

14389/00.05.12/2024
Sari Tappura, Aatu Isotalo
28.3.2025

Massasäiliön katon räjähdysmäinen irtoaminen kartonkitekhtaalla Kuopiossa 4.11.2024

Onnettomuustutkintaraportti

Onnettomuustutkintaraportti

dnro Tukes 14389/00.05.12/2024

Massasäiliön katon räjähdysmäinen irtoaminen kartonkitehtaalla Kuopiossa 4.11.2024

Tutkintaryhmä

Sari Tappura, Aatu Isotalo

Tutkintaraportti valmistunut

28.3.2025

Sisällys

Määritelmät.....	3
Tutkintaraportin tiivistelmä	5
1 Johdanto.....	7
2 Laitoksen toiminta ja tuotteet.....	8
3 Prosessi ja laitteisto	9
4 Onnettomuuden kuvaus	12
4.1 Onnettomuutta edeltäneet tapahtumat.....	12
4.2 Onnettomuustilanne	13
4.3 Tapahtumat onnettomuuden jälkeen.....	13
4.4 Onnettomuuden seuraukset	14
5 Onnettomuuden tutkinta.....	17
6 Onnettomuustutkinnan tulokset.....	19
6.1 Tekniset ja kemialliset tekijät	19
6.2 Organisaation toimintaan liittyvät tekijät.....	21
6.3 Säädösten noudattaminen.....	22
7 Johtopäätökset.....	24
8 Toimenpide-ehdotukset.....	25
8.1 Mondia koskevat suositukset.....	25
8.2 Yleiset suositukset.....	25
9 Lähteet.....	28

Liite: AcciMap

Määritelmät

Anaerobinen bakteeri	Hapettomissa olosuhteissa kasvava ja lisääntyvä bakteeri.
Bakteeri	Pieni, yleensä yksisoluihin mikrobi, joita on kaikkialla ympäristössämme. Ne lisääntyvät jakautumalla, ja niiden lisääntymisnopeus riippuu ympäristöolosuhteista (mm. lämpötila, ravinteet, kosteus, happipitoisuus, pH-arvo).
Biosidi	Kemiallinen aine tai seos, jolla torjutaan haitallisia eliöitä, kuten esimerkiksi mikrobeja prosessivesissä.
HAZOP	Hazard and Operability Study (HAZOP) on systemaattinen ja jäsenneilty riskienarviointimenetelmä, jota käytetään erityisesti prosessiteollisuudessa. Sen tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset vaarat ja käytettävyysongelmat prosesseissa niiden suunnittelu- ja käyttövaiheissa.
Hönlkäputki	Putki, jota pitkin massatornissa olevasta massasta muodostuneet kaasut johdetaan ulkoilmaan.
Kemikaaliturvallisuus	Kemikaaliturvallisuus tarkoittaa kaikkia niitä toimenpiteitä ja käytäntöjä, joilla pyritään varmistamaan kemikaalien turvallinen teollinen käsittely, varastointi, kuljetus ja käyttö, jotta minimoidaan niiden aiheuttamat riskit ihmisille, ympäristölle ja omaisuudelle (599/2013; 390/2005).
Kemikaaliturvallisuuslupa	Viranomaisen (Tukes) myöntämä lupa, joka tarvitaan laajamittaiseen vaarallisten kemikaalien teolliseen käsittelyyn, varastointiin ja säilytykseen (390/2005). Lupatarve määräytyy kemikaalien vaarallisuusluokitusten ja varastoitavien määrien perusteella. Luvan myöntämisen tarkoituksena on varmistaa, että laitos rakennetaan ja voidaan ottaa turvallisesti käyttöön, kemikaaleja käsitellään turvallisesti ja mahdolliset riskit ihmisille, ympäristölle ja omaisuudelle minimoidaan.
Kiertovesi	Kartongin tuotantoprosessissa käytetty vesi, joka kierrätetään, jotta sitä voidaan käyttää uudelleen eri prosessivaiheissa. Kiertoveden käyttö vähentää tuoreveden tarvetta ja jäteveteen päätyviä päästöjä.

Kiertovesijärjestelmä	Järjestelmä, jossa kartongin valmistuksessa käytetty vesi (kiertovesi) kerätään talteen, lämmitetään ja käytetään uudelleen kartongin valmistusprosessissa.
Massatorni	Säiliö, jossa varastoidaan kartonginvalmistukseen käytettävää vettä ja kouvukuidun sekoitusta (massaa).
Miesluukku	Luukku, jota käytetään huoltotoimenpiteitä varten kulkuväylänä huoltoa vaativaan tilaan. Massatornin miesluukku sijaitsee tornin katon lappeella.
Mikrobi	Mikroskooppinen eliö, joita esiintyy monenlaisissa ympäristöissä, kuten maaperässä, vedessä ja ilmassa. Bakteerit ovat yksi mikrobien alaryhmä.
Räjähdyksivaarallinen tila	Tila, jossa voi esiintyä räjähdyskelpoista ilmaseosta siinä määrin, että erityiset suojelutoimenpiteet henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkojen ehkäisemiseksi ja yleisen turvallisuuden ylläpitämiseksi ovat tarpeen (390/2005 6 §). Palava aine eli kaasu, sumu, höyry tai pöly yhdessä normaalipaineisen ilman kanssa voi aiheuttaa räjähdysvaarallisen ilmaseoksen.
Vaarallinen kemikaali	Vaarallisella kemikaalilla tarkoitetaan kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) mukaista ainetta tai seosta, joka tulee luokitella tai merkitä CLP-asetuksen (1272/2008) mukaisesti.
Vedyntuottajabakteeri	Bakteeri, joka kykenee tuottamaan vetykaasua aineenvaihduntaprosessien kautta. Ne toimivat usein parhaiten kosteissa ja hapettomissa olosuhteissa, noin 50–75 °C lämpötilassa ja pH-arvoltaan noin 5,5–8,0 olosuhteissa. Ne käyttävät ravinnokseen orgaanista ainetta, esimerkiksi biomassaa.

Tutkintaraportin tiivistelmä

Onnettomuustapaus	Massasäiliön katon räjähdysmäinen irtoaminen kartonkitehtaalla Kuopiossa 4.11.2024
Tapahtumapaikka	Mondi Powerflute Oy, Selluntie 142, Kuopio
Yhteenveto onnettomuudesta ja tutkinnan tuloksista	<p>Mondi Powerflute Oy on puolikemiallinen aallotuskartonkitehdas, jonka tuotantoprosessi on ammoniakkipohjainen. Vastaavaa prosessia ei ole tiettävästi käytössä Suomessa. Tehtaalla toteutettiin vuosina 2021–2023 laaja uudistus, joka valmistui marraskuussa 2023. Tehdas kuuluu Tukesin valvonnan piiriin. Tehtaalla työskentelee noin 230 omaa työntekijää ja useiden aliurakoitsijoiden työntekijöitä.</p> <p>Tehtaan kartonkikoneella oli toimintaongelmia aamulla 4.11.2024, ja kartonkikone pysähtyi. Kuitumassan valmistus päätettiin keskeyttää ja ajaa alas seisokin ajaksi. Tapahtumapäivänä kello 11:56 massatornissa tapahtui kuitulinjan alasajon loppuvaiheessa räjähdys ja hallitsematon paineen nousu. Räjähdysten seurauksena massatornin katto irtosi ja lensi viereisen tehdasrakennuksen katolle aiheuttaen siihen vaurioita. Irtokappaleita lensi myös maahan tehdasalueen ympäristöön. Onnettomuudesta ei aiheutunut henkilövahinkoja.</p> <p>Onnettomuuden välittömänä syynä oli kaasunpalaminen ja äkillinen paineen nousu massatornin sisällä. Massatorniin oli muodostunut prosessissa vetyä, joka saavutti räjähtävän pitoisuuden kaasuseoksessa ammoniakkin kanssa. Kaasuseoksen syttymisen aiheutti todennäköisimmin staattisen sähkövarauksen aiheuttama kipinä. Tehdassuodistuksen jälkeiset prosessikemian muutokset ja kiertovesijärjestelmän mikrobiologiset olosuhteet lisäsivät vedyn ja vety–ammoniakki-kaasuseoksen muodostumista prosessissa. Onnettomuuteen vaikuttivat myös kuitulinjan alasajo-olosuhteet sekä kiertovesisäiliöiden ja massatornin rakenteet.</p>
Tutkintaryhmän ehdottamat toimenpiteet vastaavien onnettomuuksien välttämiseksi	<p>Tutkintaryhmä esittää seuraavia toimenpiteitä vastaavien onnettomuuksien välttämiseksi. Suositukset ovat yleisiä, koko toimialaa koskia.</p> <p>Teknisiin järjestelmiin liittyvät suositukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paperi- ja kartonkiteollisuuden massankäsittelyssä tulee tunnistaa ja arvioida mikrobitoimintaan liittyvät riskit sekä syttyviä kaasuja (kuten vety) tuottavien bakteerien esiintymisen mahdollisuus. - Tuotantolaitoksen normaalitoiminnan näkökulmasta laaditut prosessiturvallisuusriskien ja räjähdysvaarojen arvioinnit eivät välttämättä ole voimassa seisokin kaltaisten poikkeustilanteiden aikana. Poikkeustilanteessa voidaan tarvita tilannekohtaista riskienarviointia.

	<p>Organisaatioon liittyvät suositukset:</p> <ul style="list-style-type: none">- Kemikaalilaitoksella tulee olla riittävä tieto prosessiturvallisuuden kannalta oleellisista kemikaalien aineominaisuuksista ja kemikaalien välisistä reaktioista.- Toiminnanharjoittajan tulee osana riskienarviointiaan tunnistaa myös kemiallisten ja biologisten vaaratekijöiden sekä mikrobiologisten olosuhdetekijöiden aiheuttamat prosessiturvallisuusriskit.- Kemikaalilaitoksella tehtävät merkittävät tekniset ja toimintatapoihin liittyvät muutokset on käsiteltävä systemaattisen muutoksenhallintamenettelyn kautta. Muutosten käyttöönotossa ilmenevät häiriöt ja niiden syyt tulee selvittää järjestelmällisesti.- Jos on mahdollista, että tilaan tai säiliöön muodostuu räjähdysvaarallinen kaasuseos, räjähdysvaaraan varautuminen on otettava huomioon tilan tai säiliön rakentamisessa. <p>Viranomaistoimintaan liittyvät suositukset:</p> <ul style="list-style-type: none">- SFS-käsikirja 59 ”Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut” (SFS, 2022) ei ota kantaa mikrobiologiseen kaasunmuodostukseen räjähdysvaaran aiheuttajana. Asiaa tulee tarkastella käsikirjan seuraavan päivituksen yhteydessä.- Tukesin valvonnassa tulee kiinnittää huomiota mikrobiologisten olosuhdetekijöiden aiheuttamien prosessiturvallisuusriskien arviointiin paperi- ja kartonkitekollisuudessa.- Tukesin valvonnassa tulee kiinnittää huomiota merkittävien muutosten jälkeen toistuviin laitoksen häiriöihin ja suunnittelelmattomiin alasajoihin sekä niiden syiden selvittämiseen.
--	--

1 Johdanto

Mondi Powerflute Oy:n (jatkossa Mondin) kartonkitehtaalla Kuopion Sorsasalossa tapahtui massatornin räjähdys ja hallitsematon paineen nousu maanantaina 4.11.2024 kello 11:56. Räjähdysten seurauksena massatornin katto irtosi ja lensi viereisen tehdasrakennuksen katolle vaurioittaen kattoa ja rakennuksessa olleita laitteistoja noin 250 neliömetrin alueelta. Massatornin osia lensi enimmillään noin 200 metrin päähän. Onnettomuudessa ei aiheutunut henkilövahinkoja. Onnettomuus havaittiin ensimmäisenä massatehtaan valvomosta. Pelastustoimet aloitettiin välittömästi, alueella ollut henkilöstö kartoitettiin ja evakuoitiin ja vaarallinen alue rajattiin. Onnettomuuspaikan raivaustyöt aloitettiin 5.11.2024 iltapäivällä. Massatorni ja vaurioituneet tehdasosat korjattiin, ja tehdas käynnistettiin uudelleen 19.12.2024.

Mondi on Tukesin valvoma tuotantolaitos kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) perusteella. Tukes päätti käynnistää tapauksesta onnettomuustutkinnan ja nimitti 6.11.2024 tutkintaryhmän selvittämään onnettomuuden syitä ja keinoja vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi (dnro Tukes 14389/00.05.12/2024; Tukes, 2024). Tutkinnassa selvitettiin tapahtumien kulku sekä tekniikkaan ja organisaation toimintaan liittyvät tekijät, jotka aiheuttivat joko suoraan tai välillisesti onnettomuuden. Lisäksi selvitettiin, ovatko tuotantolaitoksen valvontaan liittyvät viranomaiskäytännöt olleet asianmukaisia ja onko toimintaa säätelevässä lainsäädännössä tai ohjeissa tarpeita muutoksille, joilla vastaavat onnettomuudet voitaisiin jatkossa estää. Onnettomuustutkinnassa tarkasteltiin ainoastaan onnettomuuteen johtaneita syitä. Tästä syystä raportissa ei ole huomioitu tapauksen jälkeen tehtyjä tai suunniteltuja korjaavia toimenpiteitä.

Tutkintaryhmä esittää tässä raportissa havaintonsa ja suosituksensa vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi. Raportin havaintoja ja suosituksia voidaan hyödyntää teollisuudessa laajemminkin turvallisuuden parantamisessa.

2 Laitoksen toiminta ja tuotteet

Mondi on puolikemiallinen aallotuskartonkitehdas, jonka toimipiste on Kuopion Sorsasalossa. Tehdas toimi alunperin nimellä Savon Sellu Oy, jonka tuotanto käynnistyi vuonna 1968. Pakkaus- ja kartonkiteollisuuden alalla toimiva Mondi Group osti tehtaan vuonna 2018, ja siitä lähtien tehdas on toiminut osana Mondi-konsernia. Tehtaalla työskentelee noin 230 omaa työntekijää. Lisäksi tehtaalla työskentelee useiden aliurakoitsijoiden työntekijöitä tarpeen mukaan.

Mondi valmistaa puolikemiallista elintarvikekelpoista aallotuskartonkia, jota käytetään erityisesti tuoreiden hedelmien ja vihannesten alustoissa ja laatikoissa. Kartongin raaka-aineena käytetään koivukuitupuuta, ja lisämässana käytetään tehtaan omaa leikkuuhylkyä.

Tehtaan tuotantoprosessi on ammoniakkipohjainen, ja vastaavaa tuotantoprosessia ei ole tiettävästi käytössä muualla Suomessa. Ammoniakkipohjaisen tuotantoprosessin etuna on se, että se ei aiheuta hajukaasuja eikä tarvita hajukaasujen keräilyjärjestelmää. Tehtaalla on tehty vuosien varrella runsaasti uudistuksia. Vuosina 2021–2023 tehtaalla toteutettiin laaja investointiprojekti, joka valmistui marraskuussa 2023. Projektissa uusittiin puunkäsittelyä, kuitulinja, esihaihduttamo, kartonkikonetta ja pituusleikkuri. Uudistuksen tavoitteena oli nostaa tuotantomäärää 55 000 tonnia vuodessa ympäristöluvan mukaiseen määrään 330 000 tonnia vuodessa. Lisäksi tavoitteena oli vähentää päästöjä ilmaan, jätevesikuormitusta ja melupäästöjä.

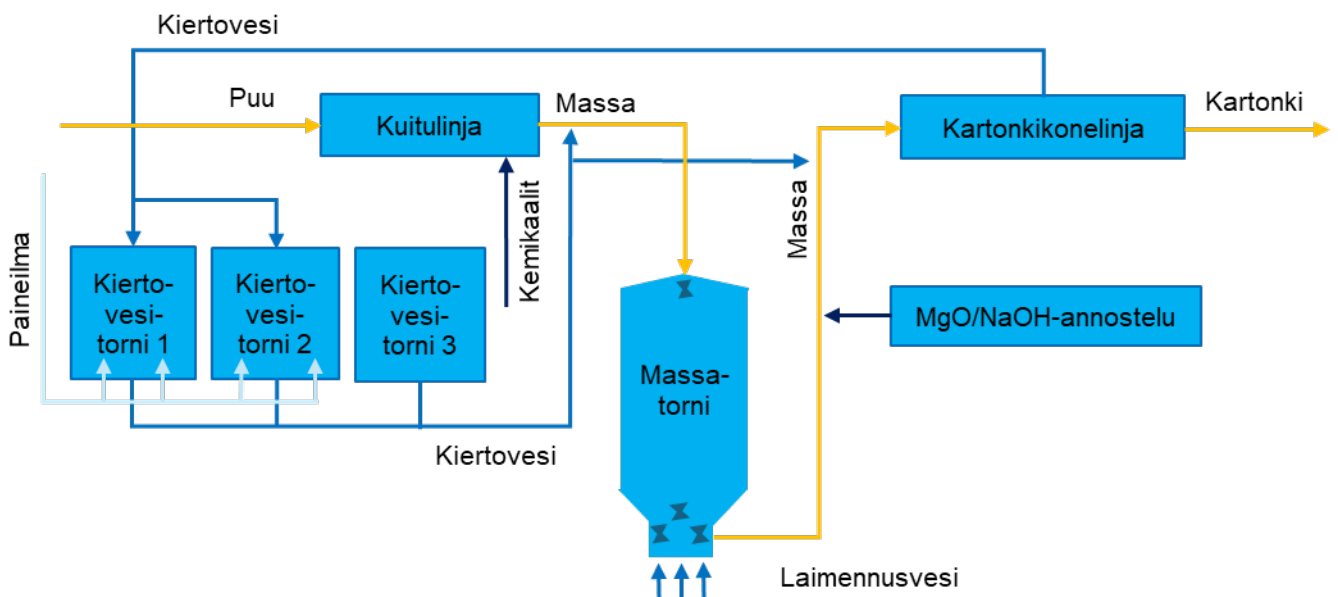
Tehdas toimii keskeytymättömässä vuorotyössä. Huolto- ja kunnossapitoseisokkeja pidetään suunnitelman tai tarpeen mukaan. Viimeisin suunnitelman mukainen huoltoseisokki (vuosiseisokki) oli 28.9.–11.10.2024.

Tehtaalla on ympäristönsuojelulain (527/2014) nojalla oltava ympäristölupa. Viimeisin voimassaoleva ympäristölupapäätös (ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen) on annettu 31.3.2017.

Tehdas on Tukesin valvoma lupalaitos kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) ja Valtioneuvoston asetuksen (685/2015) perusteella. Laitoksen tarkastustajuus on viisi vuotta, ja viimeisin määräaikaistarkastus on tehty 13.6.2023. Viimeisin lupapäätös on annettu 6.7.2021 massatehtaan uudistushanketta koskevan muutosilmoituksen johdosta. Tehtaalla on nimetty kemikaaliturvallisuuslain (390/2005), sähköturvallisuuslain (1135/2016) ja painelaitelain (1144/2016) mukaiset vastuuhenkilöt ja heidän varahenkilönsä.

3 Prosessi ja laitteisto

Kartongin valmistus perustuu puolikemialliseen ammoniakkipohjaiseen kuidutusmenetelmään. Puunkäsittelylinjalla käsitelty koivupuuhake keitetään paineistetussa keittimessä, jossa keittokemikaalina on ammoniumsulfiitti. Keittämisen jälkeen massa kuidutetaan ja pestään vastavirtapesuna kahdessa pesurissa, jolloin massasta poistetaan ylimääräiset kemikaalit. Vastavirtapesemön viimeisestä vaiheesta pesuneste (ohutliemi) pumpataan haihduttamolle, väkevöidään haihduttamalla (vahvaliemi) ja poltetaan voimalaitoksella. Puhdas massa jauhetaan ja johdetaan varastosäiliöön (massatorni), josta se ajetaan kartonkikoneelle. Viimeistelyvaiheessa kartonki leikataan, tarkastetaan ja pakataan kuljetusta varten. Valmistusprosessin yksinkertaistettu prosessikaavio on kuvattu alla (Kuva 1).



Kuva 1 Yksinkertaistettu prosessikaavio kuitu-, massa-, kiertovesi- ja paineilmaprosesseista

Massatornin tarkoituksena on tasapainottaa massantuotantoa kartonkikoneen tarpeisiin. Massatornin massasta noin 8–10 prosenttia on koivukuitua ja loput vettä. Massa sisältää pesuhäviön myötä ammoniumyhdisteitä ja rikkiä. Massan viipymäaika tornissa on normaalisti noin 4–8 tuntia. Massan lämpötila on noin 60 °C ja pH noin 7,5.

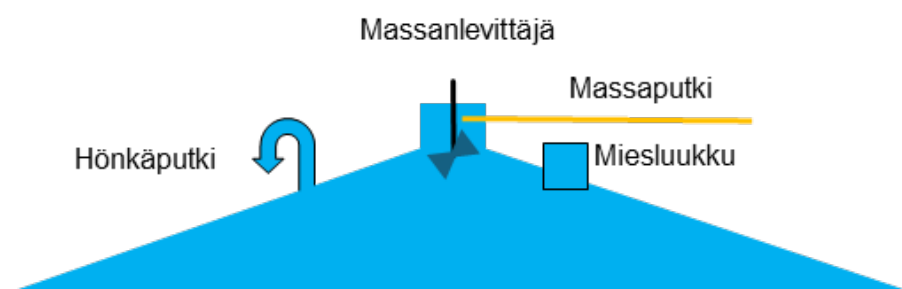
Massa tulee massatorniin yläosan massaputkea pitkin. Massatornin alaosassa on sekoittimet, joilla massan sakeus säädetään sopivaksi kartonkikoneelle (noin 5 prosenttia kuitua) laimentamalla sitä kiertovedellä. Massan laimennusvedet otetaan kiertovesisäiliöistä. Massatornista massa johdetaan

kartonkikoneelle. Massan happamuuden (pH-arvon) säätöön käytetään magnesiumoksidia (MgO) ja tarvittaessa lipeää. Massan pH-arvoa säädetään lopputuotteen hajuhaittojen minimoimiseksi. MgO lisätään massan sekaan massatornin jälkeen.

Tehtaan vesikierto on suljettu, ja sen tilavuus on noin 5 000 m³. Kiertovesijärjestelmään kuuluu kolme kiertovesitornia, joissa käytetään paine-ilmamastusta estämään anaerobisten bakteerien kasvamista. Kiertoveden ilmastuksella pyritään estämään myös voihamon synty ja sen aiheuttamat hajuhaitat kartongissa. Kiertovesitornien pohjalle jää normaalitoiminnassa lietettä, joka pestään pois tyyppillisesti vuosihuoltojen yhteydessä. Biosidejä käytetään kartonkikoneelle tulevassa puhtaassa lämpimässä vedessä estämään bakteerikasvustoa.

Hakkeenkäsittelylinjaa, pesuja ja massatornin massanlevittimen toimintaa ohjataan massatehtaan valvomosta. Kiertovesijärjestelmää sekä massatornia ja sen sakeussäätöä ohjataan kartonkikoneen valvomosta.

Massatorni on rakennettu aiemmin, mutta se otettiin käyttöön vasta massatehtaan uudistuksen yhteydessä. Massatorni on noin 36 metriä korkea ja tilavuudeltaan noin 5 000 m³:n kokoinen eristetty säiliö. Se on paineeton ja vapaasti hengittävä säiliö, eli se on siten aina ulkoilman ilmapaineessa. Se on suunniteltu kestäväksi enintään 0,01 baarin ylipaine. Massatornin kattorakenteeseen kuuluu massaputki, massanlevittäjä, hönkäputki ja miesluukku sekä kulkusillat alla olevan kuvan mukaisesti (Kuva 2). Massa johdetaan torniin yläosan massaputkea pitkin ja levitetään massanlevittäjällä. Massatornin yläosaan voi muodostua kaasuja, joiden poistamiseksi massatornin katolla on lämpösaatettu hönkäputki halkaisijaltaan 0,6 metriä. Massanlevittäjän moottori on ulkona noin 3,5 metrin päässä hönkäputkesta. Massatornissa on hydrostaattinen pinnanmittaus eli yläpintahälytyn. Massatornin katto-osa painaa noin 22 tonnia ja sen pinta-ala on noin 190 m².



Kuva 2 Yksinkertaistettu kuva massatornin katon rakenteesta

Laitoksen räjähdysvaaralliset tilat on tunnistettu ja luokiteltu, ja tilaluokitus on päivitetty uudistuksen yhteydessä vuonna 2023. Massatornia ei ole luokiteltu räjähdysvaaralliseksi tilaksi, koska kaasujen ei oletettu olevan räjähtäviä. Tehtaan viimeisimmän riskienarvioinnin (HAZOP) mukaan massatornin toiminnan kannalta suurin riski on hönkäputken tukkeutuminen, jolloin tornin paine voi nousta (ylipaine) sitä täytettäessä ja laskea (alipaine) sitä tyhjennettäessä.

Laitoksen huolto- ja kunnossapitotoimet edellyttävät prosessin keskeytyksiä ja alasajoja (seisokkeja) sekä suunnitellusti että laiterikkojen tai vastaavien yllättävien tapahtumien vuoksi. Kuitulinjan alasajoa varten prosessityöntekijöillä on erilliset alasajo-ohjeet, joissa alasajon vaiheistus on kuvattu. Alasajossa massan tuotanto keskeytään, keitin ja putkisto tyhjennetään kuitumassasta ja putkilinja pestään ja huuhdellaan kiertovedellä. Massa ja huuhteluvesi johdetaan massatorniin, mikä nostaa tornin pintaa. Massasäiliössä syntyvä vesihöyry poistuu hönkäputken kautta. Uuden laitteiston ja prosessien käyttöönoton myötä kuitulinjan alasajoja on ollut vuoden 2024 aikana lukuisia, joista viimeisin ennen onnettomuutta oli 30.10.2024. Onnettomuutta vastaavaa yllättävää paineennousua ei ole tapahtunut aiemmin tai uuden kuitulinjan käyttöönoton jälkeen.

4 Onnettomuuden kuvaus

Onnettomuudella ei ollut silminnäkijöitä. Onnettomuuden aikaan valvontakamera oli suunnattu massatornin suuntaan, ja onnettomuustilanne tallentui videolle. Videossa näkyy, kuinka säiliön yläreunassa tapahtui muodonmuutos (pullistuminen), ja 1,6 sekunnin kuluessa säiliön katolla sijaitsevista hönkäputkesta ja miesluukusta purkautui ensin valkoista kaasua (höyryä) ja sitten ruskeaa. Säiliön katto irtosi voimakkaan paineen (räjähdysen) seurauksena ja lensi viereisen massatehtaan katolle (Kuva 3). Säiliöstä purkautuu samalla ilmaan kaasupatsas ensin ruskeaa ja myöhemmin valkoista kaasua (höyryä).



Kuva 3 Massatorni ja massatornin katto viereisen tehdasrakennuksen katolla välittömästi onnettomuuden jälkeen (Kuva: Pohjois-Savon pelastuslaitos)

4.1 Onnettomuutta edeltäneet tapahtumat

Kiertoveden määrä kasvoi massatehtaan uudistuksen myötä noin 25 prosenttia, jolloin veden viipymä kierrossa on kasvanut. Uuden laitteiston ja prosessien käyttöönoton myötä kuitulinjan alasajoja on ollut lukuisia viimeisen vuoden aikana. Alasajot ja seisokit lisäävät kiertoveden viipymää kiertovesitorneissa. Vuosiseisokin jälkeen tuli ensimmäisiä havaintoja siitä, että ammoniakki kaasuuntuu kartonkikoneella. Tapahtumaa edeltävinä päivinä tuotanto oli toiminut hyvin. Edellisenä yönä kartonkikoneella oli havaittu korkea ammoniakkipitoisuus. Aiemmin tehtaalla oli havaintoja rikkivedystä kiertovedessä. Edellisen alasajon yhteydessä oli aistittu tuntematonta ärsyttävää kaasua.

Tehtaan vuosihuollossa lokakuussa 2024 kiertovesitornit 1 ja 3 tyhjennettiin ja pestiin. Kiertovesi varastoitui noin 1,5 viikkoa kiertovesitornissa 2, jota ei tuolloin pesty. Paineilmamastus oli pois päältä seisokin vuoksi kiertovesitorneissa 1 ja 2. Kiertovesitornissa 3 ei ollut ilmastusta ja vesi tuli siihen alakautta, jolloin veden sekoittuminen oli heikompaa kuin kiertovesitorneissa 1 ja 2.

Tehtaan kartonkikoneella oli toimintaongelmia tapahtumapäivän aamulla 4.11.2024. Kartonkikone pysähtyi laiterikon vuoksi kello 7:30, jolloin massan otto massatornista loppui ja kartonkikoneen vesikierto pysäytettiin. Myös kuitumassan tuotanto päätettiin keskeyttää ja ajaa alas, jotta massatorniin ei kerry liikaa massaa seisokin aikana. Kuitulinjan alasajo alkoi kello 8:11, ja se eteni normaalisti alasajo-ohjeen ja -käytännön mukaisesti. Alasajon käynnistyessä massatornin pinta oli 43 prosentin korkeudella. Alasajoon liittyviin pesuihin käytettävä vesi otettiin kiertovesilinjasta (kiertovesisäiliöistä), koska kartonkikoneen vesikierto oli pois päältä. Massatornin pohja-alueen sekoittimet olivat päällä.

Tapahtumapäivänä kuitulinjan viimeinen huuhteluvaihe käynnistyi kello 11:00, jolloin massatornin pinnankorkeus oli 55–60 prosentissa. Tapahtumahetkellä kello 11:56 viimeinen huuhteluvaihe oli loppuvaiheessa, huuhteluveden tulo voimakasta (alasoventtiili oli kokonaan auki) ja massatornin pinnankorkeus oli 64 prosentissa. Massatorni sisälsi onnettomuushetkellä massaa noin 3 000 m³. Kuitulinjan alasajon aikana ei havaittu mitään poikkeavaa prosessissa tai prosessiarvoissa.

4.2 Onnettomuustilanne

Massatornin sisälle muodostui äkillinen paineenousu kaasunpalamisen seurauksena kello 11:56. Paineita purkautui voimakkaasti hönkäputkesta ja miesluukusta. Paineennousu johti 1,6 sekunnin kuluessa massatornin katon irti repeämiseen. Katto lensi noin 20 metriä ilmassa ja putosi viereisen tehdasrakennuksen katolle. Massatehtaan valvomossa kuultiin voimakas ääni, kun massatornin katto putosi tehdasrakennuksen katolle ja katto sortui.

Tehtaalla oli onnettomuuden aikana normaali päivävuoromiehitys. Onnettomuuspaikan läheisyydessä työskenteli tapahtuma-aikaan tehtaan omia ja alihankintayritysten työntekijöitä. Onnettomuushetkellä pääosa tehtaan henkilöstöstä oli lounastauolla ja operaattorit valvomossa, minkä vuoksi välittömällä vaara-alueella ei ollut työntekijöitä eikä onnettomuudella ollut silminnäkijöitä.

4.3 Tapahtumat onnettomuuden jälkeen

Tehtaalta soitettiin hätäpuhelu kello 12:00. Ensihälytys onnettomuudesta tuli hätäkeskukseen tapahtuneena räjähdysenä tai sortuman vuoksi, minkä vuoksi paikalle hälytettiin pelastustoimen ja

ensihoidon yksiköitä sekä poliisipartioita. Pelastuslaitoksen ensimmäiset yksiköt saapuivat onnettomuuspaikalle kello 12:11. Kaikkiaan paikalle saapui seitsemän pelastustoimen ja viisi ensihoidon yksikköä.

Tilanne tarkentui myöhemmin massatornin katon irtoamisen ja putoamisen aiheuttamaksi tehdasrakennuksen välikaton romahtamiseksi. Kun alueella ollut henkilöstö tavoitettiin ja kaikkien todettiin olevan turvassa, hälytys purettiin ja tarpeettomat hälytysyksiköt lähetettiin pois. Onnettomuusalue eristettiin ja säiliötä valokuvattiin, ja aluetta kuvattiin myös dronen avulla. Tapahtumasta ilmoitettiin Onnettomuustutkintakeskukseen (OTKES), joka teki alueella välittömän paikkatutkinnan ja puhutti onnettomuustilanteessa paikalla olleita henkilöitä. Viimeiset pelastuslaitokset yksiköt poistuivat paikalta kello 14:44.

4.4 Onnettomuuden seuraukset

Onnettomuuden seurauksena massatornin yläosa, massaputki sekä porrastorni ja kulkusillat massatornille vaurioituivat (Kuva 4). Massatornin katto vaurioitui käyttökelvottomaksi (Kuva 5). Massatornin metalliosia ja eristeitä, putkia ja kulkusillan osia sinkoutui piha- ja rata-alueelle noin 200 metrin alueelle massatornista. Onnettomuuden seurauksena ei aiheutunut henkilövahinkoja.



Kuva 4 Massatornin ja tehdasrakennuksen katon vauriot (Kuva: Pohjois-Savon pelastuslaitos)



Kuva 5 Massatornin vaurioitunut katto alaslaskemisen jälkeen (Kuva: Tukes)

Tehdasrakennuksen vesi- ja välikattoa romahti noin 250 m²:n alueelta (Kuva 6). Rakennuksessa olleita koneita ja laitteita vaurioitui romahtaneen alueen kohdalta. Koneet eivät olleet käynnissä, sillä meneillään oli huoltoseisokki. Osa laitteista oli poistettu käytöstä tehtaan uudistuksen yhteydessä.



Kuva 6 Tehdasrakennuksen katon sortuma sisältä (Kuva: Tukes)

Onnettomuuden selvitys- ja korjaustoimenpiteiden vuoksi tehtaan tuotanto oli keskeytettynä 4.11.–19.12.2024. Välittöminä toimenpiteinä olivat vaara-alueen rajaaminen ja lisävahinkojen torjuminen sekä vahinkojen raivaus. Myös onnettomuuden syiden selvitys käynnistettiin välittömästi, koska onnettomuudelle ei ollut aluksi tiedossa selkeää syytä. Syiden selvittyä tehtaalla käynnistettiin parannustoimet prosessikemiaan, mikrobitoiminnan seurantaan, massatornin rakenteeseen, kiertovesijärjestelmään sekä prosessinohjaukseen. Tehdaosan katolle tehtiin väliaikainen kattorakenne, ja katon lopullinen korjaus tehdään keväällä 2025. Tehdasrakennuksessa olleet vahingoittuneet jauhimet ja prosessilaitteet korjattiin joulukuussa 2024. Tarvittavat tarkastukset tehtiin ennen tuotannon käynnistystä 19.12.2024.

5 Onnettomuuden tutkinta

Tukesin valvoman tuotantolaitoksen tulee viipymättä ilmoittaa sattuneesta vakavasta onnettomuudesta Tukesille (390/2005 98 §). Toiminnanharjoittajan on annettava Tukesille sen valvontatoimenpiteiden kannalta tarpeelliset selvitykset. Tukesin on tutkittava sen valvontaan kuuluvassa tuotantolaitoksessa sattunut vakava onnettomuus, jos se on onnettomuuden syyn selvittämisen tai onnettomuuksien ehkäisemisen kannalta tarpeellista (390/2005 99 §).

Mondi antoi Tukesille ensitiedot onnettomuudesta 5.11.2024. Tukes päätti tutkia onnettomuuden kemikaaliturvallisuuslain (390/2005 99 §) perusteella ja nimitti tutkintaryhmän 6.11.2024 (dnro Tukes 14389/00.05.12/2024; Tukes, 2024). Tutkinnan tarkoituksena oli selvittää onnettomuuteen johtaneita tekijöitä kuten tuotantolaitoksen toimintaa, massatornin käyttöhistoriaa, muutostenhallintaa, ohjeistusta ja koulutusta sekä säädösten noudattamista. Tutkinnan perusteella Tukes esittää suosituksia vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi, säädösten ja vaatimusten kehittämiseksi sekä turvallisuuden edistämiseksi.

OTKES teki välittömän paikkatutkinnan onnettomuuspaikalla ilmapäivällä 4.11.2024 alustavan tutkinnan valtuuksin (Turvallisuustutkintalaki 525/2011 18 §). OTKES:in selvitys onnettomuudesta julkaistiin 19.12.2024 (OTKES, 2024). Selvityksen mukaan OTKES ei käynnistä tapauksesta turvallisuustutkintaa, koska aallotuskartonkitehdas kuuluu Tukesin valvonnan piiriin ja Tukes on nimittänyt tutkintaryhmän selvittämään onnettomuutta. OTKES katsoo, että Tukesin tekemällä tutkinnalla saavutetaan tehokkaampi turvallisuushyöty ja saadaan paremmin välitettyä turvallisuustietoutta alan toimijoille.

Tukesin osalta onnettomuustutkinta aloitettiin Kuopiossa 8.11.2024, jolloin tarkennettiin ensitietoja ja haastateltiin onnettomuushetkellä paikalla olleita henkilöitä. Tietoja tutkintaa varten saatiin lisäksi poliisilta ja pelastuslaitokselta. Toisella tehdaskäynnillä 11.12.2024 käytiin läpi Mondin omaa selvitystyötä sekä korjaavien toimenpiteiden suunnitelmaa. Tutkinnan taustaksi saatiin Mondilta tietoja prosessinohjausjärjestelmästä, vesi- ja massanäytteiden analyysituloksia sekä humahdusanalyysin tulokset.

Vaikka vastaavat räjähdysonnettomuudet ovat harvinaisia, tiedossa on ainakin kaksi tapausta paperiteollisuudessa, joissa massasäiliöön kertyneet syttyvät kaasut ovat aiheuttaneet räjähdysten ja katon irtoamisen. Yhdysvalloissa vuonna 2008 ja Ranskassa vuonna 2010 tapahtuneissa onnettomuuksissa massasäiliöön varastoidusta paperimassasta vapautunut vety sekoittui ilmaan

muodostaen räjähtävän kaasuseoksen, joka syttyi todennäköisesti kipinästä (CPI, 2011; IMPEL, 2011). Onnettomuuksien seurauksena annettiin seuraavia toimenpidesuosituksia:

1. Massan vedyntuottopotentiaali on tunnistettava osana riskienarviointia.
2. Vedyntuottajabakteerien lisääntyminen on estettävä tai niiden kasvuolosuhteita heikennettävä (säiliöiden puhdistus, sekoitus ja biosidien lisääminen).
3. Säiliöiden riittävä ilmanvaihto on varmistettava, jotta mahdolliset syttyvät kaasut haihtuvat.
4. Räjähdyksivaaralliset alueet on määriteltävä uudelleen.
5. Massasäiliön räjähdysriski on arvioitava ennen töiden aloitusta erityisesti silloin, kun massasäiliön täyttöaste on korkea ja massaa sekoitetaan pitkän seisokin jälkeen.

6 Onnettomuustutkinnan tulokset

Onnettomuuden välittömänä syynä oli kaasunpalaminen ja sen seurauksena syntynyt äkillinen paineen nousu massatornin sisällä. Massatornin yläosaan oli muodostunut prosessissa vetyä, joka yhdessä prosessissa vapautuvan ammoniakkikaasun kanssa muodosti herkästi syttyvän kaasuseoksen. Kaasuseos kerääntyi ilmaa kevyempänä kaasuna massatornin yläosaan. Todennäköisimpänä syytymissyyntä pidetään staattisen sähkövarauksen aiheuttamaa kipinää. Muita syytymislähteitä ei massatornissa tunnistettu. Onnettomuuden perussyinä olivat kiertovesijärjestelmän mikrobiologiset olosuhteet ja prosessin kemialliset ominaisuudet, jotka lisäsivät herkästi syttyvän kaasuseoksen (vety ja ammoniakki) muodostumista prosessissa. Lisäksi onnettomuuteen vaikuttivat kuitulinjan alasajo-olosuhteet sekä kiertovesisäiliöiden ja massatornin rakenteet.

6.1 Tekniset ja kemialliset tekijät

Kiertovesijärjestelmän ja massatornin olosuhteet aiheuttivat erityisesti vetyä tuottavien bakteerien lisääntymisen massatornin sisällä. Kirjallisuuden perusteella voidaan arvioida, että vetykaasun tuotanto on voinut olla massatornissa riittävän suurta räjähtävän kaasuseoksen syntymiselle massatornin yläosan kaasutilaan. Massasta ja kiertovedestä massatornissa todennäköisesti vapautunut ammoniakkikaasu on saattanut sekoittua vedyn kanssa ja osallistua osittain räjähdykseen.

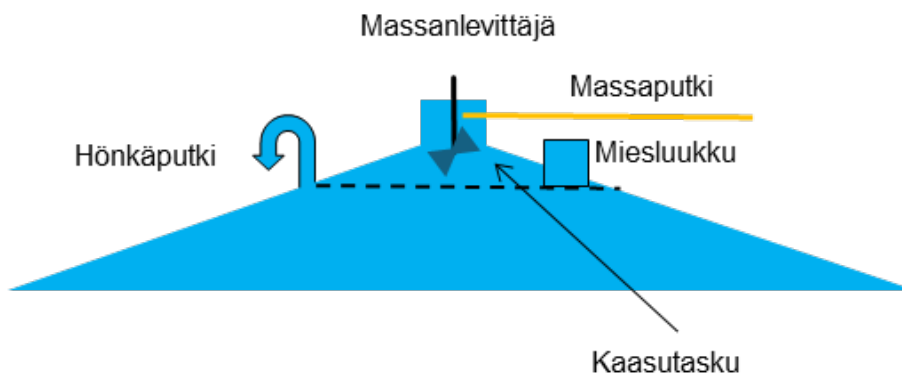
Mondin Kemira Oyj:llä teettämän bakteeriyhteisöanalyysin mukaan massatornissa oli bakteereita, jotka olivat peräisin kiertovedestä. Kiertovesitornien seinämiltä ja pohjalietteistä otetuissa näytteissä esiintyi runsaasti anaerobisia bakteereita. Valtasukuina bakteeriyhteisössä esiintyivät *Thermoanaerobacterium*, *Thermoanaerobacter* ja *Caldicellulosiruptor* -sukuihin kuuluvat bakteerit, joiden aineenvaihduntatuotteena syntyy vetyä. Ilmastuksen puute ja veden viipymän kasvu (esimerkiksi seisokin aikana) näyttäisivät vaikuttavan bakteeripitoisuuden kasvuun. Kasvua oli erityisesti kiertovesitornissa 2, jota ei pesty viimeisimmässä vuosiseisokissa ja jonka ilmastus oli pois päältä seisokin aikana. Bakteerit kulkeutuivat huuhteluveden mukana kiertovesitorneista massatorniin, jossa niiden lisääntymiselle oli suotuisat olosuhteet (kosteus, hapettomuus, lämpötila, pH ja ravinto). Tapahtumapäivän alasajon viimeisen huuhtelun loppuvaiheessa käytettiin bakteerikasvuston suhteen likaisinta vettä.

Keittokemikaalina käytetystä ammoniumsulfiitista jää massaan kemikaalijäämiä (ammoniumtyppi ja rikki). Keittokemikaalien annostusta säädettiin (nostettiin) ensisijaisesti tuotelaadun perusteella, jolloin massaan päätyvien kemikaalijäämien pitoisuus voi lisääntyä. Myös kiertovesi sisälsi rikkivetyä.

Kiertoveden pH-arvo oli kohonnut, koska prosessin MgO-annostusta oli lisätty tuotelaadun säätämiseksi. Myös MgO:n annostelupisteen paikka muuttui, mikä nosti kiertoveden pH-arvoa. Uudelta keittimeltä tulevan massan pH-arvo oli korkeampi kuin aiemmin. Kun massatornissa olevaan massan joukkoon huuhdeltiin kiertovettä, massan pH nousi edelleen. Massan pH-arvon kohoaminen ja korkea lämpötila (60–65 °C) lisäsivät ammoniakkikaasun vapautumista massatornissa. Huuhteluveden laskeminen torniin massanlevittäjän kautta synnytti pisaroimista, joka saattoi edelleen lisätä ammoniakkikaasun vapautumista massatornin yläosassa. Veden tulo oli voimakasta juuri ennen onnettomuutta, koska huuhtelun viimeinen vaihe oli juuri käynnistynyt.

Massatornissa oli vetyä tuottaville bakteereille runsaasti sopivaa ravintoa (puuperäistä orgaanista hiiltä) ja suotuisa lämpötila (60–65 °C), jolloin ne pääsivät runsastumaan ja vapauttamaan vetyä massatornin kaasutilaan. Massan varastointivaiheen kasvaessa seisokkitilanteessa bakteerien kasvuun sopivat olosuhteet voimistuivat. Myös massan kevyt sekoittaminen voi lisätä vetykaasun vapautumista, kun massatorniin laskettiin massaa ja massatornin alaosan sekoittimet olivat käynnissä myös seisokin aikana. Mondin teettämän selvityksen mukaan vetykaasun tuotannon arvioidaan riittävän räjähtävän kaasuseoksen syntymiseen massatornin olosuhteissa ja massan viipymällä.

Massatornin rakenne mahdollisti ilmaa kevyempien vety- ja ammoniakkikaasujen kerääntymisen massatornin yläosan kaasutilaan ja erityisesti kaasutaskuun (Kuva 6). Massatornin katon hönkäputki oli katon lappeella, jolloin katon yläosaan jäi noin 18 m³ kaasutasku. Mondin teettämän humahdulaskelman mukaan kaasutilavuuden humahdus riittäisi aiheuttamaan onnettomuuden kaltaisen paineen nousun.



Kuva 7 Massatornin katon yläosan kaasutasku

Massatornin katon irtoamiseen riittää varsin pieni ylipaine, koska massatornia ei ole suunniteltu kemikaali- tai painesäiliöksi. Jos tapahtuman yhtenä vaikuttavana tekijänä oli hönkäputken

tukkeutuminen (HAZOP:ssa tunnistettu riski), katon irtoaminen on mahdollista syntyneen ylipaineen seurauksena. Hönkäputken tukkeutumisesta ei kuitenkaan löytynyt merkkejä tutkinnassa, ja valvontakameran kuvassa näkyi hönkäputkesta purkautuvan höyryä aamupäivällä ennen onnettomuutta.

Kaasuseoksen syttymän on todennäköisimmin aiheuttanut staattisen sähköön aiheuttama kipinä, koska muuta syttymislähdettä ei massatornissa tunnistettu. Staattinen sähkövaraus on voinut syntyä esimerkiksi massanlevittimen liikkeestä. Potentiaaliero on voinut syntyä myös huuhteluveden liikkeestä.

6.2 Organisaation toimintaan liittyvät tekijät

Massatehtaan tuotantoprosessi muuttui olennaisesti uudistuksen myötä vuoden 2023 lopulla. Muutokset ja uudistuksen käyttöönoton yhteydessä esiintyneet tuotantokatkokset vaikuttivat prosessin kemiallisiin ja mikrobiologisiin olosuhteisiin. Tehtyjen muutosten aiheuttamia vaikutuksia ei arvioitu riittävästi, eikä niitä tuotu riittävästi esille Tukesille tehdyssä muutosilmoituksessa. Toistuvien häiriöiden ja suunnittelemattomien seisokkien vaikutusta prosessiturvallisuuteen ei ollut arvioitu riittävästi.

Uusien massankäsittely- ja kiertovesiprosessien kemiallisia ja mikrobiologisia ominaisuuksia ei tunnettu riittävästi eikä niiden aiheuttamia prosessiturvallisuusriskejä arvioitu. Osa tapahtuneista muutoksista ilmeni vasta onnettomuuden jälkeisen selvitystyön yhteydessä. Erityisesti vedyntuottajabakteerien esiintymisen ja runsastumisen vaaraa ei tunnistettu eikä siten varauduttu vetykaasun muodostumiseen massatornissa. Palavien kaasujen läsnäolo kiertovesijärjestelmän yhteydessä sinällään tiedostettiin, koska järjestelmän tyhjennysten ja ylikaatojen yhteydessä oli tehty havaintoja rikkivedystä. Kaasupitoisuuksien arvioitiin kuitenkin olevan niin pieniä, etteivät ne voisi aiheuttaa räjähdysvaaraa. Kaasunmuodostusta pidettiin lähinnä työhygieenisenä ongelmana. Työhygieenisesti haitalliseksi tunnettu pitoisuus on monien palavien kaasujen osalta huomattavasti alhaisempi kuin kaasun syttymisraja. Myös tehtaalle asennetut kaasunilmaisimet oli tarkoitettu rikkivetypitoisuuksien valvontaan työhygieenisestä näkökulmasta.

MgO:ta annosteltiin prosessin pH:n säätöön tuotelaadun ja hajukaasujen näkökulmasta. MgO:n annostelupiste siirrettiin muutoksessa, jolloin pH-säätö tapahtui vasta massatornin jälkeen. Annostelumuutosten ja niiden aiheuttamien pH-arvojen muutosten (kohoamisen) vaikutuksia prosessiturvallisuuteen ei arvioitu. Onnettomuutta edeltävien päivien ammoniakkihavaintojen (kartonkikoneella) kytköstä kiertovesitornien mikrobiologiseen aktiivisuuteen ja vedyn muodostumiseen ei tunnistettu. Syytä havainnoille etsittiin lähinnä kartonkikoneen alueelta. Lisäksi

onnettomuuspäivänä kartonkikoneen huovan rikkoutuminen vei huomioon, jolloin ammoniakkihavaintoihin ei kiinnitetty riittävästi huomiota.

Massatehtaan prosessiriskien arvioinnissa (HAZOP) ei tunnistettu mikrobiologisen kaasunmuodostuksen mahdollisuutta. Käytetty HAZOP-riskienarviointimenetelmä ei välttämättä tue prosessin kemiallisten ominaisuuksien tai mikrobiologisten olosuhdetekijöiden tunnistamista. Kaasunmuodostukseen tai sen aiheuttamaan räjähdysriskiin ei siten varauduttu.

Massatornin kattoa ja sen rakenteita ei ollut suunniteltu ylipaineeseen ja nopeaan paineen nousuun. Palavia kaasuja ja räjähdysvaaraa ei tunnistettu suunnitteluvaiheessa ja riskienarvioinnissa. Massatornia ei siten määritelty paineelliseksi tai räjähdysvaaralliseksi (ATEX) tilaksi ja rakennettu painelaite- tai ATEX-vaatimusten mukaisesti.

6.3 Säästösten noudattaminen

Massatehtaan uudistushankkeeseen liittyen oli Tukesille tehty kemikaaliturvallisuuslain mukainen muutosilmoitus vuonna 2021 ja Tukes oli antanut ilmoituksen johdosta päätöksen. Muutosilmoituksessa oli esitetty laitoksella vaarallisten kemikaalien käsittelyyn tehtävät muutokset. Nämä muutokset koskivat esimerkiksi uusia kemikaalisäiliöitä ja kemikaalien purkupaikkoja. Massaa tai kiertovettä ei luokitella vaarallisiksi kemikaaleiksi, minkä vuoksi niiden käsittelyyn liittyviä järjestelmiä ei esitetty muutosilmoituksessa. Koska massatornissa esiintynyttä räjähdysvaaraa ei ollut tunnistettu, ei sitä myöskään esitetty muutosilmoituksessa eikä käsitelty muutosilmoituksen perusteella laaditussa Tukesin päätöksessä. Toistuvat tuotantohäiriöt ja seisokit eivät olleet nousseet esille Tukesin valvonnassa.

Massatehtaan uudistushankkeen yhteydessä oli tehty räjähdysvaaran arviointi sekä laadittu räjähdysvaarallisten tilojen luokitus. Massasäiliötä ei ollut tunnistettu räjähdysvaaralliseksi tilaksi, koska vedyn muodostumista massasäiliöön ei ollut tunnistettu riskiksi. Säiliötä ei ollut rakennettu ATEX-vaatimusten mukaisesti, eikä räjähdysvaaraan ollut varauduttu.

Räjähdysvaaran arviointia ja räjähdysvaarallisten tilojen luokittelua koskee eurooppalainen standardisarja IEC 60079. Sarjan osa SFS-EN IEC 60079-10-1 käsittelee kaasuräjähdysvaarallisten tilojen tilaluokittelua. Suomessa on laadittu standardia täydentävä SFS-käsikirja 59 (SFS, 2022), joka sisältää käytännöllisiä ohjeita tilaluokituksen tekemiseen sekä tyypillisimpien räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun.

Standardi ja käsikirja käsittelevät laajasti erilaisten palavien nesteiden ja kaasujen käsittelyyn käytettävien laitteiden ja tilojen räjähdysvaaran arviointia. Tarvetta arvioida räjähdysvaaran mahdollisuus myös tilassa, johon räjähdyskelpoinen ilma–kaasu-seos voi syntyä mikrobiologisen toiminnan seurauksena ei ole standardissa tai käsikirjassa suljettu pois. Toisaalta tämän kaltaista tilannetta ei ole myöskään erikseen käsitelty tai annettu siihen liittyviä ohjeita. On myös huomioitava, että räjähdysvaaroja arvioitaessa tarkastellaan pääsääntöisesti tuotantolaitoksen normaalia toimintaa. Laaditut arvioinnit eivät välttämättä ole voimassa seisokin kaltaisten poikkeavien tilanteiden aikana, vaan voidaan tarvita tilannekohtaista räjähdysvaaran arviointia.

7 Johtopäätökset

Tukes katsoi tärkeäksi selvittää onnettomuuden syyt ja keinot vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi, koska onnettomuus oli vakava ja sen syy oli alkuvaiheessa epäselvä. Tutkinnan avulla vastaavien tuotantolaitosten ja prosessien turvallisuus, luotettavuus ja käytettävyys voidaan tulevaisuudessa varmistaa paremmin. Onnettomuuteen johtaneita syitä ja niiden suhteita on kuvattu tutkintaraportin liitteenä olevassa AcciMap-kaaviossa (Liite 1). Mondin omilla selvityksillä oli keskeinen rooli onnettomuuden teknisten ja kemiallisten syiden selvityksessä. Toiminnanharjoittaja esitti jo tutkinnan aikana merkittäviä parannuksia prosessiin. Tutkinnassa on keskitytty onnettomuuteen johtaneiden syiden selvittämiseen, joten onnettomuuden jälkeen tehtyjä tai suunniteltuja toimenpiteitä ei ole huomioitu tutkinnassa.

Onnettomuuden välittömänä syynä pidetään kaasuseoksen räjähdysmäistä paloa massatornin ilmatilassa. Syttymälähdettä ei voitu varmuudella tunnistaa, koska palojälkiä tai muita merkkejä ei massatornin rakenteissa tai laitteissa näkynyt. Todennäköisesti syttymissyynä oli staattisen sähkön aiheuttama kipinä. Räjähävä kaasuseos syntyi, kun vety- ja ammoniakkikaasuja kertyi massatornin ilmatilaan ja ne sekoittuivat ilman kanssa. Kun kaasut kerääntyivät massatornin yläosan kaasutilaan, jo pieni määrä kaasuseosta saattaa riittää räjähtävän pitoisuuden syntymiseen.

Onnettomuutta edeltäneet tapahtumat eli massatehtaan uudistus, seisokit ja alasajo-olosuhteet lisäsivät mikrobitoimintaa ja nostivat pH-arvoa kiertovesijärjestelmässä ja massatornissa. Tapahtuman jälkeen kiertovesitorneista ja massatornista otetuissa näytteissä esiintyi merkittäviä määriä anaerobisia vedyntuottajabakteereita. Massatornin olosuhteet olivat suotuisat vedyntuottajabakteereille, jolloin ne pääsivät lisääntymään. Kiertovedessä oli jäännösammoniakkia, joka kaasuuntui massatornin olosuhteissa erityisesti alasajovaiheen viimeisen huuhtelun yhteydessä.

Uusien laitteistojen ja prosessien käyttöönotto vaatii erityistä huomiota sekä muutostenhallinnan että prosessiturvallisuuden näkökulmasta. Muutosten vaikutukset tulee arvioida ja ottaa huomioon riskienhallinnassa. Toiminnanharjoittajan on kyettävä tunnistamaan paitsi yksittäisten muutosten merkitys, myös useiden muutosten yhteisvaikutukset. Muutostenhallintaan on oltava systemaattinen menettely. Toiminnanharjoittajalla tulee olla myös menettelyt muutosten käyttöönoton jälkeen ilmenevien häiriöiden ja toistuvien seisokkien syiden ja vaikutusten selvittämiseen.

Merkittävästi muuttuneen prosessin prosessiturvallisuusriskien arviointi tulee päivittää. Arvioinnissa tulee huomioida kaikki olennaiset vaaratekijät. Myös räjähdysvaaran arviointi ja räjähdysuodatusasiakirja tulee päivittää tarvittaessa.

8 Toimenpide-ehdotukset

8.1 Mondia koskevat suositukset

Tutkintaryhmä esittää seuraavia suosituksia Mondille vastaavan onnettomuuden ehkäisemiseksi:

- Vedyntuottajabakteerien lisääntyminen on estettävä tai niiden kasvuolosuhteita heikennettävä.
- Keittokemikaalien annosteluun liittyvät prosessiturvallisuusriskit on arvioitava ja annosteluun liittyvät muutokset on käsiteltävä systemaattisen muutoksenhallintamenettelyn kautta.
- Kiertovesijärjestelmän mikrobiologista sekä keittokemikaaleista aiheutuvaa kaasunmuodostusta (erityisesti vety ja ammoniakki) tulee ehkäistä ja hallita.
- Räjähävän kaasuseoksen syntymistä ja kaasun kertymistä massatorniin tulee ehkäistä ja hallita. Ellei tämä ole mahdollista riittävän luotettavalla tavalla, tulee kaasuseoksen räjähtäminen ehkäistä ja varautua räjähdysvaaran aiheuttamaan äkilliseen paineen nousuun.
- Massatornin räjähdysvaara tulee arvioida muutosten jälkeen. Räjähdysvaarasiakirja on päivitettävä tarvittaessa.
- Prosessin työohjeet (mukaan lukien alasajo-ohjeet) tulee päivittää ja varmistaa muutosten läpikäynti työntekijöiden kanssa.
- Merkittävien prosessimuutosten vaikutukset tulee tunnistaa ja arvioida muutosten turvallisen käyttöönoton varmistamiseksi. Muutoksenhallintamenettelyn on sisällettävä prosessiturvallisuusriskien arviointi ja soveltuvan riskienarviointimenetelmän määrittely. Arvioinnissa tulee huomioida kemialliset ja biologiset vaaratekijät sekä mikrobiologiset olosuhdetekijät.
- Prosessihäiriöiden syiden ja vaikutusten selvittämiseen ja korjaavien toimien tekemiseen tulee olla selkeät vastuut ja järjestelmälliset menettelyt.

8.2 Yleiset suositukset

Tutkintaryhmä esittää seuraavia yleisiä suosituksia vastaavien onnettomuuksien välttämiseksi.

Teknisiin järjestelmiin liittyvät suositukset:

- Paperi- ja kartonkiteollisuuden massankäsittelyssä tulee tunnistaa ja arvioida mikrobitoimintaan liittyvät riskit sekä syttyviä kaasuja (esimerkiksi vety) tuottavien bakteerien esiintymisen mahdollisuus.
- Tuotantolaitoksen normaalitoiminnan näkökulmasta laaditut prosessiturvallisuusriskien ja räjähdysvaarojen arvioinnit eivät välttämättä ole voimassa seisokin kaltaisten poikkeustilanteiden aikana. Poikkeustilanteessa voidaan tarvita tilannekohtaista riskienarviointia.

Organisaatioon ja johtamiseen liittyvät suositukset

- Kemikaalilaitoksella tulee olla riittävä tieto prosessiturvallisuuden kannalta oleellisista kemikaalien aineominaisuuksista sekä kemikaalien välisistä reaktioista ja prosessissa syntyvistä kemikaaleista. Toiminnanharjoittajalla tulee olla käytössään riittävät analyysimenetelmät aineominaisuuksien ja niiden muutosten arviointiin.
- Toiminnanharjoittajalla tulee olla käytössään riskienarviointimenetelmät, joilla tunnistetaan myös kemiallisten ja biologisten vaaratekijöiden sekä mikrobiologisten olosuhdetekijöiden aiheuttamat prosessiturvallisuusriskit.
- Kemikaalilaitoksella tehtävät merkittävät tekniset ja toimintatapoihin liittyvät muutokset on käsiteltävä systemaattisen muutoksenhallintamenettelyn kautta, jossa muutoksen vaikutukset arvioidaan ja ne voidaan ottaa huomioon riskienhallinnassa. Muutoksen käyttöönotossa ilmenevät häiriöt ja niiden syyt tulee selvittää järjestelmällisesti. Merkittävistä muutoksista on ilmoitettava Tukesille.
- Jos on mahdollista, että tilaan tai säiliöön muodostuu räjähdysvaarallinen kaasuseos, räjähdysvaaraan varautuminen on otettava huomioon tilan tai säiliön rakentamisessa. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet on valittava kyseisen tilan luokituksen mukaan. Räjähdysvaarallisessa tilassa on huolehdittava staattisen sähkövarauksen poistamisesta.

Viranomaistoimintaan ja lainsäädäntöön liittyvät suositukset

- SFS-käsikirja 59 ”Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut” (SFS, 2022) ei ota kantaa mikrobiologiseen kaasunmuodostukseen räjähdysvaaran aiheuttajana. Asiaa tulee tarkastella käsikirjan seuraavan päivityksen yhteydessä.
- Tukesin valvonnassa tulee kiinnittää huomiota mikrobiologisten olosuhdetekijöiden aiheuttamien prosessiturvallisuusriskien arviointiin paperi- ja kartonkiteollisuudessa.

- Tukesin valvonnassa tulee kiinnittää huomiota merkittävien muutosten jälkeen toistuviin laitoksen häiriöihin ja suunnittelemattomiin alasajoihin sekä niiden syiden selvittämiseen. Toistuvat häiriöt voivat indikoida sitä, että muutoksen seurauksena vakavan onnettomuuden riski on kasvanut.

9 Lähteet

Mondi Powerflute Oy:ltä saatu materiaali

Pohjois-Savon pelastuslaitokselta saatu materiaali

390/2005 Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta

525/2011 Turvallisuustutkintalaki

599/2013 Kemikaalilaki

685/2015 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta

1272/2008 Euroopan parlamentin ja neuvoston kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskeva asetus (ns. CLP-asetus)

CPI (2011) Fatality at French Paper Mill. Safety Alert. Confederation of paper industries. Saatavilla: <https://stispfa.org/wp-content/uploads/2022/11/Tank-Explosion-at-French-Paper-Mill.pdf#:~:text=It%20has%20been%20reported%20that%20on%2019%20January%2C,in%20France%20The%20deceased%20was%2047%20years%20old>. (haettu 31.1.2025)

IMPEL (2011) Explosion of paper pulp storage tank. French Ministry of Sustainable Development. Updated February 2013. Saatavilla: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/FD_39635_NogentsurSeine_2010_ang.pdf (haetty 31.1.2025)

OTKES (2024) Selvitys: Äkillisen paineen nousun aiheuttama kuitumassatornin katon irtoaminen Kuopiossa 4.11.2024 19.12.2024. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavilla: <https://turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/muutonnettomuudet/tutkintaselostuksetvuosittain/2024/akillisenpaineennousunaiheuttamakuitumassatorninkatonirtoaminenkuopiossa4.11.2024.html> (haettu 10.1.2024)

SFS (2022) Räjähdyksivaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. SFS käsikirja 59:2022.

Tukes (2024) Tukes on nimittänyt tutkintaryhmän selvittämään kartonkitehtaan massatornin katon räjähdysmäistä irtoamista. Mediatiedote 6.11.2024. Saatavilla: <https://tukes.fi/-/tukes-on-nimittanyt-tutkintaryhman-selvittamaan-kartonkitehtaan-massatornin-katon-rajahdysmaista-irtoamista> (haettu 10.1.2025)

