoiden teho eri kasvien siemeniin vaihtelevat sekä kasvin että patogeenin mukaan. Warrinerilla ym. (2005) kasveina olivat selleri, korianteri, salaatti, pinaatti ja vesikrassi, mikrobeina E. coli ja L. monocytogenes ja dekontaminaatiotekniikoina otsonikaasu, hapan natriumkloriitti ja kvaternäärisestä ammoniumsuolasta tehty valmiste. Mikään käsittely ei inaktivoinut E. 42 colia salaatin tai pinaatin siemenistä, mutta kasvin kasvaessa dekontaminoiduista siemenistä kasvatettujen kasvien E. coli –määrät laskivat detektiorajan alle. E. coli säilyi esimerkiksi salaatin ja pinaatin lehtien pinnalla, vaikka kasvatukseen oli käytetty siemeniä, joihin ei ollut lisätty patogeenia. Toisaalta E. colin määrät laskivat progressiivisesti sellerissä ja vesikrassissa riippumatta siemenen dekontaminaatiotekniikasta. L. monocytogenestä ei todettu mistään taimesta luultavasti siksi, että kasvin oma mikrobisto oli hallitseva. Tulosten perusteella salaattivihanneksiin ja yrtteihin liittyvien patogeeniriskien vähentämiseksi pitäisi harkita tehokkaita tilatason seurantajärjestelmiä, kuten siementen dekontaminaatiota. Trinettalla ym. (2011) kasveina olivat tomaatti, salaatti ja cantaloupe-meloni, mikrobeina Salmonella enterica ja EHEC (Escherichia coli O157:H7) ja dekontaminaatiotekniikoina klooridioksidikaasu, otsonikaasu ja säteilytys. Kaikki käsittelyt vähensivät selvästi siementen patogeenimääriä. Erityisesti otsonikaasukäsittely oli tehokas: vähenemä oli 4 log pmy/g. Otsoni ei heikentänyt siementen itävyyttä. Ei-termisten tekniikoiden tehoa siementen bakteerien hallinnassa pidettiin lupaavana. Kasvisten pesuvesi Selma ym. (2008a) tutkivat mm. porkkanaa ja tuoreleikattua sipulia sekä kasvisten pesuvettä, joita käsiteltiin UV-valolla, otsonoimalla (3-24 g/m3 , 10-80 mg/min, 20 min) tai molemmilla tavoilla yhdessä. Ennen käsittelyjä sipulin pesuveden mikrobimäärät, sameus ja COD suurenivat 2 h pesun aikana eniten. Otsoni vaikutti tehokkaasti pesuveden kokonaismesofiilien määrään, kun taas vaikutus kokonaiskoliformeihin, homeisiin ja hiivoihin oli vähäinen. Otsonin mikrobeja, etenkin mesofiilejä, koliformeja, homeita ja hiivoja vähentävä vaikutus oli heikoin sipulin pesuvedessä, mikä saattoi johtua suuresta sameudesta ja erityisesti CODista. Otsonin ja UV-valon yhdistelmä oli tehokkain mikrobien vähentämisessä sipulin pesuvedestä, ja pelkkä otsoni oli tehokkaampi kuin pelkkä UV. Otsoni vähensi veden sameutta ja CODia, UV ei.

<http://www.kolumbus.fi/laatuvaunu/crystalair/Mitenotsonivaikuttaa.html> Saatavilla internet 20.8.2020

**Otsonin vaikutus Patogeeneihin ja viruksiin**

Otsonin antipatogeenisille vaikutuksille on vahvat perusteet vuosikymmenien ajalta. Se tuhoaa bakteereita, viruksia, itiöitä, ja monia lajeja alkueläimiä, siitä johtuen Otsonilla desinfioidaan maailman laajuisesti kaupunkien vesijohtovettä.

Bakteerit ovat mikroskooppisen pieniä yksisoluisia eliöitä, joiden rakenne on hyvin yksinkertainen.

Ne käyttävät ravintoaineita ja vapauttavat aineenvaihduntatuotteita ja lisääntyvät jakaantumalla. Bakteeria ympäröi solukalvo sekä yleensä soluseinä, joka pitää mekaanisesti yllä solun muotoa ja kokoa erilaisissa osmoottisissa ympäristöissä. Niiden elintoimintoja säätelee monimutkainen entsyymi järjestelmä. Otsoni häiritsee bakteerisolujen aineenvaihduntaa, todennäköisesti estämällä ja häiritsemällä entsyymien säätöjärjestelmän toiminnan. Riittävä määrä otsonia läpäisee solukalvon ja tämä johtaa bakteerien tuhoutumiseen.

Virukset ovat pieniä itsenäisiä partikkeleita, jotka rakentuvat kiteistä ja maksomolekyyleistä. Bakteereista poiketen ne jakaantuvat ainoastaan isäntä soluissa. Otsoni tuhoaa viruksia diffusoitumalla niiden proteiinipeitteen läpi nukkeliinihappoytimeen, jonka johdosta viruksen RNA tuhoutuu. Suuremmissa pitoisuuksissa otsoni tuhoaa uloimman proteiinikuoren hapettamalla.

Indikaattori bakteerit jätevesissä, nimeltään Kolibakteerit ja patogeenit kuten Salmonella näyttävät olevan erityisen herkkiä otsonin tuhoavalle vaikutukselle. **Muita bakteerisia organismeja jotka ovat vastustuskyvyttömiä otsonin desinfioivalle vaikutukselle ovat Streptokokki, Shigella, Legionella pneumofila, Pseudomonas aeruginosa, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni, Mycobacteria, Kelbsiella pneumonia, ja Escherichia coli,** Otsoni tuhoaa aerobisia ja mikä tärkeintä anaerobisia bakteereita, joista seuraa usein monimutkaisia infektioita, kuten makuuhaavoja ja kuolioita.

Otsonin bakteereita tuhoavaa vaikutusta on tarpeen selvittää yksityiskohtaisemmin. Tiedetään että bakteerien soluseinämä koostuu polysarkarideistä ja aminohapoista koostuneesta murciinikerroksesta. Grampositiivisella solulla se on paljon paksumpi kuin gramnegatiivisella. Lisäksi gramnegatiivisella solulla on soluseinän ulkopuolella solukalvoa muistuttava ulkokalvo, joka sisältää lipideistä ja hiilihydraateista muodostuneita lipopolysakkaridimolekyylejä. Vaikeasti happovärjäytyvissä bakteereissa, kuten Mycobacterium tuberculosis, on monikerroksinen soluseinä, jossa on pitkiä ja haarautuneita lipidejä, mykolihappoja. Mykolihapot tekevät seinämästä vahamaisen ja happoja sekä alkoholia kestävän. Bakteerien soluseinän korkea lipidipitoisuus saattaa selitää niiden herkkyyden otsonille. Otsoni kykenee lävistämään soluseinän (hapettamalla lipidimolykyylisidoksia) ja vaikuttamaan suoraan sytoplasmiseen tilaan, missä se tuhoaa aineenvaihduntasysteemin monimuotoisia tasoja.

**Sienet**

Sienikasvut, joihin otsoni vaikuttaa estävästi ja tuhoaa niitä kuuluvat; Candida, Aspergillus, Histoplasma, Actinomyces ja Kryptococcus. Sienten seinämät ovat monikerroksisia ja koostuvat pääasiassa kitiinistä ja polysakarideista. Lukuisten disulfidisidosten vuoksi sieniä on helppo hävittää hapettamalla otsonin avulla. Kaiken todennäköisyyden mukaan otsoni kykenee diffusioitumaan sienen soluseinän läpi sytoplasmaan, missä se tuhoaa soluorganelleja.

**Tyypillisiä annostuksia ja reaktioaikoja**

Aspergillus Niger : tuhoutuu 1,5-2,0 mgr/litrassa  
Bacillus bakteeri: tuhoutuu 0.2 mgr/l 30 sekunnissa  
Bacillus Anthracis, aiheuttaa isorokkoa lampaissa, nautaeläimissä, ja sioissa. Ihmispatogeeni. Altistettavissa otsonin vaikutukselle.  
Clostridium bakteeri: altistettavissa otsonin vaikutukselle.  
Clostidium botilinum itiöt: niiden myrkky halvaannuttaa keskushermostosysteemin, on myrkyllinen ja lisääntyy elintarvikkeissa ja ruokatavaroissa. 0,4 – 0,5 mgr/l  
Diphteria patogeeni: tuhoutui 1,2 – mgr/l  
Eberth basilli: (Typhus abdominalis) tuhoutui 1,5-2,o mgr/l  
Echo virus 29: Tämä virus on kaikkein herkin otsonille. Oltuaan kosketuksissa 1 minuutti 1 mgr/l otsonia, 99,999% kuoli.  
Escheriachia Coli bakteeri: tuhoutui 0,2 mg/l 30 sekunnissa  
Encephalomyocarditis virus: tuhoutui nolla tasolle alle 30 sekunnissa 0,1- - 0,8 mgr/l  
Enterovirus virus: tuhoutui nollatasolle alle 30 sekunnissa 0,1-0,8 mgr/l  
CDVII virus: tuhoutui nolla tasolle alle 30 sekunnissa 0,1-0,8 mgr/l  
Herpes virus: tuhoutui nolla tasolle alle 30 sekunnissa 0,1-0,8 mgr/l  
Influensa virus: 0,4 – 0,5 mgr/l  
Klebs-Loffler virus: tuhoutui 1,5-2 mgr/l  
Poliomyelitis virus kuoli 99,999% 0,3-0,4 mgr/l 3.4 minuutissa.  
Proteus bakteeri: hyvin herkästi altistuva otsonin vaikutukselle  
Pseudomonal bakteeri: hyvin herkästi otsonille altistuva  
Rhabdovirua: tuhoutui nolla tasolle alle 30 sekunnissa  
Salmonella bakteeri: erittäin helposti otsonille altistuva  
Staphylococci: tuhoutui 1,5- 2 mgr/l  
Stomatitis virus: tuhoutui nolla tasolle alle 30 sekunnissa 0,1-0,8 mgr/l  
Streptococcus bakteeri: tuhoutui 0,2 mgr/l 30 sekunnissa.

Aineisto: USA:sta 27.1.2002 Trio3 Companylta

**Otsonivesikäsittely välidesinfiointiaineena; elintarvikkeen ja pintojen hygieninen laatu, N. Gynther, Opinnäytetyö, Mikkelin AMK, 2010** <https://core.ac.uk/download/pdf/37999965.pdf> saatavilla internet 20.8.2020

**Otsoni desinfiointiaineena**

Otsoniveden on raportoitu tehokkaasti tappavan pilaajamikrobeja (Alicyclobacillus acidocaldarius, Pseudomonas aeruginosa ja Zygosaccharomyces bailii), ympäristö- ja ulosteperäisiä kontaminantteja (Enterococcus faecalis ja Escherichia coli) ja elintarvikeperäisiä patogeenejä (Listeria monocytogenes, Bacillus cereus, Salmonella typhimurium, **Yersinia enterocolitica** ja Staphylococcus aureus) matalissa otsonipitoisuuksissa. Lisäksi otsoniveden on tutkittu inaktivoivan monien virusten kasvua vedessä ja muissa kohteissa. [9, s. 156.]

Mikrobien huomattava vähennys saavutetaan, kun otsonin pitoisuus on välillä 0,5–3,5 mg/ l, käytettynä joko kaasuna että vetenä. Tämä pitoisuus on hyvin siedetty elintarviketeollisuudessa käytetyissä muovi- ja teräspinnoissa ja -laitteissa. [7]

**Otsonin käyttötutkimuksia**

Otsonia on testattu lähes jokaisella elintarvikesektorilla säilytyksen tai prosessoinnin aikana parantamaan tuoteturvallisuutta ja lisäämään näiden elintarvikkeiden myyntiaikaa Elintarvikkeet, joita on käsitelty otsonilla, eivät sisällä desinfiointiainejäämiä. Koska otsoni on epästabiili kaasu, se hajoaa kahdessakymmenessä minuutissa hapeksi, eikä jätä jälkeäkään otsonidesinfioinnista tuotteeseen. Suomalaisia käyttötutkimuksia löytyi vain yksi. Tämä oli Särkkä-Tirkkosen & Leskisen (2008) vetämä EU- hanke QLIF, jossa jäävuorisalaatteja käsiteltiin otsonivedellä. [8]

**Pinnat**

National Sanitation Foundationin (NSF) järjestämässä tutkimuksessa pintoja käsiteltiin 1,85–2,25 mg/ l:n väkevyisellä otsonivedellä. Tutkimuksessa tähdättiin 99,999 %:n vähennykseen tutkittujen mikrobien osalta. Lyhyin desinfiointiaika oli E. coli- bakteerilla, joka oli 30 sekuntia ja vähenemä oli 5 log- yksikköä. Samoin Pseudomonas aeruginosas väheni 99,999 %:a (6 log- yksikköä) 30 sekunnissa. Pisimmät vaikutusajat tutkituilla mikrobeilla oli Listeria monocytogenes- bakteerilla, joka väheni 4 log- yksikköä kolmessa minuutissa ja Staphylococcus aureus- bakteerilla 6 log- yksikköä viidessä minuutissa. [12, s.2.] Pascualin mukaan otsonivedellä desinfioiduilla pinnoilla mikrobivähennykset ovat huomattavia. Esimerkiksi 0,5 mg/ l:n pitoisuudella 10 minuutin käsittelyn aikana Pseudomonas fluorescens väheni 5,6 log:n verran. Tutkimus tehtiin meijerissä. Tutkimuksessa 9 pyrittiin poistamaan biofilmiä teräspinnalta otsoniveden avulla. Vastaavasti vähenemää oli saavutettu CIP- järjestelmässä, jossa 99 % mikrobeista väheni. Tutkitut mikrobit olivat Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa ja Candida albicans. Toisessa tutkimuksessa käytettiin vahvempaa otsoniveden pitoisuutta, 3,0–3,5 mg/ l:ää. Tällä vahvuudella saatiin seinistä, lattioista yms. jotka olivat jo aiemmin pestyjä, mikrobien määrää vähenemään 4 – 6 log- yksiköiden välillä Guzel- Seydimin mukaan oli otsonivettä testattu meijerin laitteiden esihuuhtelussa. Tutkimuksessa oli likaisia ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia esihuuhdeltu otsonivedellä. Tuloksia oli verrattu lämpöisellä vedellä esihuuhdeltuihin osiin. Otsoniveden eduksi, sen avulla oli poistunut 84 % epäpuhtauksia, kun taas lämpöisellä vedellä ainoastaan 51 %. Tällä kokeella osoitettiin se, että otsonivedellä esihuuhdellut osat tarvitsevat varsinaisessa pesutapahtumassa vähemmän puhdistusainetta kuin normaalisti verkostovedellä huuhdellut osat.

**Laitehygienia elintarviteollisuudessa – hygieniaongelmien ja Listeria monocytogeneksen hallintakeinot, G. Virtanen, VTT Biotekniikka, VTT Publications 480, 2002** <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2002/P480.pdf> saatavilla internet 20.8.2020

**Muut elintarvikkeet**

Erityisesti hedelmien ja marjojen käsittelystä otsonivedellä löytyi useita tutkimuksia. Parishin mukaan otsonivesikäsittelyllä oli saatu jatkettua hedelmien myyntiaikaa. Tutkimuksessa oli saatu esimerkiksi appelsiinien mikrobimääriä pienennettyä sekä hidastettua niiden kypsymistä hapettamalla otsonilla etyleeniä. Kimin mukaan omenoiden käsittelyssä tehokkaampi tapa oli lisätä otsonia kuplivana veteen niiden huuhtelun aikana kuin upottaa omenat esiotsonoituun veteen. Tässä tutkimuksessa saatiin E.coli O157:H7 vähenemään 2,6- 3,7 log yksikköä. Tutkimuksessa todettiin, että ongelmaksi voi muodostua omenien sisältämät epäpuhtaudet, jotka kuluttavat otsonia. Särkkä-Tirkkonen & Leskinen (2008) vertasivat natrium-hypokloriittiliuoksen, askorbiinihappo- sitruunahappoliuoksen ja otsoniveden vaikutusta jäävuorisalaattien mikrobiologiseen laatuun. Käytetyn otsoniveden pitoisuus oli 6,2 mg/l. Tutkimuksen mukaan salaatit upotettiin tutkittavaan liuokseen 40 sekunnin ajaksi, sentrifugoitiin ja pakattiin. Tuotteita säilytettiin +5 ºC:ssa. Näytteistä tutkittiin yhden, kuuden ja kymmenen päivän kuluttua aerobien mikrobien kokonaismäärä, koliformit ja enterobakteerit. Tulosten 10 mukaan otsonivedellä huuhdelluissa tuotteissa kasvoi keskimäärin vähiten tutkittuja mikrobeja. [8]

**Otsoni**

Otsoni on kaasu alhaisissa lämpötiloissa. Se on voimakas mikrobisidi ja osittain veteen liukeneva. Otsonin liukenevuus veteen lisääntyy veden lämpötilan laskiessa. Otsonilla on ainutlaatuinen kyky hajota itsestään erilaisiksi vapaiksi radikaaleiksi, joista merkittävin on hydroksyyli-ioni (OH- ) (Graham, 1997). Liuoksen pH:n noustessa liuenneen otsonin pitoisuus kasvaa ja molekulaarisen otsonin (O3) hajoaminen lisää vapaiden radikaalien tuottoa. Kuitenkin jos pH nousee 10:een, otsoni hajoaa välittömästi. Otsoni on luokiteltu turvalliseksi (GRAS = generally recognised as safe) desinfiointiaineeksi Yhdysvalloissa (Kim ym., 1999). Otsonilla on monia hyviä puolia. Se hajottaa biofilmejä eikä aiheuta jäämiä pinnoille (hajoaa hapeksi) ja sen desinfiointiteho on vastaava kuin kloorilla. Otsonin heikkouksia ovat mm. lyhyt puoliintumisaika, herkkyys veden komponenteille ja reagointi orgaanisen lian kanssa, jolloin muodostuu korrodoivia epoksideja. Lisäksi ylimääräinen otsoni voi aiheuttaa tuotteiden hapettumista esim. värimuutoksia. Otsonia voidaan käyttää elintarviketeollisuudessa tuotteiden kuten liha-, kana-, muna-, kala-, hedelmä ja vihannestuotteiden pintojen puhdistukseen.

**Otsonoinnin teho hajuihin sekä vaikutus kemiallisiin epäpuhtauksiin, hiukkasiin, rakennus- ja sisustusmateriaaleihin**  
Otsonin tiedetään reagoivan rakennus- ja sisustusmateriaalien sekä niiden pinnoilla olevien kemiallisten epäpuhtauksien kanssa. Lisäksi otsoni reagoi sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien kanssa. Reaktiot otsonoinnissa perustuvat hapetusreaktioon, jossa otsonin muodostamat happiradikaalit reagoivat kemiallisten epäpuhtauksien kanssa muodostaen sekundääriepäpuhtauksia ja radikaaleja, kuten aldehydejä, ketoneita, orgaanisia happoja, hydroksyyli- ja nitraattiradikaaleja, primääri- ja sekundääriotsonideja, α-hydroksiketoneita, ja  
α-hydroperoksideja. Syntyneet sekundääriyhdisteet voivat reagoida kaasufaasissa uudestaan tuottaen lisää ärsyttäviä ja syövyttäviä. Sekundääriyhdisteet voivat myös adsorboitua rakennus- ja sisustusmateriaaleihin. Otsonin ja kemiallisten epäpuhtauksien reaktioita tapahtuu enemmän materiaalin pinnalla tai materiaalissa olevien epäpuhtauksien kanssa kuin sisäilmassa johtuen suuremmasta adsorptio pinta-alasta. Otsoni poistuu ilmasta muun muassa kiinnittyen eri rakennusmateriaaleihin eri nopeuksilla. Otsonia poistuu ilmasta adsorption kautta sitä tehokkaammin, mitä huokoisemmasta materiaalista on kyse. Depositio on nopeinta kalsiumsilikaattilevyihin ja hitainta puulevyihin.   
Otsonin poistumiseen vaikuttavat myös epäpuhtauksien pitoisuus, otsonipitoisuus, reaktion  
termodynamiikka sekä ilmanvaihdon teho. Tiedetään, että kemiallisten epäpuhtauksien merkittävä vähentäminen sisäilmasta otsonoimalla otsonipitoisuuden ollessa 0,1 ppm (= 211 μg/m3) voi kestää kuukausista jopa useaan vuoteen.

Otsoni reagoi herkimmin hiilisidoksista muodostuvien epäpuhtauksien (esimerkiksi hiilivetyjen ja aromaattisten hiilivetyjen, bentseenin, isopreenin, styreenin, terpeenien, tyydyttämättömien rasvahappojen ja niiden esterien) sekä muiden VOC -yhdisteiden kanssa (alifaattiset yhdisteet, alkeenit, typen yhdisteet).

Otsonointi ei kuitenkaan pysty hajottamaan kaikkia sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia.   
Otsonoinnin teho hajujen poistossa perustuu kemiallisten epäpuhtauksien hajottamiseen. Esimerkiksi tulipalokohteissa otsoni hapettaa aromaattisia hiilivety-yhdisteitä. Reaktiossa aromaattiset hiilivety-yhdisteet hajoavat ja hajoamistuotteina syntyy aldehydejä sekä ultrapieniä  
hiukkasia. Ihmisen hajukynnys näille yhdisteille on hyvin matala (<10 ppt), lisäksi näiden yhdisteiden hajoaminen on hidasta. Mittauksissa otsonoinnissa sivutuotteina syntyviä  
yhdisteitä ja on todettuniiden pysyvän sisäilmassa kuukausia, jopa pidempiä aikoja, pitoisuuksina, jotka ihminen voi haistaa. Tämä aika oli riippuvainen otsonoidusta materiaalista sekä sen  
pinta-alasta. Tutkituista materiaaleista MDF -levystä vapautuvat yhdisteet pysyivät ilmassa pisimpään