

Kunnskapsoversikt over arbeidsmiljørelaterte forhold knyttet til yrkeseksponering for isocyansyre (ICA)

Syvert Thorud, Dag Ellingsen, Pål Molander



**Statens
arbeidsmiljøinstitutt**

Statens arbeidsmiljøinstitutt

Oslo, 05.10.2007

Disposisjon

- Bakgrunn/innledning
- Metoder
- Fysikalsk-kjemiske data
- Kjemi og reaktivitet
- Helserisiko/toksikologi
- Prøvetakings- og analysemetoder
- Måledata
- Kunnskapsbehov
- Litteratur

Bakgrunn/innledning

I mai 2007 mottok Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) en felles henvendelse fra Norsk Industri og Landsorganisasjonen i Norge (LO) hvor STAMI anmodes om å oppsummere kunnskapsstatus for isocyanasyre (ICA). STAMI så positivt på henvendelsen som passer godt inn i STAMIs faglige profil. STAMI har egenfinansiert litteraturgjennomgangen og sammenfatningen for å utvide egenkompetansen på området.

ICA som sådan brukes ikke i norsk industri. ICA kan imidlertid være nedbrytningsprodukt og forurensning ved produksjon av urea. I 1999 ble det for første gang rapportert at ICA ble dannet ved termisk dekomponering av polyuretan- og urea-formaldehyd-resiner (Skarping et al. 1999). Dette førte til økt fokus på yrkeseksponering for ICA i forbindelse med en rekke typer av varmt arbeid (sveising, skjærebrenning etc.), bl.a. i bilopprettingsverksteder, mekaniske verksteder, offshoreindustri, støperier etc. ICA regnes i yrkeshygienisk sammenheng som et isocyanat, selv om det kjemisk sett ikke er et isocyanat. Helseskader etter eksponering for isocyanater er godt dokumentert i litteraturen. Diisocyanater er som kjent monomere eller prepolymere som i reaksjon med polyoler fungerer som byggesteiner under fremstilling av polyuretaner. For en kort innføring til isocyanater vises det til et nylig publisert bokkapitel (Molander 2006).

Metoder

I 2002 ble det utarbeidet et svensk kriteriedokumentet for ICA (Montelius 2002). Dette arbeidet har i noen grad tatt utgangspunkt i dette kriteriedokumentet. Det er videre foretatt omfattende litteratursøk i følgende databaser for å supplere/oppgradere litteraturen:

- PubMed
- ISI Web of Science

Følgende søkeprofiler ble benyttet: *isocyanic acid*, *isocyanic acid and health effects*, *isocyanic acid and toxicology*, *isocyanic acid and exposure*, *isocyanic acid and analysis*, *isocyanic acid and sampling*, samt *isocyanic acid and air monitoring*.

I tillegg ble det for perioden 2000 – 2007 søkt i Toxline, RTECS, HSDB, ChemIDplus, Cancerlit, Nioshtic, Chempendium og Embase. For å fange opp og vurdere evt. litteratur som ikke er vitenskapelig publisert og kvalitetssikret er det også foretatt søk via Google.

Fysikalsk-kjemiske data

Tabell 1 viser en oversikt over de fysikalsk-kjemiske dataene til ICA.

Tabell 1 Fysikalsk-kjemiske data for isocyansyre

Fysikalsk-kjemiske data	
Kjemisk navn:	Isocyansyre
Synonymer:	Hydrogenisocyanat
CAS nr.:	75-13-8
Strukturformel:	H-N=C=O
Molekylvekt:	43,02 g/mol
Kokepunkt:	23 °C
Smeltepunkt:	- 80 °C
Tetthet v/ 20 °C:	1,14 g/cm ³
Damptrykk v/ -19 °C:	13,3 kPa
Omregningsfaktorer v/ 20 °C:	1 ppm = 1,79 mg/m ³ , 1 mg/m ³ = 0,56 ppm

Fremstilling av isocyansyre

ICA kan industrielt fremstilles på følgende måter:

- Depolymerisering av cyanursyre
- Surgjøring og oppvarming av alkali isocyanater
- Oppvarming av urea
- Oppvarming av nitrourea
- Katalytisk reaksjon mellom nitrogenoksid, karbonmonoksid og hydrogen

Kjemi/reaktivitet/stabilitet

Egenskapene til ICA er oppsummert i en review-artikkel (Belson & Strachan 1982). ICA er ikke stabil verken i gassfase eller i konsentrert løsning i organiske løsemidler ved ambient temperatur. I fortynnet løsning i løsemidler som karbontetraklorid og etere er ICA stabil i noe tid ved romtemperatur, men skal ICA lagres i lengre perioder må den oppbevares ved $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere.

I vandig løsning vil ICA kunne gjennomgå både dissosiasjon til ioner og hydrolyse under dannelse av ammoniakk og karbondioksid. Under gitte betingelser er også polymerisering til cyanursyre og cyamelid av betydning. ICA i væskeform polymeriserer under dannelse av en blanding av cyanursyre og cyamelid. Andelen cyanursyre øker med temperaturen.

ICA i gassform polymeriserer ved høye temperaturer og gir cyanursyre som eneste produkt, men denne reaksjonen er reversibel. Ved lavere temperatur dannes også noe cyamelid ved polymerisering i gassfase. Det har ikke vært mulig å finne data som sier noe om levetiden av ICA i dampfase. ICA i dampfase er det som vurderes som relevant i forhold til yrkeseksponering og termisk arbeid.

ICA reagerer med en rekke polare organiske forbindelser (bl. a. hydrogenhalogenider, alkoholer, aminer, karboksylsyrer) ved addisjon over nitrogen-karbon-bindingen. Den elektronegative delen av molekylet blir bundet til karbon-atomet i ICA og den positive delen til nitrogenet. Reaksjonen med aminer under dannelse av urea-derivater brukes således i forbindelse med yrkeshygienisk prøvetaking ved oppsamling av ICA fra luft.

Toksikologi

I det svenske kriteriedokumentet (Montelius 2002) er det angitt at det ikke er funnet toksikologiske data for ICA. Nye litteratursøk i forbindelse med denne litteratutgjennomgangen bekrefter mangelen på data. Ett unntak er imidlertid en svensk

forskningsgruppe (Koch et al. 2004) som har studert akutte effekter av ICA-eksponering på respirasjonssystemet hos rotter og mus. Dette arbeidet ble presentert på 10th International Congress of Toxicology i Tampere, Finland i 2004 (abstract). Hos mus ble det kun på høyeste konsentrasjonsnivå (36 ppm), etter 30 min. eksponering, observert effekt på respirasjonssystemet i form av redusert åndedrettskapasitet ("minute volume"), mens det hos rotter ikke ble observert effekter ved konsentrasjoner opp til 45 ppm. Vi har ikke funnet at at dette arbeidet er fulgt opp med internasjonal vitenskapelig publisering, og vi har derfor ingen inngående kjennskap til metodevalg eller lignende. Vi har ikke lyktes å komme i dialog med den aktuelle forskningsgruppen i forbindelse med denne litteraturgjennomgangen for eventuelt å kunne innhente supplerende informasjon.

Prøvetakings- og analysemetoder

Direkte analyse av ICA i luft har blitt gjennomført ved hjelp av gasskromatografi (GC) med termionisk nitrogendetektor (Andrawes 1984). Denne metoden har begrenset følsomhet med deteksjonsgrense i området 0,5 - 1 ppm, og metoden er kun anvendbar i et eksperimentelt oppsett på laboratoriet.

De mest benyttede metodene for bestemmelse av isocyanater i luft er basert på derivatisering av isocyanat-gruppen i oppsamlingstrinnet for å stabilisere de reaktive isocyanat-gruppene. Som derivatiseringsreagens er ulike sekundære aminer mest benyttet, og det dannede urea-derivatet analyseres som oftest ved hjelp av væskekromatografi (LC) med UV-, fluorescens-, elektrokjemisk detektor eller med massespektrometrisk deteksjon (LC-MS). En god og omfattende oversikt over disse metodene er nylig publisert i en review-artikkel (Henneken et al. 2007).

En rekke amin-derivatiseringsreagenser har blitt benyttet for prøvetaking av isocyanater i luft, bl. a. N-((4-Nitrofenyl)metyl)propylamin, 9-(N-Metylaminometyl)antracen, 1-(2-Metoksyfenyl)piperazin, 1-(2-pyridyl)piperazin, 1-(9-Antracenylnmetyl)piperazin, 3-(2-aminoetyl)indol, , Di-n-butylamin, 9-Antracenylnmetyl-1-piperazinkarboksylat og 4-Nitro-7-piperazino-benzo-2-oksa-1,3-diazol. Kun et fåtall av disse reagensene er utprøvet og validert i forhold til prøvetaking av ICA.

Tidlig på 1980-tallet, før man ble klar over at ICA kunne være et termisk dekomponeringsprodukt av polyuretan- og urea-formaldehyd-resiner, ble det utarbeidet en prøvetakings- og analysemetode for ICA basert på oppsamling i impinger med en løsning av N-4-nitrobenzyl-N-n-propylamin (nitro-reagens) i toluen etterfulgt av analyse av det dannede urea-derivat ved hjelp av LC med UV-detektor (McClure & Stehman 1984). Denne metoden ble benyttet for bestemmelse av luftkonsentrasjonen av ICA som referansem metode ved forsøk med direkte GC-bestemmelse av ICA i luft (Andrawes 1984).

Senere har Skarping et al. utviklet en metode basert på oppsamling i impinger med en løsning av dibutylamin (DBA) i toluen etterfulgt av filterkassett med glassfiberfilter og analyse ved hjelp av væskechromatografi med elektropray-massespektrometrisk deteksjon (Karlsson et al. 2001, Karlsson et al. 2005). Denne metoden har blitt mye benyttet i forbindelse med de eksponeringsmålinger som er utført i Sverige de senere år. I en felles viewpoint-artikkel med forfattere fra de nordiske arbeidsmiljøinstituttene ble det i 2002 foreslått felles retningslinjer for yrkeshygieniske målinger av isocyanater inkludert ICA, hvor det ble påpekt at impingerprøvetaking har klare praktiske og teoretiske begrensninger i forhold til prøvetaking av blandingsatmosfærer (aerosoler/gasser/damper), inkludert benyttelse av brennbare impingerløsninger som toluen som ikke er å anbefale i forbindelse med varmt arbeid (Molander et al. 2002).

Filtre impregnert med 1-(2-metoksyfenyl)piperazin (2-MP) har derfor også blitt benyttet til oppsamling av ICA etterfulgt av analyse ved hjelp av LC-MS eller GC-MS (Henriks-Eckerman et al. 2000, Tinnenberg 2002, Sennbro et al. 2004, Boutin et al. 2005). Grunnet ICAs høye grad av flyktighet er det vist at vanlige filtermetoder har for lav oppsamlingseffektivitet. For oppsamling av ICA og andre flyktige isocyanater benyttes derfor filterkassett med 2 impregnerte filtre (dobbelthfilter-metoden). Det er vist god overensstemmelse mellom denne metoden og både DBA-impinger-metoden for ICA (Tinnenberg 2002, Sennbro et al. 2004) og 2-MP-impinger-metoden (Boutin et al. 2005). Dobbelthfiltermetoden er i tråd med den nordiske ekspertgruppens anbefalinger for yrkeshygieniske isocyanatmålinger (Molander et al. 2002).

Det er også utviklet en metode for prøvetaking av ICA fra luft basert på diffusjonsprøvetaking. Polystyren-divinylbenzen- filtre impregnert med 4-nitro-7-

piperazinobenzo-2-oksa-1,3-diazol (NBDPZ) ble benyttet til oppsamling, og prøvene ble analysert med LC-MS-MS (Henneken et al. 2006), men denne metoden ble ikke tilstrekkelig validert for ICA og er heller ikke så langt benyttet i felt.

Eksponeringsdata

Etter at ICA ble påvist som dekomponeringsprodukt i forbindelse med termisk nedbrytning av polyuretan- og urea-formaldehyd-resiner har det, først og fremst i Sverige, blitt gjennomført et antall målinger av ICA i forbindelse med varmt arbeid i ulike bransjer. Dette er i beskjeden grad sammenfattet i vitenskapelige publikasjoner, men foreligger ofte bare på rapport-format. Følgelig vil slike rapporter ofte ikke foreligge som søkbare dokumenter i litteraturløstene. Det forventes å finne måleresultater i større omfang i bedriftsinterne rapporter. Det foreligger offentlig tilgjengelige data fra følgende bransjer/industrier (arbeidsoperasjoner):

- støperier (ulike bindemidler)
- bilreparasjonsverksteder (sveising, skjæring/kapping, sliping etc.)
- flammelaminering

Resultatene er oppsummert i tabell 2 nedenfor. De aller fleste målingene er korttidsprøver med varighet på 1 – 15 min. Disse undersøkelsene viser at ICA i de fleste sammenhenger er den dominerende isocyanat-forbindelsen ved termisk nedbrytning av ulike nitrogen-holdige polymere.

Støperier er den industrien hvor det ser ut til å foreligge mest måledata. Fra denne industrien har Westberg sammenfattet i en publikasjon nærmere 300 målinger som viser verdier i området $<4 - 280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med middelvei på $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Westberg et al. 2005). En rapport fra Svenska Gjuteriföreningen sammenfatter i alt 150 målinger fordelt på ulike typer støperier og ulike bindemidler (Lilja et al. 2000). Dette arbeidet er ikke vitenskapelig publisert. ICA-konsentrasjonen er i området $<1 - 190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kokillestøperier som benytter hot box-metoden med urea-formaldehyd-resin som bindemiddel gir de høyeste verdiene, mens cold cox-metoden med isocyanat-baserte bindemidler gir lavere verdier. En mindre undersøkelse i et

jernstøperi viser verdier i området 50 – 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for personlige prøver (Karlsson et al. 2001).

I bilverksteder har IVL Svenska Miljöinstitutet undersøkt eksponering for ICA ved ulike arbeidsoperasjoner (Antonsson et al. 2000). Dette arbeidet er ikke vitenskapelig publisert. Undersøkelsen, som omfatter arbeidsoperasjoner som sveising, kapping, sliping og hardlodding, er delvis gjort under eksperimentelle forhold (simulert verksted) og delvis i ordinære verksteder. En stor andel av prøvene ligger under deteksjonsgrensen, spesielt der tiltak ble iverksatt. Målingene (med prøvetid på 1 – 7 min.) viser eksponeringsverdier opp til 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens målinger ved kilden viser verdier opp til 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Verdiene ved kilden er typisk 5 – 40 ganger høyere enn eksponeringsverdiene. Denne undersøkelsen viser også at valg av utstyr har betydning for eksponeringsnivået, og at tiltak som fjerning av lakk på arbeidsstedet, bruk av vakuumsug på arbeidshandskene og punktavsug bidrar til betydelige reduksjoner av nivåene. Spredning av isocyanater til nærliggende arbeidsplasser ved varmt arbeid i bilverksteder er også undersøkt (Christensson & Antonsson 2001). Isocyanasyre, som ble påvist som hovedkomponent direkte i røyken nær kilden, ble ikke påvist i avstander på 2-20 m fra kilden, derimot ble små mengder diisocyanater påvist i noen tilfeller. En mindre undersøkelse i forbindelse med flammelaminering viser ICA-konsentrasjoner i området 1 – 38 ppb (1,8 – 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Sennbro et al. 2004).

I Norge er det utført en del målinger ved termisk skjæring i forbindelse med demolering av offshore-installasjoner i Nordsjøen, men ICA er ikke spesifikt angitt i den tilgjengelig rapporten (Dalene et al. 2007). Videre er det i STAMIs eksponeringsdatabase EXPO registrert 12 prøver fra norsk arbeidsliv knyttet til varmt arbeid på polyuretan-/urea-formaldehyd-resiner. ICA er ikke påvist i noen av disse prøvene, dvs. at ICA-konsentrasjonen da har vært lavere enn metodens deteksjonsgrense på 0,1 – 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avhengig av prøvetakingstid.

Kunnskapsbehov

Det er etter hvert ganske godt dokumentert at ICA kan påvises i luften i umiddelbar nærhet til der hvor varmt arbeid utføres på overflater eller materialer av polyuretan- og urea-formaldehyd-resiner, og det er vist at konsentrasjonen av ICA avtar jo lenger vekk fra kilden

man kommer (Christensson & Antonsson 2001). Dette er i tråd med hva man kan forvente knyttet til en fortynningseffekt jo lenger vekk fra kilden man måler. I tilfellet ICA kan man imidlertid mistenke at denne avtagende luftkonsentrasjonsgradienten ikke bare kan skyldes fortynningseffekter alene, grunnet ICAs labilitet ved ambient trykk og temperatur. I mange av studiene hvor ICA er blitt påvist som et termisk dekomponeringsprodukt i forbindelse med varmt arbeid er prøvetakingene ofte blitt utført stasjonært og i mange tilfeller i umiddelbar nærhet til kilden. Hvis det er slik at ICA ikke vil være stabil i særlig tid i luft etter dannelse ved termisk dekomponering av polyuretan eller urea-formaldehyd-resiner, vil dette spille en viktig rolle i forhold til eventuelle helseeffekter av slik eksponering. Likeledes er det av vitenskapelig interesse å vite om ICA umiddelbart vil omdannes til andre forbindelser ved kontakt med for eksempel fuktige slimhinner etter eventuell innånding. Vi har ikke funnet at slike forhold er undersøkt eller diskutert i tilgjengelig litteratur på området. Videre arbeid knyttet til yrkeseksponering for ICA bør søke å avdekke slike forhold i større grad enn hva som har vært tilfelle så langt. Dette vil være et faglig og teknisk krevende arbeid av dr.gradsromfang både hva kompleksitet, tid og økonomi angår, og vil måtte involvere tekniske laboratorieundersøkelser og eventuelt dyrestudier i tillegg til eksponeringskarakterisering knyttet til relevante arbeidsoperasjoner.

Tabell 2 Måledata for isocyanasyre

Industriype/Beskrivelse	Antall prøver	Konsentrasjon, µg/m ³				Referanser
		v/kilden		eksponeringsdata		
		Min - maks	Middelverdi	Min - maks	Middelverdi	
Aluminium-støperi, Sandformer, Resol + ester	9			<1 – 2,7	1,47	Lilja et al. 2000*
Jern-støperi, Furan-former, urea-formaldehyd	19			<1 - 15	5,74	Lilja et al. 2000*
Stål-støperi, Skall-sformer, fenol-formaldehyd	16			<1 - 21	5,56	Lilja et al. 2000*
Jern-støperi, Råsand-former, cold box	20			<1 - 14	2,50	Lilja et al. 2000*
Jern-støperi, Furan-former, cold box	2			4,0 - 11	7,5	Lilja et al. 2000*
Jern-støperi, Kopperlegering, cold box	10			<1,1 – 3,3	1,66	Lilja et al. 2000*
Aluminium-støperi, Kokillestøperi, cold box	21			<1 - 4	2,05	Lilja et al. 2000*
Aluminium-støperi, Kokillestøperi, cold box	4			<1 - 2	1,25	Lilja et al. 2000*
Messing-støperi, Kokillestøperi, hot box, urea-formaldehyd	14			5 - 190	43,2	Lilja et al. 2000*
Messing-støperi, Kokillestøperi, hot box, urea-formaldehyd	27			5 - 190	39,0	Lilja et al. 2000*
Jern-støperi, Furanresin	4			50 - 300	177,5	Karlsson et al. 2001
Jern-støperi, Furanresin	4 ***			300 - 700	500	Karlsson et al. 2001
Sveising PUR-belagte metallplater	6	216-700	490	16 - 189	83	Karlsson et al. 2002
Støperier	297			< 4 - 280	28	Westberg et al. 2005
Flammelaminering	13			1 – 38**		Sennbro et al. 2004
Bilverksteder, sveising	51	nd - 4000		nd - 130		Antonsson et al. 2000*
Bilverksteder, kapping	36	nd - 650		nd - 92		Antonsson et al. 2000*
Bilverksteder, sliping	42	nd - 63		nd - 22		Antonsson et al. 2000*
Bilverksteder, hardlodding	10	nd - 1900		nd - 52		Antonsson et al. 2000*
Bilverksteder, diverse arbeidsoperasjoner	20	nd - 730		nd - 81		Antonsson et al. 2000*

* Ikke peer-reviewed publikasjoner

** Konsentrasjon i ppb

*** Stasjonære prøver

Litteratur

Andrawes FF: Analysis of isocyanic acid in air by gas chromatography and thermionic nitrogen detection.

J. Chrom. 1984; 284, 487 - 490

Antonsson A-B, Ancker K, Veibäck T: Isocyanater från heta arbeten i skadereparationsverkstäder.

IVL-rapport B 1389, Swedish Environmental Research Institute, Stockholm 2000

Belson DJ, Strachan AN: Preparation and properties of isocyanic acid.

Chem. Soc. Rev. 1982; 11, 41 - 56

Boutin M, Lesage J, Ostiguy C, Pauluhn J: Validation of a solvent-free sampler for the determination of low molecular weight aliphatic isocyanates under thermal degradation conditions.

J. Occup. Environ. Hyg. 2005; 2, 456 - 461

Christensson B, Antonsson A-B: Bilplåtverkstäder – mätning av isocyanaters spridning från hett arbete till närliggande arbetsplatser.

IVL-rapport A21162, Swedish Environmental Research Institute, Stockholm 2001

Dalene M, Skarping G, Spanne M, Willers S: Present knowledge regarding exposure and possible health effects of “hot work” in coated metal parts offshore.

Rapporten Kjemisk arbeidsmiljø offshore, Vedlegg 7, Petroleumstilsynet, Stavanger 2007

Henneken H, Hayen H, Vogel M, Karst U: Validation of a diffusive sampling method for airborne low-molecular isocyanates using 4-nitro-7-piperazinobenzo-2-oxa-1,3-diazole-impregnated filters and liquid chromatography-tandem mass spectrometry.

J. Chrom. A 2006; 1134, 112 - 121

Henneken H, Vogel M, Karst U: Determination of airborne isocyanates.

Anal. Bioanal. Chem. 2007; 387, 219 - 236

Henriks-Eckerman M-L, Välimäa J, Rosenberg C: Determination of airborne methyl isocyanate as dibutylamine or 1-(2-methoxyphenyl)piperazine derivatives by liquid and gas chromatography.

Analyst 2000; 125, 1949 - 1954

Karlsson D, Dalene M, Skarping G, Marand Å: Determination of isocyanic acid in air.

J. Environ. Monit. 2001; 3, 432 - 436

Karlsson D, Dahlin J, Skarping G, Dalene M: Determination of isocyanates , aminoisocyanates and amines in air formed during thermal degradation of polyurethane.

J. Environ. Monit. 2002; 4, 216 - 222

Karlsson D, Dahlin J, Marand Å, Skarping G, Dalene M: Determination of airborne isocyanates as di-n-butylamine derivatives using liquid chromatography and tandem mass spectrometry.

Anal. Chim. Acta 2005; 534, 263 - 269

Koch B, Svensson L, Gustafsson A, Bucht A: Inhalation of highly volatile isocyanates: Acute effects on respiration and inflammation in rats and mice.

Abstract 10th International Congress of Toxicology, 11 – 15 July 2004, Tampere Finland

Toxicol. Appl. Pharmacol. 2004; 197 (3), 326

Lilja BG, Westberg, Nayström P: Kartläggning av isocyanater i gjuterier – Etapp 2 – Exponeringsmätningar.

Rapport 00317, Svenska Gjuteriföreningen, Jönköping 2000

McClure JE, Stehman PL: determination of isocyanic acid in air by high performance liquid chromatography.

J. Liq. Chrom. 1984; 7 (11), 2151 - 2161

Montelius J (ed): Vetenskapligt underlag för hygieniska gränsvärden 23. Metyisocyanat (MIC) och isocyanasyra (ICA)

Arbete och Hälsa 2002:18, s. 15 – 28, Arbetslivsinstitutet, Stockholm

Molander P, Levin J-O, Ostin A, Rosenberg C, Henriks-Eckerman M-L, Brodsgaard S, Hetland S, Thorud S, Fladseth G, Thomassen Y: Harmonized Nordic strategies for isocyanate monitoring in workroom atmospheres.

J. Environ. Monit. 2002; 4, 685 - 687

Molander P: Isocyanates.

Chromatographic analysis of the environment 3rd edition, L.M.L. Nollet (ed.), Taylor&Francis Group, Boca Raton (FL) USA, 2006, s. 779-802. ISBN: 0-8247-2629-4

Sennbro CJ, Lindh CH, Östin A, Welinder H, Jönsson BAG, Tinnenberg H: A survey of airborne isocyanate exposure in 13 Swedish polyurethane industries.

Ann. Occup. Hyg. 2004; 48, 405 - 414

Sennbro CJ, Ekman J, Lindh CH, Welinder H, Jönsson BAG, Tinnenberg H: Determination of isocyanates in air using 1-(2-methoxyphenyl)piperazine-impregnated filters: Long-term sampling performance and field comparison with impingers with dibutylamine.

Ann. Occup. Hyg. 2004; 48, 415 - 424

Skarping G, Dalene M, Lind P, Karlsson D, Adamsson M, Spanne M: Isocyanates.

Scientific Report, Lund University, Lund, Sweden 1999, ISBN: 91-630-8237-3 (in Swedish)

Tinnenberg H: Bestämning av isocyanasyra i luft

Yrkesmedisinska Kliniken i Lund (YMK) Bulletin 2002; årgång 20 (nr. 2), s. 12

Westberg H, Löfstedt H, Seldén A, Lilja B-G, Nayström P: Exposure to low molecular weight isocyanates and formaldehyde in foundries using hot box core binders.

Ann. Occup. Hyg. 2005; 49, 719 – 725