

SISÄTILANÄYTTEIDEN TOKSISUUS JA TERVEYSHAITTA-OIREET KOULUISSA

Pekka J. Salin^{1,2}, Janne T. Salin^{1,3}, Maria A. Andersson², Tuomas Holma³, Katri Nelo¹ ja Mirja Salkinoja-Salonen²

¹Inspector Sec laboratorio, Oulu; ²Helsingin Yliopisto, Elintarvike- ja Ympäristötieteiden laitos, ³ Oulun Yliopistollinen sairaala, Korva-, nenä-, ja kurkkutautien klinikka

TIIVISTELMÄ

Kaksoissokkotutkimuksessa 15 helsinkiläiskoulusta tutkittiin yhteensä 403 koululuokkaa ja työtilaa. Kerätyistä sisätilanäytteistä tutkittiin solutoksisuus laboratoriossa. Samanaikaisesti sisätilanäytteiden keruun kanssa toinen tiimi keräsi henkilöstöltä tiedot terveyshaittaoireista ja näiden liittymisestä työtiloihin. Kysely sisälsi yht. 282 kpl kysymyksiä, joista yksittäisiä oireita 136 kpl ja sairauksia 50 kpl. Tutkimusosioiden valmistuttua toksisuustuloksia (919 kpl) verrattiin samojen tilojen oiretietoihin tilastollisin menetelmin. Havaittiin, että toksisia näytteitä tuli eniten kouluista, joissa oireiltiin eniten ja että eräät terveyshaittaoireet olivat yliesiintyviä kouluissa, joista löytyi paljon toksisia näytteitä. Tulokset osoittivat sisätilanäytteiden toksisuuden korreloituvan henkilöstön raportoimiin terveyshaittoihin.

1. TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

1.1 Koulujen terveyshaittaoire -kysely

Ennen tutkimuksen aloittamista pyydettiin Helsingin ja Uudenmaan Sairaanhoidopiirin eettiseltä toimikunnalta kantaa lausuntotarpeelle. Kanta oli, että koska tutkimus ei ollut lain tarkoittama lääketieteellinen tutkimus, lausunnolle ei ole tarvetta. Tutkimusluvan kouluissa antoi Helsingin kaupungin Opetusvirasto. Kyselyn kohderyhmä oli koulujen opettajat ja muu päätoiminen henkilöstö (ei lapset).

Terveyshaittojen tutkimista varten kehitettiin suomalaisiin kouluoloihin soveltuva kyselylomake /1/. Kyselyn toteuttamista varten koulujen rehtoreiden toimittamiin sähköposti-osoitteisiin lähetettiin linkki kyselyyn. Tähän käytettiin palveluntarjoajana Webropol Oy:tä. Kyselyvastaukset yhdistettiin kouluun ja vastaajan työtilaan tilakoodin perusteella. Kyselyvastausten hyväksymiskriteerit: Terveyshaittakyselyn vastauksilta edellytettiin seuraavia kriteerejä: kyselylomakkeen olennaisiin kysymyksiin oli vastattu, vastaajan työtila tunnistettiin koulun tilaksi, ja työtilasta oli kerätty sisätilanäyte, vastaaja ilmoitti työskennelleensä tämän koulun työtiloissa lukuvuonna 2010-2011 vähintään 7 viikkotuntia, työpiste oli säilynyt samana koko lukuvuoden ja että vastaaja ei ollut raskaana. Indoor security 2011 -kyselyn 282 erillistä kysymystä oli koottu hierarkisiksi alaryhmiksi siten, että vastaaja voi siirtyä seuraavaan alaryhmään tarvitsematta kahlata läpi sen alaryhmän kysymyksiä, jonka aloituskysymykseen hän oli vastannut ”ei”/1/. 186 kysymystä koski nimettyä oiretta tai sairautta, muut kysymykset (96 kpl) koskivat mm. sosio-ekonomisia tai demograafisia tietoja (Taulukko 1). Oireet oli jaettu 23 eri osa-alueeseen, joista kukin edusti tiettyä elimistön toiminnallista osaa (esim. hengitystiet tai iho) tai

yleisoiretta (esim. väsymys, sairauden tunne, yleiskunnon lasku). Kysyttiin myös vastaajan mielipidettä työpaikan mahdollisesta sisäilmaongelmasta. Vastausvaihtoehdot oireryhmäkysymyksiin olivat kyllä/ei. Yksittäisistä oireista kysyttiin myös lisätarkennuksia. Muut kysymykset koskivat aiempaa ja nykyistä työuran pituutta ja laajuutta, sairauslomien määrää, pituutta ja syitä. Kriteerit täyttävät vastaustiedostot saatiin (18.5-14.6.2011) yht. 274 vastaajalta.

Taulukko 1. Terveyshaittojen kyselytutkimus: Vastaukset pyydettiin kohdentamaan vastaajan tilanteeseen lukuvuoden 2010/11 aikana. Vastaus %: 71, joista kriteerit täyttäviä yht. 274. Kyselyvastaukset käsitteli tiimi 1 (JS, TH), joka ei osallistunut koulutilojen työtilojen kartoitukseen ja toksisuuden tutkimiseen. Tilastollinen merkitys arvioitiin p-arvon perusteella, raja-arvona $p < 0.05$.

Kysymystyyppi	Kysymysten lkm	Pyydetty vastausmuoto
<u>Terveyshaittoihin liittyvät:</u>		
Pääkysymys (oireryhmä)	22	Kyllä / Ei
Nimetty yksittäinen oire	136	Kyllä / Ei; lisätarkennukset
Sairaudet	50	lääkärin diagnosoima /muu
Antibioottikuurit	1	montako kuuria lkv. 2010-11 aikana
Avoimet / tarkentavat kysymykset	26	vapaamuotoinen teksti / vastausvaihtoehdot
<u>Koulutyöhön liittyvät</u>		
Työuran pituus, työaika/vko	3	kokonais-, nykyisessä koulussa, viikkotunnit
Sairauslomat	3	kpl, kestot, syyt
Oman koulun sisäilmaongelmat	3	Kyllä / Ei, oma mielipide
Toimipaikka	4	Koulun nimi, omien työtilojen tilakoodit
Muut tiedot ja palautekysymykset	34	ikä, mies/nainen; tupakointi, raskaus, työpaikan vaihdokset
Kysymyksiä yhteensä	282	

1.2 Sisätilanäytteiden keruu ja toksisuuden tutkimus

Samoista kouluista, joissa kyselytutkimus toteutettiin, kerättiin sisätilanäytteet toksisuuden tutkimusta varten. Ennen pölynäytteiden keruuta tiloista mitattiin hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja ilmankosteus (CO₂, ppm, Vaisala OY M170). Jokaisesta tilasta pyrittiin keräämään (3.3 – 13.6.2011) yksi yläpöly (pyyhintäpöly ≥ 1.5 m lattiapinnan yläpuolella sijaitsevalta kovalta tasopinnalta) koulupäivän jälkeen luokan ollessa tyhjänä. Kustakin tilasta kerättiin laskeumanäytteet viljelymaljoille (mallas-, ja tryptonisoija-agar) koulutuntien aikana (11.5.-3.6.2011) pitämällä maljoja auki yhden tunnin ajan. Maljat teipillä, joka läpäisee kaasuja mutta ei hiukkasia, annettiin kasvaa 1 kk ajan ja avattiin vasta juuri ennen toksisuuden mittausta. Näin estettiin ristikontaminaatiot näytteenoton, kuljetusten ja myöhemmän kasvatuksen aikana. Pyyhintäpölyistä ja laskeumaviljelmien biomassoista tehtiin uutteen joiden solutoksisuus tutkittiin siittiötestillä siten kuin aiemmin on kuvattu /2/, /3/. Kohteet sokkoutettiin siten, että näytteenottaja ja toksisuustestit suorittaneen laboratorion (InspectorSec Oy) henkilökunta eivät tieneet, oliko työpisteessä oireiltu. Vastaavasti oirekyselyn täyttävä ei tiennyt työpisteeseensä liittyvää toksisuutta. Pölynäytteet koodattiin niin, ettei niitä voinut jäljittää laboratoriossa mihinkään kouluun tai työpisteeseen. Toksisuus- ja oiredata koottiin omiksi tietokannoikseen. Kun molemmat tiedostot valmistuivat, näyttekoodit avattiin.

Toksisuusdataa tulkittiin seuraavin kriteerein: sisätilapöly on toksista kun sen mitattu EC₅₀ (50 % effective toxicity, tehollinen toksisuus) on ≤ 12 µg/ml. TSA (tryptoni-soijauute) maljalta kerätty biomassa on toksista jos sen 1 d tai 3 d altistustestissä saatu EC₅₀ arvo \leq

25 µg/ml. Mallasagarilta kerätty biomassa on toksista jos sen EC₅₀ arvo 1 d altistuksessa on ≤ 25 µg/ml tai 3 d altistuksessa ≤ 12 µg/ml. Poikkeavan toksiseksi katsottiin näytteet, joiden EC₅₀ arvo oli ≤ 6 µg/ml. Perustelut näille viitearvoille on esitetty lähdeviitteissä /2/ ja /3/. Nämä tutkimukset toteutti tiimi 2 (PS, MSS, KN), joka toimi erillään tiimistä 1 eikä osallistunut kyselytietojen kokoamiseen tai käsittelyyn.

2. TULOKSET 15 KOULUN SISÄILMAAN LIITTYVIEN TERVEYSHAITTA-OIREIDEN JA SISÄTILANÄYTTEIDEN TOKSISUUDEN TUTKIMUKSESTA

2.1 Koulujen henkilöstön terveyshaittaoireiden kyselytutkimuksen tuloksia

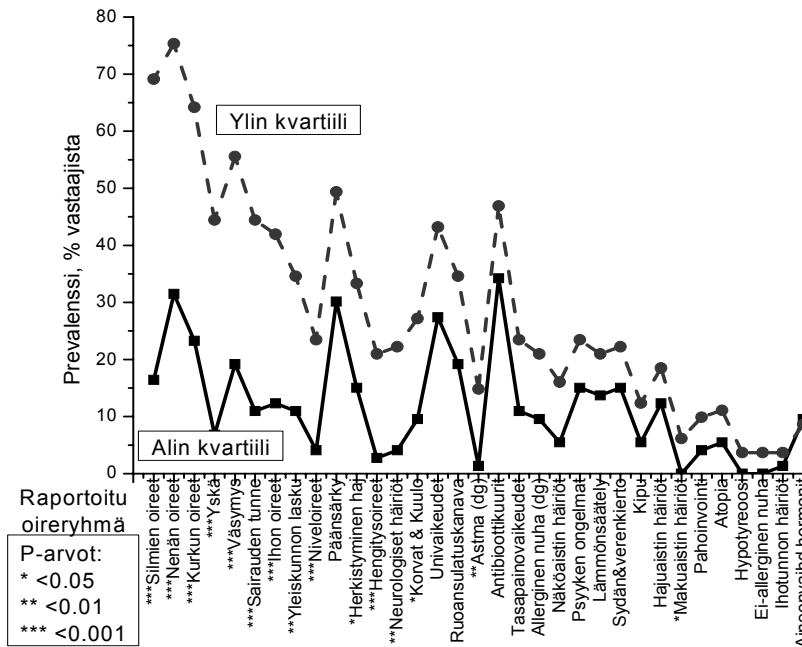
Terveyshaittaoirekysely kattoi elimistön kaikki toiminnalliset osa-alueet (ks. 1.1 ja taulukko 1) sekä yleisoireita, kuten väsymys ja sairauden tunne, yht. 186 nimettyä oiretta tai sairautta. Taulukossa 2 on koulukohtainen yhteenveto terveyshaittaoirekyselyn tuloksista. Yhteensä 274 vastaajaa ilmoitti ”kyllä” vastauksia eri oireryhmiin (n=23) 1352 kpl, eli 21% kaikista vastauksista oli myöntäviä. Taulukosta näkyy, että ”kyllä” vastauksien osuus eri kouluissa vaihteli välillä 10 % - 34 %. Neljän vähiten (alin kvartiili) oireita ilmoittaneen koulun vastauksista 10 – 14 % oli ”kyllä” ja neljän eniten oireita (ylin kvartiili) ilmoittaneista kouluista 27 – 34 %, eli 2 – 3 kertaa enemmän kuin alakvartiilissa (tilastollisesti merkitsevä, p < 0.05).

Taulukko 2. Yhteenveto 15 koulun terveyshaittaoireiden kyselytutkimuksen tuloksista. ("Indoor security 2011" kysely, ks. Taulukko 1). Koulut valitsi Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston Tilakeskus siten, että ne edustivat eri-ikäisiä, -laatuista ja -tyyppisiä kouluja. Terveyshaittaoireita koskevat kysymykset oli koottu 23 alaryhmäksi, joista kuhunkin ryhmään pyydettiin kyllä/ei vastaus siihen, oliko vastaaja kokenut k.o. ryhmän oireita kuluneen vuoden aikana. Jos vastaus oli "kyllä", pyydettiin jatkokysymyksillä tarkennuksia.

Koulu Koodi#	Koulu tyyppi	Vastaajat n	Vastaukset kaikki, n	"kyllä", n	"kyllä", %
1	yläaste ja lukio	35	805	214	27
2	peruskoulu	26	598	82	14
3	lukio	23	529	72	14
4	lukio	17	391	60	15
5	ala-aste	20	460	96	21
6	peruskoulu	28	644	160	25
7	ala-aste	23	529	162	31
8	ala-aste	7	161	41	25
9	ala-aste	10	230	43	19
10	ala-aste	15	345	65	19
11	ala-aste	15	276	73	21
12	ala-aste	12	253	27	10
13	ala-aste	11	276	87	34
14	ala-aste	12	276	40	14
15	ala-aste	20	460	130	28
1 - 15	kaikki koulut	274	6302	1352	21

Kun tarkastellaan terveyshaittaoireiden esiintymistä eri oireryhmissä, havaitaan (kuva 1), että 12 oireryhmää oli suhteessa yliedustettuina yläkvartiilissa. Yläkvartiilissa vähintään kaksi kertaa alakvartiilia suurempi prosenttiosuus vastaajista ilmoitti seuraavia (p<0.001): silmien, nenän, kurkun, ihon, nivelten, ylähengitysteiden oireet, väsymys, sairauden tunne

ja yleiskunnon lasku. Sen sijaan antibioottikuurien lukumäärässä, psyyken, verenkiertoelinten, aistien ja ruoansulatuksen oireissa, allergisessa tai ei-allergisessa nuhassa, kipuilussa ja päänsäryssä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kouluryhmissä.



Kuva 1. Terveyshaittaoireiden laadulliset erot vähiten (4 koulua, 73 vastaajaa, viiva) ja eniten (4 koulua, 89 vastaajaa, katkoviiva) oireita raportoineissa kouluissa. Kuva näyttää kunkin oireryhmän kyllä-vastausten %-osuuden (prevalenssi) kaikista vastauksista. Tilastollinen merkitsevyys : * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

2.2 Kouluista kerättyjen sisätilänäytteiden toksisuusmittausten tulokset

Sisätilänäytteet kerättiin lukuvuoden 2010-11 lopussa kuten myös terveyshaittaoirekyselyn vastaukset. Näytteet kerättiin kunkin koulun (n=15) työtilasta (n=403). Toksisuusmittausten tulokset on koottu taulukkoon 3.

Taulukossa 3 on yhteenveto sisätilänäytteiden toksisuudesta vähiten (4 koulua, alakvartiili) ja eniten (4 koulua, yläkvartiili) terveyshaittaoireita kyselyvastauksissa ilmoittaneista kouluista (ks. Taulukko 2) sekä kaikkien 15 koulun mittaustuloksista. Tuloksista havaitaan, että vähiten oireilleissa kouluissa toksiseksi katsottavia näytteitä (kriteerit, ks. 1.2) oli n. 20 % kaikista tutkituista, ja että poikkeavan toksisiksi luokiteltavia yläpölyjä ei ollut (0 kpl / 57) lainkaan. Terveyshaittaoireita eniten raportoineista kouluista (yläkvartiili, Taulukko 2), löytyi toksisiksi luokiteltavia näytteitä lähes kaksi kertaa enemmän (37 % kaikista tutkituista näytteistä) kuin vähiten oireita ilmoittaneista kouluista (alakvartiili, Taulukko 2), myös poikkeavan toksisia yläpölyjä (6 kpl/79). Nämä erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.05$).

Taulukko 3. Sisätilänäytteiden toksisuusmittausten tulokset vähiten (alin kvartiili, koulut #2, #3, #12, #14) ja eniten (ylin kvartiili, koulut #1, #7, #13, #15) terveyshaittaoireita ilmoittaneista kouluista ja kaikista tutkituista kouluista. Tässä taulukossa on toksisuus-

tulokset samoista tiloista, joiden tilakoodilla oli saatu myös kriteerit täyttävä terveyshaittaoirekyselyvastaus (Taulukossa 2).

Sisätilanäyte	Koulut #2,#3,#12,#14		Koulut #1, #7, #13, #15		Kaikki n=15	koulut	
	n	%	n	%			n
Yläpölyt	tutkitut	57	100	79	100	244	100
	toksiset	12	21	29	37	86	35
	poikkeavan toksiset	0	0	6	8	22	9
Aerosolikasvustot	tutkitut	185	100	226	100	675	100
	toksiset	37	20	84	37	234	35
	poikkeavan toksiset	21	11	54	24	135	20

Toksisuusmittausten tulokset osoittivat, että toksiset pölykertymät (= pitkänä aikajaksona kertynyt) keskittyivät niihin kouluihin, joissa terveyshaittaoireita oli eniten. Myös näytteen-ottotilanteessa (yhden koulutunnin aikana toukokuussa 2011) näiden koulujen opetustilojen ilmassa leijui suurempi pitoisuus mikrobeja, jotka laboratoriossa kasvatettuna osoittautuivat toksiinien tuottajiksi – verrattuna vastaaviin näytteisiin vähemmän terveyshaitta-oireita raportoineista kouluista. Tilastollinen varmuus viittaa selvästi siihen, että sisätilanäytteiden toksisuus ja henkilöstön oireilu korreloivat.

3. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Tässä esiteltyt tutkimustulokset osoittavat, että tekemällä toksisuusmittauksia koulujen sisätilanäytteistä voitiin sokkotunnistaa 15 koulun joukosta ne, joissa terveyshaittaoireita on eniten ja jotka ovat siten kiireellisimpiä kohteita saneeraustoimenpiteille. Sauni ym /4/ katsauksessa selvitettiin 6538 lapsen ja opettajan / aikuisen terveyshaittaoireita ennen ja jälkeen intervention (rakennuksen saneeraus) eikä parantumista löytynyt. Kouluissa tehty saneeraus rakennukseen liittyvien terveyshaittojen poistamiseksi epäonnistuu usein. Kelvollisia rakennuksia, joiden purkupäätökselle ei ole ollut teknis-taloudellisia perusteita, on jouduttu purkamaan opettajien ja oppilaiden terveyshaittaoireilun takia /5/. Sienimyrkkyjen (mykotoksiinien) kemialliset määritykset rakennusmateriaaleista kromatograafisin ja massaspektrometrin menetelmin ovat epäonnistuneet tunnistamaan terveyshaittoihin liittyviä rakennusmateriaalinäytteitä /6/. Mykotoksiinitutkijat Fog Nielsen ja Frisvad /7/ ovat osoittaneet että jopa HPLC/MS/MS menetelmiä käytettäessä vääriä positiivisia tulee paljon, ilmeisesti siitä syystä, että monilla sienimetaboliiteilla on sama alkuainekokoonpano. Homeiden tunnistamisessa PCR menetelmät epäonnistuvat /8/, koska PCR alukkeet toimivat huonosti sienten tunnistuksessa ja koska alukkeiden suunnittelun mallina käytetyt sienet ovat useasti väärin nimettyjä /7/. Lisäksi oikeaankaan osuva lajimääritys ei osoita toksisuutta, sillä useiden lajien kannoista vain jotkut ja joissakin oloissa tuottavat toksiineja /7/.

Tässä ja useissa muissa /2/, /3/, /9/, /10/, tutkimuksissa sisätila- tai mikrobinäytteen toksisuuden suora mittaus on osoittautunut keinoksi tunnistaa nisäkässoluille myrkyllisten aineiden sekä niitä tuottavien mikrobien läsnäolo ja määrä. Nyt esiteltyssä tutkimuksessa osoitettiin suuressa mittakaavassa (tutkittiin yli 1000 näytettä ja luettiin yli 70 000 yksittäistä oirekysymysvastausta), että useiden samasta sisätilasta otettujen näytteiden laboratoriossa todettu toksisuus oli toimiva työkalu terveyshaittaoireita aiheuttavien tilojen tunnistamiseen. Tästä menetelmästä voi olla hyötyä arvioitaessa rakennusten saneeraus-toimien riittävyttä terveyshaittojen kannalta ja näin pienentää käyttäjien uudelleen sairastumisen vaaraa.

KIITOKSET

Tekijät kiittävät tuesta: Työsuojelurahastoa (hanke TSR111126, 2011), Suomen Akatemian tutkimuksen huippuyksikköä ”Photobiomics” (hanke 118637, 2008-2013), Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston Tilakeskusta, sekä Inspector Sec Oy:tä. Asiantuntija-avusta kiitämme Sari Hildeniä ja Jari Sivulaa, tutkimusasiamies Ilkka Tahvanaista, prof. Ville Valtosta, TkT Manne Hannulaa (Oulun Ammattikorkeakoulu), toim.joht. Risto Salinia (InspectorSec Oy), dos Hannu Ritaa (Helsingin Yliopisto).

LÄHDELUETTELO

1. Salin, J., Holma, T., Salin R., Salkinoja-Salonen M.S. 2011. 1. Koulujen henkilöstön sisäilmaan liittyvien terveyshaittaoireiden kyselytiedosto. Saatavilla [www. Inspectorsec.fi / indoorsecurity](http://www.inspectorsec.fi/indoorsecurity) 2011.
2. Salkinoja-Salonen, M., Andersson M.A., Rasimus S., Salin P., Mikkola R., Alenius H., Matikainen S., Leino M., Salin R. 2011. Bioaerosolien toksiinin tuotto ja hiukkaskoko työtilojen sisäilman puhtauden mittarina. Sisäilmastoseminaari 2011, SIY raportti 29, 103-108.
3. Andersson, M.A. Mikkola, R., Rasimus, S., Hoornstra, D., Salin, P., Rahkila, R., Heikkinen, M., Mattila, S., Peltola, J., Kalso, S, Salkinoja-Salonen, M., 2010. Boar spermatozoa as a biosensor for detecting toxic substances in indoor dust and aerosols. *Toxicology in Vitro*, 24, 2041-2052
4. Sauni, R., Uitti J., Jauhiainen, M., Kreiss, K., Sigsgaard T., Verbeek, JH. 2011. Remediating buildings damaged by dampness and mold for preventing or reducing respiratory tract symptoms, infections and asthma. *The Cochrane Library* (Wiley & Sons), 2011, issue 9, 54 sivua.
5. Asikainen, V. (toim.) 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus, Helsinki, osa 1, sivut. 10-13
6. Täubel, M., Sulyok M., Vishwanath V., Bloom, E., Turunen, M., Järvi K., Kauhanen E., Krška R., Hyvärinen, A., Larsson L., Nevalainen, A. 2011. Co-occurrence of toxic bacterial and fungal secondary metabolites in moisture damaged indoor environments. *Indoor Air* 21, 368-375.
7. Fog Nielsen K., Frisvad J.C. 2011. Mycotoxins on building materials. Teoksessa: O.C.G. Adan, R.A. Samson (toim), *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen The Netherlands, sivut 245-275.
8. Pitkäranta, M., Meklin, T., Hyvärinen A., Nevalainen A., Paulin L., Auvinen, P., Lignell U., Rintala, H. 2011. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation – a comparison of culture dependent and culture independent methods. *BMC Microbiology*, 11:235 (16 sivua)
9. Andersson, M.A., Mikkola, R., Raulio, M., Kredics, L., Maijala, P., Salkinoja-Salonen, M.S. 2009. Acrebol, a novel toxic peptaibol produced by an *Acremonium exuviarum* indoor isolate. *J. Applied Microbiology*, 106, 909-923
10. Bradley E., U. Honkalampi-Hämäläinen, A. Weber, M. A. Andersson, F. Bertaud, L. Castle, O. Dahlman, P. Hakulinen, D. Hoornstra, J-C. Lhuguenot, J. Mäki-Paakkanen, M. Salkinoja-Salonen, D. R. Speck, I. Severin, A. Stammati, L. Turco, A. von Wright and F. Zucco. 2008. The BIOSAFEPAPER project for in vitro toxicity assessments: Preparation, detailed chemical characterisation and Testing of extracts from paper and board samples. *Food and Chemical Toxicology*, 46,2498-2509