

28.2.2025

Di-isosyanaatit

SITOVA RAJA-ARVO

Yksilöinti ja ominaisuudet

Isosyanaatit ovat orgaanisia yhdisteitä, joilla on yksi tai useampi toiminnallinen isosyanaattiryhmä (N=C=O tai NCO). Di-isosyanaatit ovat yleisin ja käytetyin isosyanaattien ryhmä. Määrällisesti eniten käytettyjen di-isosyanaattien perusmuotojen (monomeerit) yksilöinti ja ominaisuudet ovat kuvattu seuraavissa taulukoissa.

2,4- ja 2,6-Tolueenidi-isosyanaatti	
CAS No:	584-84-9 (2,4-isomeeri) 91-08-7 (2,6-isomeeri) 26471-62-5 (isomeerien seos, 80:20)
EINECS No:	209-544-5 (2,4-isomeeri) 202-039-0 (2,6-isomeeri) 247-722-4 (isomeerien seos, 80:20)
Kaava:	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂
Synonyymit:	TDI; 2,4-TDI ja 2,6-TDI; 2,4- ja 2,6-di-isosyaanitolueeni; 4- ja 2-metyyli-m-fenyleenidi-isosyanaatti
Molekyylipaino:	174,2 g/mol
Sulamispiste:	21 °C (101,3 kPa)
Kiehumispiste:	129–133 °C (101,3 kPa)
Tiheys:	1,22 g/cm ³ (20 °C, 101,3 kPa)
Muuntokerroin:	1 ppm = 7,2 mg/m ³ (101,3 kPa 20 °C) 1 mg/m ³ = 0,14 ppm (101,3 kPa 20 °C)
Höyrynpaine:	2,7 Pa (25 °C)

<i>Olomuoto:</i>	väritön tai kellertävä karvaan hajuinen neste
------------------	---

Heksametyleenidi-isosyanaatti	
<i>CAS No:</i>	822-06-0
<i>EINECS No:</i>	212-485-8
<i>Kaava:</i>	C ₈ H ₁₂ N ₂ O ₂
<i>Synonyymit:</i>	HDI; 1,6-di-isosyaaniheksaani; heksaani, 1,6-di-isosyaani; heksametyleeni-1,6-di-isosyanaatti
<i>Molekyylipaino:</i>	168,2 g/mol
<i>Sulamispiste:</i>	-67 °C (101,3 kPa)
<i>Kiehumispiste:</i>	>200 °C (101,3 kPa) polymerisoituu 255 °C (101,3 kPa) hajoaa
<i>Tiheys:</i>	1,05 g/cm ³ (20 °C, 101,3 kPa)
<i>Muuntokerroin:</i>	1 ppm = 6,99 mg/m ³ (101,3 kPa 20 °C) 1 mg/m ³ = 0,143 ppm (101,3 kPa 20 °C)
<i>Höyrynpaine:</i>	0,7 Pa (20 °C)
<i>Olomuoto:</i>	kirkas, väritön ja pistävän hajuinen neste

Metyleenidifenyylidi-isosyanaatti	
<i>CAS No:</i>	101-68-8
<i>EINECS No:</i>	202-966-0
<i>Kaava:</i>	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂
<i>Synonyymit:</i>	MDI; 4,4'-metyleenidifenyylidi-isosyanaatti; 1,1'-metyleeni-bis-(4-isosyaanibentseeni)
<i>Molekyylipaino:</i>	250,3 g/mol
<i>Sulamispiste:</i>	39–43 °C (101,3 kPa)
<i>Kiehumispiste:</i>	>300 °C (101,3 kPa)
<i>Tiheys:</i>	1,18 g/cm ³ (20 °C, 101,3 kPa)
<i>Muuntokerroin:</i>	1 ppm = 10,2 mg/m ³ (101,3 kPa 20 °C) 1 mg/m ³ = 0,1 ppm (101,3 kPa 20 °C)
<i>Höyrynpaine:</i>	0,00049 Pa (20 °C)
<i>Olomuoto:</i>	vaalea tai kellertävä kiteinen, kiinteä

Isoforonidi-isosyanaatti	
CAS No:	4098-71-9
EINECS No:	223-861-6
Kaava:	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂
Synonyymit:	IPDI; 3-isosyaanimetyyli-3,5,5-trimetyyli-sykloheksyyliidi-isosyanaatti; 5-isosyaani-1-(isosyaanimetyyli)-1,3,3-trimetyylisykloheksaani
Molekyylipaino:	222,3 g/mol
Sulamispiste:	-60 °C (101,3 kPa)
Kiehumispiste:	304 °C (101,3 kPa)
Tiheys:	1,06 g/cm ³ (20 °C, 101,3 kPa)
Muuntokerroin:	1 ppm = 9,24 mg/m ³ (101,3 kPa 20 °C) 1 mg/m ³ = 0,106 ppm (101,3 kPa 20 °C)
Höyrynpaine:	0,000635 hPa (25 °C)
Olomuoto:	väritön tai kellertävä pistävän hajuinen neste

Yksittäisen isosyanaatin ilmapitoisuus voidaan muuntaa NCO-ilmapitoisuudeksi seuraavan kaavan avulla:

Yksikkö	Kaava
µg [NCO] /m ³	µg [isosyanaatti] /m ³ x [NCO-ryhmien molekyylipaino / isosyanaatin molekyylipaino]
µg [isosyanaatti] /m ³	ppb (v/v) x [isosyanaatin molekyylipaino] / 24.45*

* kaasun tai höyryn moolitilavuus normaalipaineessa ja 25 °C:n lämpötilassa.

Luokitus ja merkinnät

CLP-asetuksen (EY No 1272/2008) mukaiset harmonisoidut vaaraluokka- ja kategoriakoodit yleisimmille di-isosyanaateille:

	TDI	HDI	MDI	IPDI
Ärsyttävyys	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315) STOT SE 3 (H335)	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315) STOT SE 3 (H335)	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315) STOT SE 3 (H335)	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315) STOT SE 3 (H335)
Akuutti- myrkyllisyys	Acute Tox. 2 (H330)	Acute Tox. 3 (H331)	Acute Tox. 4 (H332)	Acute Tox. 3 (H331)
Kohde-elin- myrkyllisyys	-	-	STOT RE 2 (H373)	-
Herkistävyys	Resp.Sens.1 (H334) Skin Sens.1 (H317)	Resp.Sens.1 (H334) Skin Sens.1 (H317)	Resp.Sens.1 (H334) Skin Sens.1 (H317)	Resp.Sens.1 (H334) Skin Sens.1 (H317)
Syöpävaarallisuus	Carc. 2 (H351)	-	Carc. 2 (H351)	-
Vesieliömyrkyllisyys	Aquatic Chronic 3 (H412)	-	-	Aquatic Chronic 2 (H411)

[Valmistajien ja maahantuojaan ehdottamat luokitukset löytyvät tästä linkistä.](#)

Esiintyminen, käyttö ja rajoitukset

Di-isosyanaatteja käytetään polyuretaanimuovimateriaalien valmistuksessa nukleofiilisten polyolien tai polyamiinien kanssa, joiden koostumusta vaihtelemalla saadaan polymeereihin erilaisia ominaisuuksia, sekä maalien, liimojen ja lakkojen kovettajina. Määrällisesti eniten käytetyt di-isosyanaatit ovat metyleenidifenyleenidi-isosyanaatti (MDI), tolueenidi-isosyanaatti (TDI) ja heksametyleenidi-isosyanaatti (HDI), joiden käyttö kattaa >95 % di-isosyanaattien markkinavolyymistä.

MDI ja TDI ovat aromaattisia di-isosyanaatteja, joista valmistettaessa pehmeitä, elastisia tai kovia polyuretaanituotteita. HDI ja IPDI ovat vähemmän reaktiivisia alifaattisia di-isosyanaatteja. HDI- ja IPDI-materiaaleja käytetään pääasiassa kovetteina ja side-

aineina erilaisille pinnoitusmateriaaleille (ECHA 2020; Rother ja Schlüter 2021). Näiden lisäksi teollisuudessa käytetään di-isosyanaattien monomeereistä muodostettuja prepolymeerejä ja polyisosyanaatteja, kuten esimerkiksi MDI-trimeeriä, HDI-biureettia ja HDI-trimeeri-isosyanuraattia.

Tyypillisiä di-isosyanaattipohjaisia tuotteita ovat:

- pehmeät, joustavat ja jäykät polyuretaanit (PU)
- PU-vaahdot (jäykät ja joustavat vaahtomuovijärjestelmät, esim. patjat)
- PU-kuidut
- kokoonpanovaahdot (esim. eristyspaneelit)
- pinnoitemateriaalit (maalit, lakat ja muut pinnoitteet)
- liimat ja tiivisteet
- elastomeerit
- esipolymeerit kemiallisessa synteesissä
- tekniset muovit

Työterveyslaitoksen vuosina 2008–2021 tekemissä työhygieenisissä selvityksissä työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitatuista di-isosyanaateista TDI:n keskipitoisuus NCO:na mitattuna oli 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 95. persentiili 8,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maksimi 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=118). MDI:n keskipitoisuus NCO:na mitattuna oli 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani alle määritysrajan, 95. persentiili 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maksimi 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=390). HDI:n keskipitoisuus NCO:na mitattuna oli 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 95. persentiili 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maksimi 153,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=138). IPDI:n keskipitoisuus NCO:na mitattuna oli 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 95. persentiili 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maksimi 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=52) (Huuskonen ym. 2023; TTL 2024).

REACH-asetuksessa (1907/2006) annetun rajoituksen mukaan di-isosyanaatteja ei saa saattaa markkinoille tai käyttää yli 0,1 painoprosentin pitoisuuksina, ellei teollisuus- tai ammattikäyttäjä ole suorittanut riittävää ammatillista koulutusta di-isosyanaattien turvallisesta käytöstä.

Aineenvaihdunta

Di-isosyanaattien keskeiset altistumisreitit työssä ovat iho ja hengitystiet. Vapaaehtoisilla henkilöillä ja koe-eläimillä tehdyissä tutkimuksissa di-isosyanaattien imeytyminen elimistöön hengitystie- ja ihoaltistumisessa on osoitettu määrittämällä virtsasta di-isosyanaattien aineenvaihduntatuotteita.

Elimistöön päätyneet di-isosyanaatit sitoutuvat ensisijaisesti plasman albumiiniin, mutta sitoutumista myös veren muihin makromolekyyleihin ja hemoglobiiniin on havaittu (DECOS 2018; ECHA 2020). Di-isosyanaattien keskeiset aineenvaihduntatuotteet ovat konjugoidut diamiinit (esim. TDI:llä tolueenidiamiini ja HDI:llä heksametyleenidiamiini) ja niiden asetyloidut tuotteet. Aineenvaihduntatuotteet erittyvät pääasiassa virtsan ja vähemmän ulosteiden kautta (Scholten ym. 2020).

Aineenvaihduntatuotteiden poistumisen virtsan kautta on raportoitu olevan kaksivaiheista. Ensimmäisessä vaiheessa puoliintumisajat ovat olleet tunteja ja toisessa vaiheessa useita päiviä. Isosyanaattikonjugoitu albumiini ja punasolut säilyvät verenkierrossa pidempään (DECOS 2018; ECHA 2019).

Terveysvaikutukset

Ihmisiä koskevat tiedot

Akuutit vaikutukset

Isosyanaatit ovat korkeina pitoisuuksina ärsyttäviä iholle, silmille, hengitysteille ja muille limakalvoille (ECHA 2019). Herkistävät vaikutukset ilmenevät kuitenkin selvästi ärsytysoireita aiheuttavia tasoja matalammilla pitoisuuksilla.

Hengitystieherkistymistä di-isosyanaateille on todettu yksittäisten voimakkaiden altistumisten seurauksena. Herkistyneillä on myöhemmin havaittu astmaan verrattavia oireita, kuten yskää, hengityksen vaikeutta ja vinkunaa sekä puristavaa tunnetta rinnassa jo matalilla isosyanaattien pitoisuuksilla (ECHA 2020).

Toistuvan altistumisen vaikutukset

Herkistävyys

Hengitysteiden herkistyminen, vakavimmillaan di-isosyanaattiaстма, on di-isosyanaattien keskeisin terveysvaikutus. Työntekijöillä on raportoitu myös di-isosyanaattialtistumiseen liittyvää ihoherkistymistä. Ihoaltistuminen ja -herkistyminen voi aiheuttaa myös hengitysteiden herkistymistä. Isosyanaattien toiminnallista NCO-ryhmää pidetään herkistävien vaikutusten aiheuttajana (ECHA 2020).

Di-isosyanaattien aiheuttamaa herkistymistä on tutkittu laajasti työntekijöillä eri teollisuudenaloilla. Di-isosyanaattialtistuminen voi johtaa immunoglobuliini E (IgE) -välitteeseen astmaan latenssijakson jälkeen. Lyhytaikainen korkea altistus voi aiheuttaa ärsytysastman latenssijaksolla tai ilman sitä. Di-isosyanaattialtistuminen voi johtaa myös astman muotoihin, joilla on tuntematon patologinen mekanismi (ECHA 2020).

Suomessa diagnosoitiin 1980-luvulla isosyanaattien aiheuttamia ammattiastmoja jopa 20–30 vuodessa. 2000-luvun alkupuolella tapausten määrä oli laskenut noin 10 tapaukseen vuodessa. Vuosina 2013–2022 Suomessa todettiin vuosittain <3–6 isosyanaattien aiheuttamaa ammattiastmaa sekä noin 3–4 isosyanaattien aiheuttamaa allergista kosketusihottumaa. Useimmat isosyanaattiatmatapaukset tarkastelujakson aikana todettiin rakennustyöntekijöillä sekä ruiskumaalajilla ja -lakkaajilla. Astmapauksia todettiin myös prosessityöntekijöillä, konepaja- ja valimotyöntekijöillä sekä moottoriajoneuvojen asentajilla ja korjaajilla. Lisäksi todettiin yksittäisiä ammattinuhia ja kosketusurtikarioita (TTL 2025).

Genotoksisuus ja karsinogeenisuus

Di-isosyanaateille altistuneiden hengitystieoireisten työntekijöiden lymfosyyttejä on tutkittu mahdollisten DNA-juosteen katkosten osalta (komeettamenetelmä). Altistuskammiotutkimuksessa TDI:llä pitoisuudessa 0,036–0,22 mg/m³ ei havaittu tilastollista merkittävyyttä DNA-vaurioissa vertailtaessa ennen ja jälkeen altistuksen otettuja näytteitä (Marczynski ym. 2005; ECHA 2019).

Epidemiologisissa tutkimuksissa ei ole havaittu kohonnutta syöpäriskiä TDI:lle eikä MDI:lle altistuneilla työntekijöillä (IARC 1999; ECHA 2019).

Eläinkokeiden havainnot

Akuutit vaikutukset

Eläinkokeissa voimakas kerta-altistuminen di-isosyanaateille on aiheuttanut keuhkojen tulehdusta ja verenvuotoa, keuhkolaajentumaa (emfyseema) ja koe-eläinten kuolemina. Matalammilla annostasoilla oireina on kuvattu aineiden ärsyttävyyteen liittyvää lisääntyntä syljeneritystä, kyynelvuotoa ja vaikeutunutta hengitystä. Di-isosyanaattien LC₅₀-arvot rotilla ovat: TDI 99-470 mg/m³, MDI 415-490 mg/m³, HDI 124-462 mg/m³, ja IPDI 31-40 mg/m³ (DECOS 2018; ECHA 2019).

Di-isosyanaatit eivät aiheuttaneet koe-eläimissä kuolleisuutta ihon kautta annosteltaessa (LD₅₀-arvot: TDI >9400 mg/kg, HDI >7000 mg/kg, IPDI >7000 mg/kg). Di-isosyanaatit olivat ihoa ärsyttäviä kaneilla tehdyissä ihoaltistuskokeissa. Kaneille aiheutui myös vakavaa silmä-ärsytystä (DECOS 2018; ECHA 2019).

Toistuvan altistumisen vaikutukset

Toistuvassa di-isosyanaattien hengitystiealtistuksessa koe-eläimillä on useissa kokeissa todettu paikallisia vaikutuksia ylähengitysteihin, kuten nenäepiteelin hyperpla-

siaa, kroonisia tulehdusvaikutuksia ja hajuepiteelin rappeutumista. Palautuvia nenäepiteelivaikutuksia rotilla havaittiin jo matalilla HDI:n annostasoilla 0,004–0,01 NCO mg/m³ (DECOS 2018; ECHA 2019). Korkeimmilla annostasoilla vauriot olivat vakavampia ja hitaasti palautuvia.

Herkistävyys

Di-isosyanaatit ovat aiheuttaneet hengitysteiden herkistymistä koe-eläimillä tehdyissä tutkimuksissa. Lisäksi di-isosyanaattien ihoherkistävyys on osoitettu useissa eläinkokeissa marsuilla ja hiirillä. Ihon kautta di-isosyanaateille altistumisen ja herkistymisen on osoitettu voivan aiheuttaa myös hengitysteiden herkistymistä (DECOS 2018; ECHA 2019, 2020).

Genotoksisuus

TDI:n ja MDI:n genotoksisuudesta on sekä positiivista että negatiivista näyttöä eläin-, bakteri- ja solukokeista. Mutageeniset vaikutukset on liitetty TDI:n ja MDI:n aineenvaihduntatuotteisiin (TDA ja MDA), koska vaikutukset ilmenivät vasta metabolisen aktivaation jälkeen. Lisäksi TDI ja MDI aiheuttivat joissain kokeissa kromosomiberraatioita, sisarkromatidivaihdoksia sekä DNA- ja hemoglobiiniaddukteja, mutta tutkimusten tuloksissa on epävarmuutta. HDI ja IPDI eivät aiheuttaneet vastaavia mutageenisia vaikutuksia bakterimutaatiotestissä, nisäkässoluissa tai eläinkokeissa (DECOS 2018; ECHA 2019).

Karsinogeenisuus

Di-isosyanaattien hengitystiealtistumiskokeissa rotilla ja hiirillä ei ole todettu lisääntynyttä syöpäriskiä. Suun kautta annosteltu TDI kuitenkin aiheutti useita erilaisia syöpätyyppejä sekä rotilla että hiirillä. Syöpävaarallisuus on liitetty TDI:n aineenvaihdunnassa muodostuvaan tolueenidiamiiniin (TDA). Myös MDI:n diamiiniaineenvaihduntatuote MDA on todettu syöpävaaralliseksi. Näiden eläinkokeissa suun kautta tapahtuneessa altistumisessa todettujen syöpien relevanssi työperäisen altistumisen kannalta on epäselvä.

Lisääntymistoksisuus

Di-isosyanaattien lisääntymis- ja kehitystoksisuutta on selvitetty useissa tutkimuksissa rotilla. Näiden tutkimusten perusteella di-isosyanaatit eivät aiheuta lisääntymis- tai kehitystoksisia vaikutuksia (ECHA 2020).

Di-isosyanaattien riskinarviointeja

Kansainvälisen syöväntutkimuslaitoksen (IARC 1999) mukaan TDI:n syöpävaarasta on näyttöä koe-eläimillä, mutta näyttö syöpävaarasta ihmiselle on puutteellinen. MDI:n osalta näyttö syöpävaarasta koe-eläimillä on rajallista ja ihmisellä puutteellista.

Euroopan kemikaaliviraston (ECHA 2020) riskinarviointikomitea (RAC) esitti arvioissaan di-isosyanaattien työhygieenisistä raja-arvoista altistumis-vastesuhteet di-isosyanaattien hengitystieherkistävyydestä työelämän aikana. Arvio perustui HDI:lle altistuneilla ruiskumaalareilla tehtyyn tutkimukseen (Pronk ym. 2009) ja kohorttitutkimukseen TDI:lle altistuneista tehdastyöntekijöistä (Collins ym. 2017), joissa tutkittiin kyseisten di-isosyanaattien aiheuttamaa hengitystieherkistymistä ja astmaa:

Ylimääräinen hengitystieherkistymisen riski työelämän aikana (%)	Keskimääräinen altistumistaso (8 tunnin aikapainotettu keskipitoisuus) ($\mu\text{g NCO}/\text{m}^3$)
0,1	<0,025
0,5	0,027–0,040
1	0,055–0,070
2	0,12–0,19
3	0,22–0,33
4	0,40–0,48
5	>0,67

RAC esitti, että di-isosyanaattien työhygieeninen raja-arvo asetettaisiin NCO-ryhmälle, koska NCO-ryhmä on isosyanaattien herkistävyyden taustalla eikä yksittäisten di-isosyanaattien herkistyskyvystä ole tietoa saatavilla. Di-isosyanaattien syöpävaarallisuuden suhteen kohorttien jatkotutkimukset IARC:n arvion jälkeen eivät ole tuoneet uutta tietoa di-isosyanaattien syöpävaarallisuudesta ihmisessä, joten TDI:n ja MDI:n eläinkokeisiin perustuva harmonisoitu CLP-luokitus (Carc. 2 – epäillään aiheuttavan syöpää) on edelleen perusteltu (ECHA 2019).

Sitova raja-arvo

Altistuminen di-isosyanaateille lisää epidemiologisten tutkimusten perusteella työntekijöiden hengitystieherkistymisen ja astmaan sairastumisen riskiä. Työperäiseen di-isosyanaattialtistumiseen liittyvän herkistymis- ja astmariskin vähentämiseksi di-

isosyanaateille on asetettu sitova raja-arvo $0,006 \text{ mg/m}^3$ (8 tunnin vertailuaika) ja $0,012 \text{ mg/m}^3$ (15 minuutin vertailuaika) NCO-pitoisuutena mitattuna, joita sovelletaan 1.1.2029 alkaen (Vna 126/2026). Siirtymäajalla 1.4.2026–31.12.2028 sovelletaan sitovia raja-arvoja $0,01 \text{ mg/m}^3$ (8 tunnin vertailuaika) ja $0,02 \text{ mg/m}^3$ (15 minuutin vertailuaika). Raja-arvot perustuvat Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2024/869/EU.

Di-isosyanaatit aiheuttavat ihon ja hengitysteiden herkistymistä, minkä vuoksi niille on annettu huomautus "ihon ja hengitysteiden herkistyminen". Lisäksi on annettu huomautus "iho", koska di-isosyanaatit voivat imeytyä ihon kautta ja ihoaltistumisella voi olla vaikutusta myös hengitysteiden herkistymiseen.

Altistuminen di-isosyanaateille on minimoitava niin vähäiseksi kuin mahdollista, koska altistumistasoa, jonka alittuessa hengitystieherkistymisen riskiä ei olisi, ei pystytä tarkasti määrittämään.

Eri asettajien ilman epäpuhtauksien vertailu

Eri maissa voimassa olevia työilman pitoisuuden raja-arvoja di-isosyanaateille NCO-ryhmänä mitattuna. Monissa maissa on asetettu erillisiä raja-arvoja ainekohtaisesti.

Asettaja	Vuosi*	Vertailuaika				Huomautus
		8 h		15 min		
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Suomi (HTP-arvo)	1987				0,035	NCO
Ruotsi	2005	0,002		0,005		Lyhytaikainen arvo 5 min altistumiselle
Norja		0,005				
Iso-Britannia			0,02		0,07	NCO
Irlanti			0,02		0,07	NCO
EU (BOELV)**	2026		0,010		0,020	NCO, Iho Ihon ja hengitysteiden herkistyminen
EU (BOELV)**	2029		0,006		0,012	NCO, Iho Ihon ja hengitysteiden herkistyminen
Suomi (sitova raja-arvo)	2026		0,010		0,020	NCO, Iho Ihon ja hengitystei- den herkistyminen
Suomi (sitova raja-arvo)	2029		0,006		0,012	NCO, Iho Ihon ja hengitystei- den herkistyminen

(EU 2024; IFA 2024)

* Raja-arvon asettamisvuosi, jos tiedossa. Raja-arvot tarkistettu GESTIS-tietokannasta (IFA 2024).

** EU:n sitova raja-arvo työperäiselle altistumiselle (Binding Occupational Exposure Limit Value)

Viitteet

- DECOS (The Dutch Expert Committee on Occupational Safety) (2018). Health council of the Netherlands. Di- and triisocyanates, Health-based recommendation on occupational exposure limits. No. 2018/20, The Hague, Netherlands
- ECHA (2019). Scientific report for evaluation of limit values for diisocyanates at the workplace.
- ECHA, Committee for Risk Assessment (RAC) (2020). Opinion on scientific evaluation of occupational exposure limits for Diisocyanates. ECHA/RAC/A77-O-0000006826-64-01/F.
- EU (2024). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2004/37/EY ja neuvoston direktiivin 98/24/EY muuttamisesta siltä osin kuin on kyse lyijyn ja sen epäorgaanisten yhdisteiden sekä di-isosyanaattien raja-arvoista, 2024/869.
- Huuskonen P, Porras SP, Scholten B, Portengen L, Uuksulainen S, Ylinen K, Santonen T. (2023). Occupational Exposure and Health Impact Assessment of Diisocyanates in Finland. *Toxics*. 11(3):229.
- IFA (2024). GESTIS Substance database. TDI, MDI, HDI, IPDI. Saatavissa: www.dguv.de/ifa/gestis-database (Viitattu 26.11.2024)
- IFA (2024). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherungen: [GESTIS-International limit values for chemical agents](#). Occupational exposure limits (OELs).
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1999). Re-evaluation of some organic chemicals. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Vol. 71.
- IOM (The Institute of Occupational Medicine) (2014). Diisocyanates Criteria Document to inform SCOEL. Carried out for the JRC/IHCP/SCOEL-Support Project. IOM contract no: 611-00558 – report 4.
- Marczynski B, Merget R, Mensing T, Rabstein S, Kappler M, Bracht A, et al. (2005). DNA strand breaks in the lymphocytes of workers exposed to diisocyanates: indications of individual differences in susceptibility after low-dose and short-term exposure. *Arch Toxicol*. 79(6): 355-62.
- Rother D, Schlüter U. (2021). Occupational Exposure to Diisocyanates in the European Union. *Ann Work Expo Health*. 65(8):893-907.
- Scholten B, Kenny L, Duca RC, Pronk A, Santonen T, Galea KS, Loh M, Huuonen K, Sleenwenhoek A, Creta M, Godderis L, Jones K. (2020). Biomonitoring for Occupational Exposure to Diisocyanates: A Systematic Review. *Ann Work Expo Health*. 64(6):569-585.
- TTL (2024). Työhygieenisten altistumismittausten rekisteri, Työterveyslaitos, Helsinki.
- TTL (2025). Työperäisten sairauksien rekisteri, Työterveyslaitos, Helsinki.