

Exponering för isocyansyra

Håkan Tinnerberg¹, Yrkeshygieniker

Tobias Storsjö¹, Yrkeshygieniker

Gunilla Runström Eden¹, Yrkeshygieniker

Anders Johansson², Arbetsmiljöingenjör

Lena Andersson², Yrkeshygieniker

1) Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska

Universitetssjukhuset, Göteborg

2) Arbets- och miljömedicin, Universitetssjukhuset,

Örebro

Förord

Denna rapport är en modifierad version av slutrapporten till det AFA-finansierade projektet ”Exponering för isocyansyra”. Projektet har diarienummer 200068 och är ett samarbetsprojekt mellan de två Arbets- och miljömedicinska enheterna i Göteborg respektive Örebro, som både också har delfinansierat studien.

Vi vill rikta ett stort tack till deltagande företag för att vi har fått genomföra mätningarna av isocyansyra.

Innehållsförteckning

Innehåll

<i>Förord</i>	1
<i>Innehållsförteckning</i>	2
<i>Sammanfattning</i>	4
<i>Bakgrund och syfte</i>	1
Syfte	1
Bakgrund	1
<i>Material och metoder</i>	3
Rekrytering av företag för att genomföra exponeringsmätningar	3
Metod för luftprovtagning och analys.....	4
Mätstrategi.....	4
<i>Resultat och diskussion</i>	12
Resultat och diskussion över de olika verksamheternas exponering.....	13
Restauranger och livsmedelsindustri.....	13
Hantering av PUR	14
Tillverkningsindustri där urea-haltigt bindemedel används	14
Isolering.....	15
Användning av spånskivor	16
Svetsning av Linoleummattor	16
Experimentellt dieselavgaser.....	17
Asfalteringsarbete.....	17
Mätning i urban bakgrund	17
Diatermi.....	17
Frisör	17

Rökning.....	17
Sammanfattning över alla resultat.....	18
Genomförandet.....	18
Framtiden	19
Referenser.....	20

Sammanfattning

Isocyanater är en välkänd grupp av kemikalier känd för att ge hälsoeffekter från luftvägar och ögon. En av de mer okända isocyanaterna, isocyansyra (ICA), har under de senaste åren fått alltmer uppmärksamhet då man har hittat den i allmän miljö och att den också emitteras vid matlagning, men exponering och hälsoeffekter av ICA är synnerligen lite studerat. Det finns ett gränsvärde i Sverige för exponering för ICA och det är det enda gränsvärdet som finns i hela världen, vilket gör att det egentligen bara är i Sverige som mätningar av ICA genomförs.

Syftet med projektet var att kartlägga i vilka miljöer man kan bli exponerad för ICA.

Vi har genomfört mätningar på 24 olika verksamheter bland annat restauranger, livsmedelsindustrier, tillverkning och användning av produkter med kvävehaltigt innehåll i kombination med höga temperaturer, termisk nedbrytning av polyuretan, cigarettökning, motorförbränning och i urban bakgrund.

ICA kan hittas på många platser i mycket låga koncentrationer. Att man hittar ICA i stadsluft med snarlika koncentrationer, oavsett trafikintensitet, tolkar vi som att bildad ICA inte är väldigt reaktivt utan sprider ut sig allmänt i miljön. En trolig källa är förbränningsmotorer.

Av de verksamheter som vi har genomfört mätningar på, var exponeringen påtaglig i de verksamheter som använder urea som bindemedel vid höga temperaturer, samt där man värmer upp sådana produkter till höga temperaturer för första gången. Dessa verksamheter var dock medvetna om att exponeringen kunde vara hög och hade i flera fall vidtagit åtgärder för att minimera exponeringen. Ett annat intressant resultat är att de uppmätta halterna av ICA och framförallt metylisocyanat är oerhört höga i den direkta cigarettöken. Två minuters kontinuerlig rökning ger motsvarande dos av metylisocyanat som gäller för 8 timmars exponering vid gränsvärdet.

Då dagens svenska gränsvärde för ICA baseras på ett undermåligt underlag skulle det behövas en studie över hälsoeffekter vid exponering för ICA, då sådana saknas helt.

Bakgrund och syfte

Isocyanater är en välkänd grupp av kemikalier känd för att ge hälsoeffekter från luftvägar och ögon. En av de mer okända isocyanaterna, isocyansyra (ICA), har under de senaste åren fått alltmer uppmärksamhet. I toxikologisk litteratur visas att den tydligt medverkar i biokemiska processer i kroppen (5). Vidare har atmosfärsforskare påvisat att ICA kan mätas i alla miljöer där man försökt mäta den. Källan tros vara olika typer av förbränning (9). Vidare är det också påvisats att ICA emitteras vid till exempel matlagning (7).

Exponering och hälsoeffekter av ICA är synnerligen lite studerat. Kunskapsläget 2019, när studien startade, var att ICA förekom vid all termisk nedbrytning där det fanns kväve närvarande. Det betydde i så fall att stora populationer av svenska arbetare skulle kunna vara exponerade och som man skulle behöva göra riskbedömningar för. Exponering skulle till exempel kunna uppkomma vid alla restauranger och storkök, inom livsmedelsindustrin, hos frisörer, från brandrök, hos veterinärer och kirurger (vid till exempel diatermibehandlingar). Med andra ord fanns behov av en kartläggning över exponering för ICA.

Syfte

Det övergripande syftet med projektet var att kartlägga i vilka miljöer man kan bli exponerad för ICA.

Bakgrund

Isocyanater är en välkänd kemisk substansfamilj i Sverige då man vid exponering riskerar framförallt astma och andra luftvägsproblem. Vid exponering för diisocyanater omfattas man också av föreskrifterna som gäller för arbete med allergiframkallande produkter där man vartannat år måste genomföra medicinska undersökningar för att få fortsätta arbeta.

Kunskapen om hälsoeffekter vid exponering för isocyanater kopplas framförallt till exponering för diisocyanater, medan kunskap om effekter för exponering av monoisocyanater är mycket bristfällig. Den vanligaste monoisocyanaten är metylisocyanat (MIC), som framförallt förknippas med den stora olyckan i Bhopal (2). År 2002 publicerade den svenska kriteriegruppen för gränsvärden ett dokument om metylisocyanat och isocyansyra (ICA), vilket senare gav svenska gränsvärden för dessa två ämnen (1). Detta gör Sverige unikt genom att vi är det enda landet i världen som har ett gränsvärde för ICA. I kriteriedokumentet framträder tydligt att underlaget för

ICA var mycket bristfälligt, eller i princip helt obefintligt. Gränsvärdet i Sverige för ICA är $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vilket är samma värde i ppm som för metylisocyanat.

I nyare toxikologisk litteratur har man visat att ICA kan bildas endogent och deltar i en icke-enzymatisk modifiering av proteiner, kallat karbamylering (5). Karbamylering som sådan är kopplat till sjukdomar som katarakt, kronisk njursjukdom och andra njursjukdomar, ateroskleros och reumatoid artrit (3, 5). Hur exogen exponering påverkar detta är helt okänt. I en publicerad fallrapport visas på kraftiga effekter på lungorna vid inandning av rök innehållande höga nivåer av ICA (8).

Redan för 25 år sedan kunde man visa att ICA men även metylisocyanat kunde emitteras vid termisk nedbrytning av polyuretan eller andra produkter innehållande kväve (6). På grund av det så har det varit en diskussion i Sverige huruvida exponerade för monoisocyanater ska genomgå medicinska kontroller med tjänstbarhetsbedömning för hårdplastarbete.

Som bakgrund till ansökan till AFA var de nya studierna som då hade publicerats om att ICA i princip kan mätas överallt i den allmänna miljön (9) och källan tros vara olika typer av förbränning och att man vid till exempel matlagning kunde mäta ICA och att halten emitterad ICA var proportionerlig mot mängden kväveinnehållande substans i maten och temperatur (7). I samband med det senare förtydligade Arbetsmiljöverket föreskrifterna om att medicinska kontroller bara behöver genomföras om anställda är exponerade för termiska nedbrytningsprodukter från polyuretan eller exponering för diisocyanater och inte för exponering för monoisocyanater som bildas vid termisk nedbrytning av kväveinnehållande material.

Material och metoder

Rekrytering av företag för att genomföra exponeringsmätningar

I planen var att vi skulle genomföra exponeringsmätningar på ett antal olika ”vanliga” verksamheter för att undersöka om det förelåg någon exponering för ICA. Eftersom en av anledningarna till att vi sökte medel för att genomföra projektet var att man hade hittat förhållandevis höga halter av ICA vid viss matlagning, så var mätningar i restauranger och i livsmedelsindustrin centrala. Rekrytering av arbetsplatser inom denna har huvudsakligen genomförts på företag inom respektive närområde (Göteborg och Örebro) där vi har haft befintliga kontakter.

Att monoisocyanater kan bildas spontant vid heta arbeten med kväveinnehållande material har varit känt länge. För att ytterligare försöka klargöra hur emissionerna och exponeringen ser ut kontaktade vi två bransch-organisationer, Swedisol (där medlemmarna tillverkar och marknadsför isoleringsprodukter) och Byggmaterialindustrierna (samlar företag och branschorganisationer som tillverkar och arbetar med byggmaterial). Via dessa kontakter fick vi deltagande av två företag som tillverkade byggmaterial med bland annat kväveinnehållande bindemedel. Vidare kontaktade vi användare av den typen av produkter.

Att monoisocyanater bildas vid termisk nedbrytning av polyuretan är också känt. Vi gjorde mätningar på två tillämpningar, dels på en större tillverkningsindustri, där men i delar av produktionslokalen värmdes polyuretanprodukter och vi mätte spridningen av monoisocyanater i lokalen dels vid 3D-printning med materialet termoplastisk polyuretan (TPU).

Två andra verksamheter med många potentiellt exponerade som vi ville undersöka var sjukvården och frisöryrket. Inom sjukvården (och för veterinärmedicin) så var tanken att vid diatermi hettas kväveinnehållande material upp till höga temperaturer och för frisörer är det vid vissa hårförningsmoment som temperaturen kan bli hög. Då det var mycket svårt att rekrytera frisörer och vi fick kännedom att AMM SYD hade gjort en sådan mätning (4) så genomförde vi aldrig det.

Ytterligare en situation där kväveinnehållande material utsätts för höga temperaturer är vid cigarettökning. En experimentell uppställning arrangerades för att efterlikna exponering för en hemsjukvårdare som blir exponerad för cigarettök hos en rökande brukare. Vi har även mätt ICA och MIC i direktröken som en rökare får i sig.

Då en av anledningarna till studien var fynden att ICA hittas överallt där man undersökt i allmänmiljön och att det kopplas till förbränningsmotorer genomförde vi i symbios med ett annat AFA-projekt om dieselavgaser mätningar av ICA även där i en försöksuppställning på Chalmers. Vidare har vi mätt vid gräsklippning med motorgräsklippare och vid asfätläggning, samt avslutningsvis i urban bakgrund.

Metod för luftprovtagning och analys

Alla mätningar med avseende på ICA har gjorts efter derivatisering vid provtagning med di-n-butylamin och analys med vätskekromatografi-masspektrometri (LC-MS). Huvuddelen av mätningarna har genomförts med Easysamplers-provtagare (10). I några tillämpningar har vi provtagit under kortare tid och då har vi i stället använt impingermetoden då den tillåter ett högre luftflöde, vilket ger en lägre detektionsgräns. För provtagning utomhus och för långa provtagningstider har vi använt EHS-Analytics AB i Staffanstorps. Grundarna där är de som har utvecklat standardmetoden för att genomföra exponeringsmätningar med Easy-samplern och har en fördjupad kunskap i hur man kan sänka detektionsgränsen vid provtagning.

Alla analyserna har genomförts på Arbets- och miljömedicins laboratorium i Örebro förutom mätningarna i urban miljö som är analyserade på EHS-analytics i Staffanstorps. Förutom analys av ICA har även metylisocyanat analyserats i alla prover.

För provtagning med Easy-samplern har vi använt ett luftflöde på 200 ml/min, förutom vid mätning i urban bakgrund då luftflödet var 300-500 ml/min. Vid provtagning med impinger var luftflödet 1 L/min. Vid alla provtagningar har luftflödet kalibrerats innan och efter avslutad mätning. Vid varje provtagning har blank-prover samlats in och resultatet från provtagningarna har justerats utifrån detta.

Mätstrategi

Mätstrategin har präglats av att hitta möjliga emissioner av ICA i olika miljöer, samt där det har varit lämpligt att mäta personburen exponering. Då det spontana bildandet av ICA sker i heta miljöer där kväve finns, så betyder det att det inte alltid finns arbetande personal i närheten där emissionerna förväntas vara som högst. På grund av det har vi genomfört förhållandevis många stationära mätningar för att överhuvudtaget kunna påvisa om det föreligger några emissioner och senare någon möjlig exponering.

Vi har genomfört mätningar på 23 olika verksamheter, se tabell 1. Verksamheterna är sex olika restauranger och tre livsmedelsindustrier, två tillverkare av produkter där tillverkning innefattar

höga temperaturer och kvävehaltigt innehåll och tre användare av den typ av produkter, två olika former av termisk nedbrytning av polyuretan, svetsning i linoleum-matta, en diatermi-behandling, cigarettrökning, tre olika former av motorförbränning och slutligen i urban bakgrund.

I samband med alla mätningar har vi tagit fältblankar då blanken vid provtagning av ICA alltid har en viss bakgrund. Resultatet från blanken vid ett provtagningstillfälle har dragits av från de uppmätta halterna. I projektet har vi analyserat mer än 50 blankprover.

I samband med många, men inte alla mätningar, har nanopartiklar mätts med en P-Trak, som mäter antalet partiklar i storleksintervallet 20nm-1µm.

Tabell 1. Information om företag/mätplats, typ av verksamhet och antal prover ICA som provtagits

Företag/Mätplatser	Verksamhet	Antal prover (n)	
		Personburet	Stationärt
A	Restaurang	-	2
B	Restaurang	1	2
C	Restaurang	-	2
D	Restaurang	-	1
E	Restaurang	2	1
F	Matlagning hemmiljö	-	3
G	Livsmedel	2	6
H	Livsmedel	-	7
I	Livsmedel	1	1
J	Hantering PUR	5	2
K	Hantering PUR	-	2
L	Tillverkning	6	43

M	Tillverkning	4	8
N	Isolering	-	3
O	Isolering	-	18
P	Bygg	2	2
Q	Bygg	1	2
R	Experimentell dieselavgaser	-	19
S	Asfaltering	3	-
T	Urbana utomhusmätningar	-	14
U	Gräsklippning	1	-
V	Diatermi	3	3
X ^a	Frisör	2	1
Y	Experimentell, Rökning	-	11
Blankar			52
Totalt		33	152

a) Mätningen genomfördes av AMM SYD (Engfeldt 2022)

Företag A är en lunchrestaurang som varje dag serverar tre olika maträtter: en fisk, en vegetarisk och en köttträtt. Köket ligger i anslutning till lokalen där gästerna sitter och uppskattas till ca 20-25 m². Det är trångt mellan de olika matlagingsstationerna som inkluderar en stekhäll, en spis och två ugnar. Stekhällen har fläktkåpa. Mätarna placerades på två platser där het aktivitet förekom: mellan ugnarna och vid stekhällen. Under dagen så stekte man fiskkakor och panerad getost på stekhällen. Det var ca 160 portioner mat totalt, varav ca 80 fisk. Något färre vegetariska. Som kött serverade man kålpudding med skysås. Enligt kockarna så representerade det en normal arbetsdag men maträtter som innebar ännu mer stekning kunde förekomma.

Företag B är ett större restaurangkök där mätning genomfördes vid stekning av raggmunk. Två personer arbetade vid två stekbord och stekte under 2-3 timmar. Mätarna var placerade stationärt mellan stekborden samt en personburen provtagare på den ena personen. Platsen för stekborden utgjorde en mindre del av den stora lokalen. Stekbordet höll yttemperaturen 120 – 200 °C (högre temperatur på del som varit oanvänd en stund), nyvärd raggmunk hade yttemperatur 100 °C. Processutslug via fläktar i taknivå över varje stekbord.

Företag C är en lunchrestaurang som serverar flera olika rätter varje dag: en kött, en fisk, en vegetarisk, en pasta, sallader samt en asiatisk buffé med nudelrätter, ris och friterade produkter. Köket är ca 30 m² och är uppdelat i två delar men det är öppet mellan. Det är även öppet till gästerna. Det fanns gasolspis med sex brännare, stekhäll, ugnar och riskokningstation. Det fanns flätkåpa över stekhällen och gasolspisen. Mätarna placerades mellan gasolplattorna och brännarna, samt vid riskokningsstationen. Under mätdagen serverades stekt fisk, helstekt fläskytterfilé med grillad potatis, pasta och asiatisk buffé. Mätningarna kan ha underskattat exponering då ytterfilén redan var färdiggrillad vid ankomst till restaurangen.

Företag D är en Foodtruck som serverar indisk/pakistansk mat: wraps, stekt kött i sås med pommes frites och friterade grönsaker (pakora). Foodtrucken hade en liten stekhäll med fläkt och en liten fritös. Utrymmet uppskattas vara 5-7 m². Mätaren placerades vid stekhällen. Maten stektes inte på order utan en del fanns färdigt att lägga upp. Under mätdagen var det något färre kunder än vanligt. Luckan till gästerna och bakdörren till trucken var öppen under hela mätningen.

Företag E är en mindre restaurang med fokus på hamburgare och fritering. I köket steks hamburgare och kyckling på stekbord med en temperatur på 150–250 °C och potatis och fisk friteras i någon av de 4 fritöser som hade temperaturer på 200 °C. Ångor från stekbord och fritöserna leds ut med hjälp av ett ventilationsrör placerat ovanför stekbordet, en del av ångorna från fritösen går dock ut i köket. Två personburna mätningar utfördes, dels på personen som var ansvarig för stekbordet dels på personen som var ansvarig för fritöserna. Stationär mätpunkt placerades i mitten av köket, mellan stekbord och fritöserna.

För jämförelse mot restaurangköken genomfördes stekning i hemmiljö. Provtagarna var placerade stationärt ovanpå köksbänken cirka 15 centimeter från stekpannan. Ventilationen i köket var en köksfläkt. Under trettio minuter stektes 18 pannkakor i en stekpanna. Under 25 minuter stektes köttbullar av 1 kg nötfärs i två stekpannor. Under 25 minuter stektes köttbullar av 750 gr vegetarisk anammafärs i två stekpannor.

Företag G är en större livsmedelstillverkare som friterar och kokar potatis, och andra vegetabiliska produkter. Temperaturerna varierade i de olika processerna den högsta temperaturen (218 °C) var vid stekning i olja, kokningen hade en maxtemperatur på 155 °C och fritering hade en maxtemperatur på 155 °C. Vid fritering placerades en stationär och en personburen. I stekningen i olja placerades två stationära och en personburen. I kokningsprocessen placerades två stationära, en i processrummet och en utanför.

Företag H är en livsmedelstillverkare i bageribranschen. I tillverkningsprocessen kavlas och formas en deg innan den förs igenom långa ugnar. Temperaturen i ugnen varierade, men hade en maxtemperatur på runt 225 °C. Gaser och partiklar som emitteras under bakningen ventileras ut genom ventilationsrör som kopplade till ugnen på ett par platser längs med den långa ugnen. Färdiga produkter förflyttades efter bakningen vidare till paketeringen. Fyra provtagare placerades vid utloppet till två av de långa ugnarna, två vid varje utlopp. Två provtagare placerades uppe på ugnarna, i närheten av ventilationsrören och en provtagare placerades vid inloppet till en av ugnarna.

Företag I är ett mindre kafferosteri där rosten upphettas till cirka 210°C. 15-20 kg kaffeböner rostar i 15 minuter och töms sedan ut på en rund plattform med roterande arm för avkyllning i 10 minuter innan de överförs till plastlåda inför packning. Rostning sker i en mindre lokal utan processutsug. Arbetet är manuellt och en person utför det 1 dag/vecka. Provtagning skedde personburet på arbetstagaren samt stationärt på stativ intill kafferosten på 1,5 meters höjd.

Företag J tillverkar komplexa produkter i en mycket stor, öppen lokal med ett hundratal anställda. I en viss del av lokalen limmar man produkter med polyuretanlim som värms och trycksätts. Vid den hanteringen emitteras partiklar och ångor som sprids i resten av lokalen. Mätning utfördes i tre olika delar av lokalen som företaget själv har delat in i ”zoner” där mer eller mindre exponering för ICA förekommer utifrån tidigare mätningar och närhet till den heta processen. Personburna mätningar utfördes i alla tre zoner och stationära mätningar i två zoner. Produktionen under mättdagen ansågs vara normal.

Företag K utvecklar metoder/arbetssätt för 3D skrivare. De arbetar främst med utskrifter av metallpulver men i ett separat rum har de även skrivare för plastmaterial. Mätningen genomfördes med en provtagare inuti och en utanför utskriftsutrymmet i skrivaren för plastmaterial. Aktuellt material i skrivaren var termoplastisk polyuretan (TPU) med materialåtgång på ca 7,87 g/h (1 m filament med diametern 2,85 mm). Ingen processventilation fanns i lokalen.

Företag L är ett företag som tillverkar produkter genom att pressa samman en träfiber och limblandning under höga temperaturer. Spån, träfibrer och en lim-ureablandning blandas i ett separat rum och placeras ut över en produktionsband. Denna kaka färdas vidare på produktionsbandet, kapas till rätt storlek och pressas sedan i en press som har en temperatur på 200 °C. Produkten ligger i denna varma press 70 till 250 sekunder, presstiden är beroende av hur tjock den ursprungliga kakan var. De färdiga spånskivorna hängs upp och får under några minuter svalna, innan den skickas vidare för klyvning till mindre bitar, samt putsning. Provtagare placerades ut längs med hela processen, i limblandningsrummet, vid formningsstationen, vid pressen, vid torkningen, vid klyvningen och vid putsningen. Provtagare placerades även på två av arbetarna som arbetade med processen, en som övervakade pressningsprocessen och en som övervakade putsningsprocessen. Mätningar utfördes under 2 dagar, en dag i mars och en dag i juni. Under mätningen i mars utfördes två mätningar på hälften av mätplatserna och under mätningen i juni utfördes två mätningar på alla mätplatser.

Företag M tillverkar produkter innehållande bland annat urea som härddas i härdugnar som har en temperatur på 210-250°C. Ugnarna är ventilerade men produkterna är varma när de lämnar ugnarna. Produktionen är till stor del fjärrstyrd, men visst underhållsarbete pågår runt produktionen. I slutet av produktionslinorna packas färdiga produkter. I lokalen är det en kraftig ventilation som flyttar luft från renare område till smutsigare områden. Mätningarna genomfördes på två produktionslinjer. På den ena linjen genomfördes personburna mätningar av personal som körde truck vid utlastning och på kontrollrumspersonal som genomförde arbetsuppgifter utanför kontrollrummet som är ovanligt förekommande. På den andra linjen togs personburna prov på arbetare som packade färdig produkt, vilket är ett vanligt förekommande arbete. Stationära prov togs runt ugnarna i båda lokalerna, och i en angränsande lokal.

Företag N är ett fjärrvärmeverk som bränner pellets för produktion av värme. Mätningen utfördes vid uppstart av pannan när en stor mängd isolering hade bytts ut. Pannan startades och ökade i temperatur under en dag för att testa systemet. Lokalen bestod av ett flertal våningsplan, med mycket ventilation. Provtagare placerades på våningsplanet där isoleringen hade bytts ut, samt på våningsplanet ovanför.

Företag O är ett fjärrvärmeverk som bränner gas och pellets för att producera värme. Hela byggnaden var nybyggd och pannan var nyinstallerad, med obränd isolering i hela lokalen. Lokalen bestod av 5 våningsplan och var cirka 19 meter hög. Mätningarna utfördes både under torkeldning av pannan och när pannan börjades testas. Ventilation i lokalen var under mättillfället

god, då flertal extra fläktar var placerade i lokalen. Provtagare placerades stationärt på flera platser i lokalen. På två av platserna utfördes upprepade mätningar vid 7 tillfällen under en månads tid. Vid ett av dessa mättillfällen, mättes nivåerna på ytterligare 4 platser.

Företag P tillverkar byggmoduler (typ rum/barack), som del av tillverkningen, i ena hörnet av en stor lokal, gör de en del håltagning m.m. i golvspånskivor. Mätningen skedde vid planslipning och kapning av golvspånskivor.

Företag Q var en golvläggare som reparerade ett linoleumgolv genom mattsvetsning. Golvläggaren bar en provtagare, ett prov mättes i emissions-zonen och ett i bakgrunden.

Företag R var en experimentell mätning av dieselavgaser i ett kontrollerat förbränningslaboratorium på Chalmers. Mätningarna utfördes under olika motorförhållanden och med olika bränslen, samt en mätning som utfördes under förhöjda nivåer av add blue, vilket är en urea-produkt som tillsätts till vissa dieselmotorer för förändrad förbränning. Provtagarna kopplades direkt in i avgasutsuget och provtogs från avgaser som blivit utspädda med luft.

Företag S asfalterar vägar runt omkring i Sverige. Mätningen utfördes under en asfaltering av en landsväg. Totalt mättes ICA personburet på tre av arbetarna, en som kördes asfalteringsmaskinen och två som gick vid sidan av maskinen. Under mättillfället asfalterades en sträcka på ca, 1,5 km.

T är en stadsmätning som utfördes under fyra heldagar spridda över två veckors tid, på tre olika platser i Göteborg. Varje provtagning utfördes under cirka 20 timmar, från eftermiddagen dag 1 till lunchtid dag 2. Provtagning utfördes med specialbeställda provtagare från EHS-analytic med en högre renhet av reagens vilket ger en lägre bakgrund, och vilket möjliggjorde mätningar av lägre ICA-koncentrationer. Provtagarna placerades på tre platser i Göteborg. Första platsen var vid arbets- och miljömedicins byggnad (Medicinaregatan), en plats med låg trafiktäthet. Andra platsen var på Övre Husargatan i en av miljöförvaltningens mobila vagnar, en plats med normal stadstrafik. Den tredje platsen var vid Oskarsleden i en annan av miljöförvaltningens mobila vagnar, en plats med hög trafiktäthet.

U genomfördes personburet när en villaträdgård klipptes med en bensindriven gräsklippare.

Företag V är en hudklinik på ett sjukhus där mätning skedde vid diatermi på hud på 2 patienter samt vid behandling med koldioxidlaser på hud på 2 patienter. Provtagning skedde personburet på behandlande läkare samt stationärt 1 meter ifrån där behandling skedde.

X En mätning genomfördes av AMM SYD (Engfeldt 2022) vid en keratinbehandling. Det togs två personburna prov och ett stationärt prov.

Y mätning skedde vid rökning i ett 24 m² inglasat uterum med uppsättning för att representera exponering av passiv rökning för hemtjänstpersonal där brukare röker samt mätning vad själva cigaretten avger. Vi genomförde också provtagning av den direkta cigarettröken genom att koppla cigaretter i serie med provtagare.

Resultat och diskussion

Tabell 2. Redovisning av mätresultat som medel-, min- och maxnivåer efter provtagning av ICA personburet och stationärt

Företag/ Mätplats	Verksamhet	Koncentration ICA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
		Personburet				Stationärt			
		n	medel	min	max	n	medel	min	max
A	Restaurang	-				2	<0,83	<0,83	<0,83
B	Restaurang	1	-	-	<0,66	2	<0,69	<0,69	<0,69
C	Restaurang	-				2	<0,91	<0,91	<0,91
D	Restaurang	-				1	-	-	<0,77
E	Restaurang	2	0,45	0,34	0,55	1	-	-	<0,27
F	Matlagning hemmiljö	-				3	0,24	0,16	0,38
G	Livsmedel	2	<0,59	<0,55	<0,63	6	0,65	<0,55	1,4
H	Livsmedel	-				7	0,56	<0,53	1,2
I	Livsmedel	1	-	-	0,59	1	-	-	0,13
J	Hantering PUR	5	2,7	<0,23	4,6	2	2,1	<0,23	4,1
K	Hantering PUR	-				2	<1,5	<1,4	<1,5
L	Tillverkning	6	40	31	94	43	49	23	270
M	Tillverkning	4	19,0	3,8	30,4	8	69,3	10,9	119
N	Isolering	-				3	<0,53	<0,53	<0,53
O	Isolering	-				18	10	7,4	64
P	Bygg	2	0,37	0,26	0,47	2	0,33	0,17	0,48

Q	Bygg	1	-	-	<4,5	2	4,5	<4,4	5,8
R	Experimentell dieselavgaser	-				19	2,8	<0,59	4,6
S	Asfaltering	3	0,41	<0,50	0,52	-			
T	Urban utomhus					14	0,12	0,14	0,25
U	Gräsklippning	1	-	-	1,4	-			
V	Diatermi	3	0,75	<0,57	1,1	3	0,77	<0,60	1,1
X ^a	Frisör	2	<1,1	<0,57	<1,7	1			<1,1
Y	Experimentell Rökning	-				11	579	1,0	4270
	Totalt	33				152			

a) Mätningen genomfördes av AMM SYD (Engfeldt 2022)

Resultat och diskussion över de olika verksamheternas exponering

Restauranger och livsmedelsindustri

Som nämnts tidigare så var en av anledningarna till att vi ville genomföra studien att man i en annan studie hade påvisat höga emissioner av ICA vid viss livsmedelshantering under experimentella betingelser. Vi har genomfört mätningar i flera typer av restauranger och inom livsmedelsindustrin och kan konstatera att de uppmätta nivåerna generellt är låga eller mycket låga. I endast en restaurang där man bland annat stekte hamburgare påvisades exponering över detektionsgränsen. Vid stekning i hemmet påvisade alla prover en emission, fast låg. Subjektivt var ventilationen sämre i restaurang (E) och i hemmiljö, än i de andra restaurangerna. På restaurang E, så tog de två personerna där vi mätte personburet också en rökpaus. Pumparna till provtagarna stängdes då av, men det kan trots det ha påverkat resultatet, speciellt med tanke på att det stationära provet inne i köket inte påvisade några detekterbara nivåer. Inga prover hade nivåer över 1 µg/m³.

I livsmedelsindustrin var fem prover över detektionsgränsen av totalt 17 prover och det var i närheten av processer med höga temperaturer. Uppehållstiden för personalen i de områdena var mycket låg. Den högsta uppmätta nivån var strax över 1 µg/m³.

Hantering av PUR

Vi har mätt på två företag där man hanterar PUR-produkter. Att termisk nedbrytning ger emissioner av monoisocyanater är känt sedan slutet på 1990-talet (6). På företag J, som är ett mycket stort företag med flera hundra anställda har man en varm hantering av polyuretanprodukter centralt placerat i produktionen. Företaget var väl medvetna om problematiken med spridning av dessa emissioner till stora delar av lokalen. Vid våra mätningar kunde påtagliga koncentrationer av ICA hittas även långt ifrån den primära emissionen, dock under det hygieniska gränsvärdet.

På företag J mätte vi också under flera dagar med två direktvisande mätinstrument som mäter nanopartiklar. Tanken var att nanopartiklarna och ICA bildas vid samma termiska processer och sprids på samma sätt i lokalerna. Vi kunde tydligt se att de bildade nanopartiklarna i mitten av lokalen spreds till övriga delar av lokalen, och de svängningar i emissioner från källan till nanopartiklarna (pga raster) syntes kort senare i övriga delar av lokalerna och nivåerna av nanopartiklar var liknande vid källan och en bra bit (30 m) därifrån. Även de uppmätta nivåerna av ICA var i princip lika höga vid källan som 30 m därifrån. Allt detta tyder på att emissionerna från de heta arbetena i mitten av lokalen spred sig, pga termik upp i lokalen och sedan ner igen längre ifrån källan. Vidare tyder detta på att ICA inte är särskilt reaktivt då det kunde mätas i samma nivåer långt ifrån källan som nära källan.

Additiv tillverkning eller mer känt som 3D-printning är en teknik som sprider sig snabbt inom industrin. Man printar i väldigt många olika material, men ett, ur vår synvinkel, intressant material är TPU (termoplastisk polyuretan). I en tidigare studie (11) har vi påvisat att det kan emittera monoisocyanater när man printar med det materialet. Vid våra mätningar i denna studie (K) kunde vi inte påvisa det. Fler studier rörande detta behöver genomföras för att förstå vad det är som driver emissionerna.

Tillverkningsindustri där urea-haltigt bindemedel används

Det är mycket vanligt inom industrin att använda en blandning av urea och andra substanser som bindemedel för material som ska användas i senare tekniska applikationer. Detta är ofta högautomatiserade industrier med stora maskiner och ugnar och med lite personal närvarande.

På företag L, genomförde vi mätningar vid två upprepade tillfällen. Det första mättillfället utfördes under vintern och då uppmättes högre halter på de flesta mätpunkterna. Vid de upprepade mätningarna som genomfördes i juni var de uppmätta koncentrationerna lägre. Produktionen hade hög automationsgrad och personal övervakade sporadiskt processerna där emissionerna var som högst. De personburna mätningarna var mycket höga vid det första tillfället, betydligt lägre vid de upprepade mätningarna men dock förhållandevis höga i jämförelse med det hygieniska gränsvärdet. Exponeringen måste dock betraktas som hög.

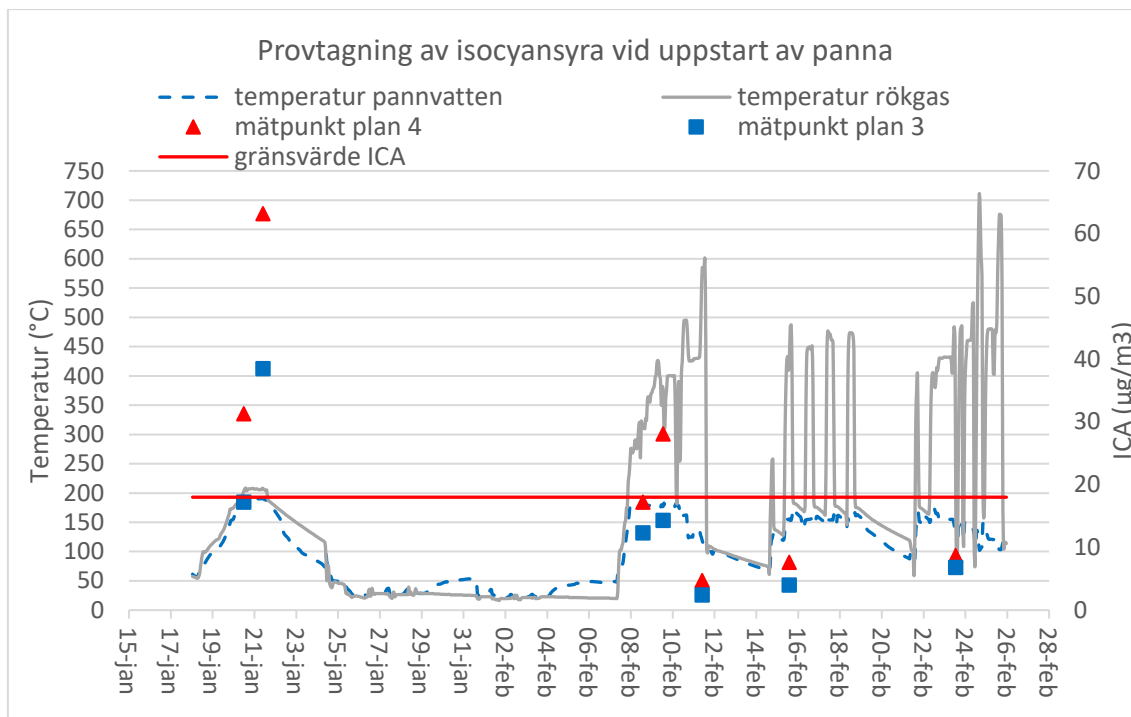
Även på företag M är automationsgraden mycket hög. Man var även medveten om att man på vissa platser hade höga emissioner från processen och där var det tydligt markerat att om man gick in i dessa zoner var det påbud med personlig skyddsutrustning. Mätningar genomförda i dessa zoner påvisade mycket hög exponering. De personburna proverna som genomfördes kan karaktäriseras lite grand som ett "worst-case" scenario. De som hade de högst uppmätta exponeringarna genomförde "sällan-arbete" för att få en inblick i hur hög exponeringen kan bli. Trots det måste exponeringen betraktas som hög.

Isolering

Att glasull och stenull är produkter som tillverkas med bindemedel innehållande urea är väl känt. Tillverkarna av dessa produkter anger också att man vid de första uppvärmningarna ska vara försiktig då retande gaser kan emitteras. Mineralull används i mycket stor utsträckning som isoleringsmaterial i Sveriges stora kraftvärmeverk. Vi fick möjlighet att studera hur emissioner från nyinstallerad mineralull emitterade ICA, dels från reparationer från ett underhållsarbete på en befintlig anläggning (N), dels från emissioner från en helt ny kraftanläggning (O). Verksamheterna vid båda dessa tillämpningar var väl medvetna om riskerna och det var ett påbud om användande av personlig skyddsutrustning när man gick in i dessa anläggningar under uppstartfaserna när det kunde föreligga en förhöjd emission från isoleringsmaterialet.

Från den mindre renoveringen (N) kunde vi inte hitta detekterbara halter av ICA. På den helt nya anläggningen genomförde vi mätningar över tid, allteftersom man ökade inkörningstemperaturerna och även i olika delar av den stora lokalen (se figur 1). Man kan från mätningarna konstatera att vid vissa temperaturökningar emitterar det mer och, generellt, ju högre upp i kraftvärmeverket så är det högre koncentrationer av ICA (se figur 1, mätpunkt plan 4 alltid högre än plan 3). De uppmätta nivåerna är höga eller mycket höga och finns kvar under en längre period efter uppstart av en helt ny kraftanläggning. De högsta uppmätta nivåerna var vid den första lite högre temperaturstegringen (över 200 grader). Vid de upprepade

temperaturhöjningarna var nivåerna fortfarande höga men långt ifrån nivåerna som uppmättes under den första uppvärmningen.



Figur 1. Sammanställning av temperaturdata och uppmätt isocyansyra på våningsplanen som ligger plan 4 och plan 3. I figuren finns två temperaturkurvor, dels temperaturen av pannvattnet, men även temperaturen av rökgasen. Nivågränsvärdet för ICA är $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och korttidsgränsvärdet är $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Användning av spånskivor

Spånskivor är ett av de material som tillverkas genom att använda ureahaltigt bindemedel. Vi genomförde en mätning vid normalt snickeriarbete med den typen av material (P). Alla proverna påvisade detekterbara nivåer, men de uppmätta nivåerna var mycket låga.

Svetsning av Linoleummattor

Vid ett reparationsarbete svetsades två linoleummattor ihop (Q). Mätningen som genomfördes direkt i den bildade röken visade $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medan den personburna och bakgrundsmätningen inte kunde detektera några halter. Således kan man konstatera att en viss emission finns där men den är inte tillräcklig för att ge mätbara halter personburet. Mättiden var dock ganska kort, då momentet gick fort att göra så detektionsgränsen för det personburna provet blev $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Under detta moment bildades stora mängder nanopartiklar som spred sig över stora områden då arbetet genomfördes helt utan någon extra ventilation.

Experimentellt dieselavgaser

I samband med ett annat AFA-finansierat projekt har vi mätt exponeringen experimentellt vid olika varianter av körcykler för dieselmotorer och olika dieselbränslen (R). Den experimentella uppställningen optimerades för huvudfrågeställningen hur elementärt kol emitteras vid olika motorer och bränslen och inte primärt för att undersöka emissionerna av ICA. De uppmätta emissionerna är också mätta direkt i avgasrören, helt utan någon spädning. Det fanns inget tydligt mönster i vad som förändrade emissionerna av ICA och nivåerna låg mellan 0,5 och 4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I vissa förbränningsmotorer tillsätts ”add blue” som är urea. Vi undersökte hur det påverkade emissionerna av ICA, men emissionerna vid de försöken var inte allmänt högre än vid andra körningar. Det är uppenbart att förbränningsmotorer är en viktig källa till de uppmätta nivåerna av ICA i urban stadsluft.

Asfalteringsarbete

Vid asfalteringsarbete (S) är arbetarna nära både asfaltrök och avgaser från de fordon som används. På de två personer som arbetade på gatuplan kunde ICA detekteras, men i mycket låga koncentrationer. På föraren av asfaltmaskinen var exponeringen under detektionsgränsen.

Mätning i urban bakgrund

Tidigare var det rapporterat att man hade detekterat låga nivåer av ICA i urban bakgrund. Vi genomförde mätningar på tre olika platser i Göteborg (T) och på alla platser kunde ICA detekteras, dock i mycket låga koncentrationer. De tre platserna valdes så att trafikintensiteten skulle vara varierande, men trots det var de uppmätta nivåerna väldigt snarlika och låg i ett litet intervall mellan 0,14 och 0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vi genomförde också en personburen mätning där vi klippte gräset i en vanlig villaträdgård (U) med en bensindriven gräsklippare och exponeringen blev strax över 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Diatermi

På en hudklinik mätte vi ICA dels vid diatermi och vid användning av CO₂-laser (V). Vid användningen av CO₂-laser kunde vi detektera ICA (låga halter) på ett personburet och ett stationärt prov.

Frisör

Under projektets gång genomförde Arbets- och miljömedicin SYD mätningar (4) på en frisersalong. Trots intensiv behandling med keratin och värme kunde ingen ICA detekteras.

Rökning

För cigarettrökning genomförde vi mätningar dels genom att koppla provtagaren i serie med en cigarett för att få en uppfattning om vad en rökare exponeras för, dels gjorde vi ett scenario där

vi uppskattade hur mycket exponering till exempel en hemsjukvårdare skulle få om hen var hos brukare som rökte och blev exponerad för sidorök. Exponeringen för en hemsjukvårdare uppmättes till 1-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De uppmätta halterna direkt i cigaretröken var dock oerhört höga, upp till 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I cigaretröken detekterade vi också oerhört höga halter av metylisocyanat, över 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sammanfattning över alla resultat

ICA kan hittas på många platser i mycket låga koncentrationer. Det i samband med att man hittar det i stadsluft, men väldigt lika koncentrationer oavsett trafikintensitet, tolkar vi som att bildad ICA inte är väldigt reaktivt utan sprider ut sig allmänt i miljön. Att ICA hittas överallt i stadsluft är inte förvånande då det tidigare är visat, men så vitt vi är medvetna har det aldrig påvisats i Europa tidigare.

Av de verksamheter som vi har genomfört mätningar på var exponeringen påtaglig i de verksamheter som använder urea som bindemedel vid höga temperaturer, samt när man värmer upp sådana produkter till höga temperaturer första gången (i vårt fall glasull). De verksamheterna var dock medvetna om att exponeringen kunde vara hög och hade i flera fall vidtagit åtgärder för att minimera exponeringen. Till exempel för värmeverken var det under inkörningsperioder där man har bytt isolering påbud med användning av personlig skyddsutrustning, vilket till vår kännedom följdes. Vid de tillverkande enheterna hade man arbetat mycket med automatisering, så att personal befann sig så kort tid som möjligt i exponerade områden. På ett av företagen hade man, i väntan på ventilationstekniska åtgärder, satt upp avspärningar i de områden där höga ICA-nivåer uppmättes, i dessa områden var det tvång med personlig skyddsutrustning.

Att cigaretrök inte är nyttigt är så klart väl känt sedan tidigare. Dock är de uppmätta halterna av ICA och framförallt MIC oerhört höga i den direkta cigaretröken. Två minuters kontinuerlig rökning ger motsvarande dos av MIC som gäller för 8 timmars exponering vid gränsvärdesnivån. Däremot detekterades ingen MIC i sidoröken, vilket betyder att hemtjänstpersonalen inte blir exponerad för MIC via exponering av sidorök.

Genomförandet

Genomförandet av studien var av flera anledningar inte helt enkel. Självklart satte pandemin spår i genomförandet då det var svårt att få besöka många arbetsplatser på grund av restriktionerna. Det gjorde att vi genomförde fler experimentella studier och färre arbetsplatsmätningar än planerat. En annan svårighet som vi inte hade förutsett var hur vi skulle motivera att genomföra

mätningarna. Ofta när vi genomför denna typ av studier finns det någon form av problematik på arbetsplatserna eller att det har kommit nya forskningsrön om att exponering vid vissa nivåer kan ge framtida men. I denna studie bad vi om att få göra mätningar för att se om det förelåg en exponering som vi inte visste om den fanns och inte heller vid vilka nivåer som exponeringen skulle kunna ge framtida besvär. Det är ett stort bekymmer att det finns ett gränsvärde som det inte finns något som helst underlag till. En motfråga från företag som vi ville mäta på var vad man har för nytta av det. Vidare, om man skulle ligga på höga nivåer, men det inte finns något som helst som tyder på att de nivåerna ger hälsoeffekter, är det ju bättre att inte veta.

Framtiden

Det skulle behövas en ordentlig studie över hälsoeffekter vid exponering för ICA. För det första för att det inte finns några sådana studier över huvud taget, och för det andra för att det finns ett gränsvärde som olika verksamheter måste förhålla sig till utan något egentligt underlag.

Om det är så att ICA inte alls ger effekter vid de nivåer där gränsvärdet är satt utan vid högre nivåer, innebär det onödiga kostnader för verksamheter att hålla exponeringen på en låg nivå trots att det inte behövs. För att vidmakthålla förtroendet för de hygieniska gränsvärdena är det viktigt att de är adekvata. Vi argumenterar ofta för att gränsvärden är för höga och att de bör sänkas ur ett hälsoperspektiv. Lika viktigt är det om gränsvärden är för låga.

Referenser

1. Arbete och hälsa. Vetenskapligt underlag för hygieniska gränsvärden 23. 2002:18.
2. Bucher J. Methyl isocyanate: A review of health effects research since Bhopal. *Fund Appl Toxicol* 1987;9:367.
3. Delanghe S, Delanghe JR, Speeckaert R, Van Biesen W, Speeckaert MM. Mechanisms and consequences of carbamylation. *Nature Review Nephrology* 2017 13:580-593.
4. Engfeldt M. Exponeringsmätning av monoisocyanater och formaldehyd vid keratinbehandling. *Arbets- och miljömedicin Syd rapport* 13:2022.
5. Jaisson S, Pietrement C, Gillery P. Protein Carbamylation: Chemistry, Pathophysiological Involvement, and Biomarkers. *Adv Clin Chem.* 2018;84:1-38.
6. Karlsson D, Dalene M, Skarping G. Determination of complex mixtures of airborne isocyanates and amines. Part 5. Determination of low molecular weight aliphatic isocyanates as dibutylamine derivatives. *Analyst* 1998;123:1507-1512.
7. Leanderson P. Isocyanates and hydrogen cyanide in fumes from heated proteins and protein-rich foods. *Indoor Air.* 2019 Mar;29(2):291-298.
8. Leanderson P, Krapic B. High levels of isocyanic acid in smoke generated during hot iron cauterization. *Arch Environ Occup Health.* 2019 May 9:1-6.
9. Leslie MD, Ridoli M, Murphy JG, Borduas-Dedekind N. Isocyanic acid (HNCO) and its fate in the atmosphere: a review. *Environ Sci Process Impacts.* 2019 May 22;21(5):793-808.
10. Marand A, Karlsson D, Dalene M, Skarping G. Solvent-free sampling with di-n-butylamine for monitoring isocyanates in air. *Journal of environmental monitoring* 7(4) 335-343 2005.
11. Runström Eden G, Tinnerberg H, Rosell L, Möller R, Almstrand AC, Bredberg A. Exploring methods for surveillance of occupational exposure from additive manufacturing in four different industrial facilities. *Annals of work exposure and health.* 2022 66 (2);163