

BADANIA PROFILAKTYCZNE SŁUCHU U PRACOWNIKÓW NARAŻONYCH NA HAŁAS I ROZPUSZCZALNIKI ORGANICZNE

PREVENTIVE HEARING TESTS
IN WORKERS EXPOSED TO NOISE AND ORGANIC SOLVENTS

Mariola Śliwińska-Kowalska

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Klinika Audiologii i Foniatrii / Department of Audiology and Phoniatrics

STRESZCZENIE

W związku z wykazanymi właściwościami ototoksycznymi rozpuszczalników organicznych w Dyrektywie 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej zalecono, aby w szacowaniu ryzyka zawodowego uszkodzenia słuchu brać pod uwagę interakcję skutków działania hałasu i rozpuszczalników na narząd słuchu. Uwzględniając brak sprecyzowanych do tej pory zaleceń profilaktycznych, niniejsze opracowanie ma na celu dostarczenie lekarzowi wskazówek w zakresie prowadzenia badań słuchu u pracowników ekspozowanych na te zagrożenia. W tej pracy omówiono biologiczne skutki działania hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu oraz aktualne możliwości szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu w przypadku izolowanego narażenia na rozpuszczalniki oraz ich współdziałania z hałasem. Przedstawiono zakres badania lekarskiego oraz znaczenie poszczególnych badań słuchu, w tym audiometrii tonalnej, otoemisji akustycznych, audiometrii impedancyjnej, słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu, audiometrii mowy w ciszy, audiometrii mowy w szumie oraz dychotycznego testu cyfrowego w diagnostyce uszkodzeń spowodowanych przez rozpuszczalniki organiczne. Opracowano algorytm przeprowadzania badań słuchu w przypadku narażenia na rozpuszczalniki organiczne oraz hałas i rozpuszczalniki w zależności od poziomu narażenia. Wskazano konieczność corocznych badań audiometrycznych u wszystkich pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne w przypadku przekroczenia ich stężeń w powietrzu, bezpiecznych dla narządu słuchu, niezależnie od współwystępowania narażenia na hałas. U osób narażonych na hałas i rozpuszczalniki organiczne okresowa audiometria tonalna powinna być obowiązkowo wykonywana już przy przekroczeniu wartości dolnego progu działania dla hałasu określonego w Dyrektywie 2003/10/WE, tj. $L_{EX,8h} = 80$ dB. Biorąc pod uwagę działanie uszkadzające rozpuszczalników organicznych na część ośrodkową narządu słuchu, dodatkowo do audiometrii tonalnej zalecane jest badanie audiometrii mowy (optymalnie audiometrii mowy w szumie). Wprowadzenie profilaktycznych badań słuchu u pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne oraz rozszerzenie wskazań i zakresu badań słuchu u osób ekspozowanych łącznie na hałas i rozpuszczalniki jest warunkiem skutecznej profilaktyki uszkodzeń słuchu w tych grupach zawodowych. Med. Pr. 2020;71(4):493–505

Słowa kluczowe: hałas, rozpuszczalniki organiczne, skutki biologiczne, uszkodzenie słuchu, ryzyko, profilaktyka

ABSTRACT

Robust evidence confirms that occupational exposures to organic solvents are ototoxic and can aggravate the effects of noise on the auditory organ. Accordingly, Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council recommends that in assessing the risk of occupational hearing loss, the interaction of noise and organic solvents to hearing should be taken into account. Given that no prophylactic recommendations have been established to date, this study is intended to provide physicians with guidance in conducting audiometric tests in workers exposed to noise and organic solvents. The paper discusses the biological effects of noise and organic solvents on the auditory organ and current possibilities of estimating the risk of hearing loss due to isolated exposures to solvents, as well as combined exposures to these chemicals and noise. The scope of medical examination and the significance of individual hearing tests, such as pure-tone audiometry, impedance audiometry, auditory brainstem responses, speech in quiet and speech in noise audiometry, and dichotic digit test, in the diagnostics of solvent-induced hearing loss are presented. An algorithm for conducting hearing tests in workers exposed to organic solvents, and co-exposed to noise and organic solvents, has been proposed depending on the concentration of solvents and noise level. Shown also is the necessity to perform annual audiometric testing in all workers exposed to organic solvents whose concentration in the air exceeds values safe for hearing. In workers exposed to noise and organic solvents, audiometric examinations should be mandatory in all subjects in whom the level of noise exceeds the lower action level defined by Directive 2003/10/EC, which is $L_{EX,8h} = 80$ dB. Taking into account the detrimental effects of organic solvents to central auditory pathways, in addition to pure-tone audiometry, speech audiometry (preferentially speech in noise) should be included. The introduction of preventive audiometric tests in workers exposed to organic solvents, along with an extension of indications and the scope of hearing tests in workers co-exposed to noise and solvents, is a prerequisite for effective prevention of occupational hearing loss in these professional groups. Med Pr. 2020;71(4):493–505

Key words: noise, organic solvents, biological effects, hearing loss, risk, prevention

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Mariola Śliwińska-Kowalska, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Klinika Audiologii i Foniatrii, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: mariola.sliwinska@imp.lodz.pl
Nadesłano: 28 lutego 2020, zatwierdzono: 21 kwietnia 2020

WSTĘP

Narażenie na rozpuszczalniki organiczne w miejscu pracy stanowi, obok hałasu, istotne zagrożenie dla narządu słuchu. Ototoksyczność tych substancji została wykazana w badaniach na zwierzętach i u ludzi w odniesieniu zarówno do ekspozycji izolowanych na rozpuszczalniki organiczne, jak i narażeń łącznych na hałas i rozpuszczalniki.

Do rozpuszczalników organicznych uszkadzających słuch w stężeniach mogących występować na stanowiskach pracy zalicza się w szczególności: styren, toluen, trójchloroetylen, etylobenzen, n-heksan i p-ksylen oraz dwusiarczek węgla (CS₂) [1]. W warunkach narażenia zawodowego pracownicy są jednak ekspozowani najczęściej na mieszaniny rozpuszczalników organicznych, w których skład wchodzi zazwyczaj: ksyleny (izomery meta-, orto- i paraksyleny), toluen, benzen, etylobenzen, butanon (*methyl ethyl ketone* – MEK), metyloizobutyloketon (*methyl isobutyl ketone* – MIBK), etanol, octan etylu, octan butylu, cykloheksan. Rozpuszczalniki organiczne obecne są również w dużych proporcjach w paliwach, np. samolotów odrzutowych (JP-8) [2]. Na rozpuszczalniki te narażeni są pracownicy mający kontakt z farbami, rozcieńczalnikami, lakierami, paliwami, pracujący przy produkcji różnych typów plastiku, syntetycznej gumy, żywicy i materiałów izolacyjnych.

Dość często narażenie na rozpuszczalniki organiczne występuje łącznie z ekspozycją na hałas. W Europie w 2002 r. szacunkowo na 30 mln pracowników narażonych na hałas w miejscu pracy u 10 mln zatrudnionych występowało również narażenie na substancje chemiczne o działaniu ototoksycznym, w tym rozpuszczalniki organiczne, gazy duszące i metale ciężkie [3]. W Polsce brakuje statystyk w tym zakresie. Częstość zawodowych uszkodzeń słuchu spowodowanych łącznym narażeniem na hałas i rozpuszczalniki organiczne nie jest znana, ponieważ takie rozpoznanie nie zostało uwzględnione na liście chorób zawodowych.

W związku z udowodnionym negatywnym wpływem rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu w Dyrektywie 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z dnia 6 lutego 2003 r.

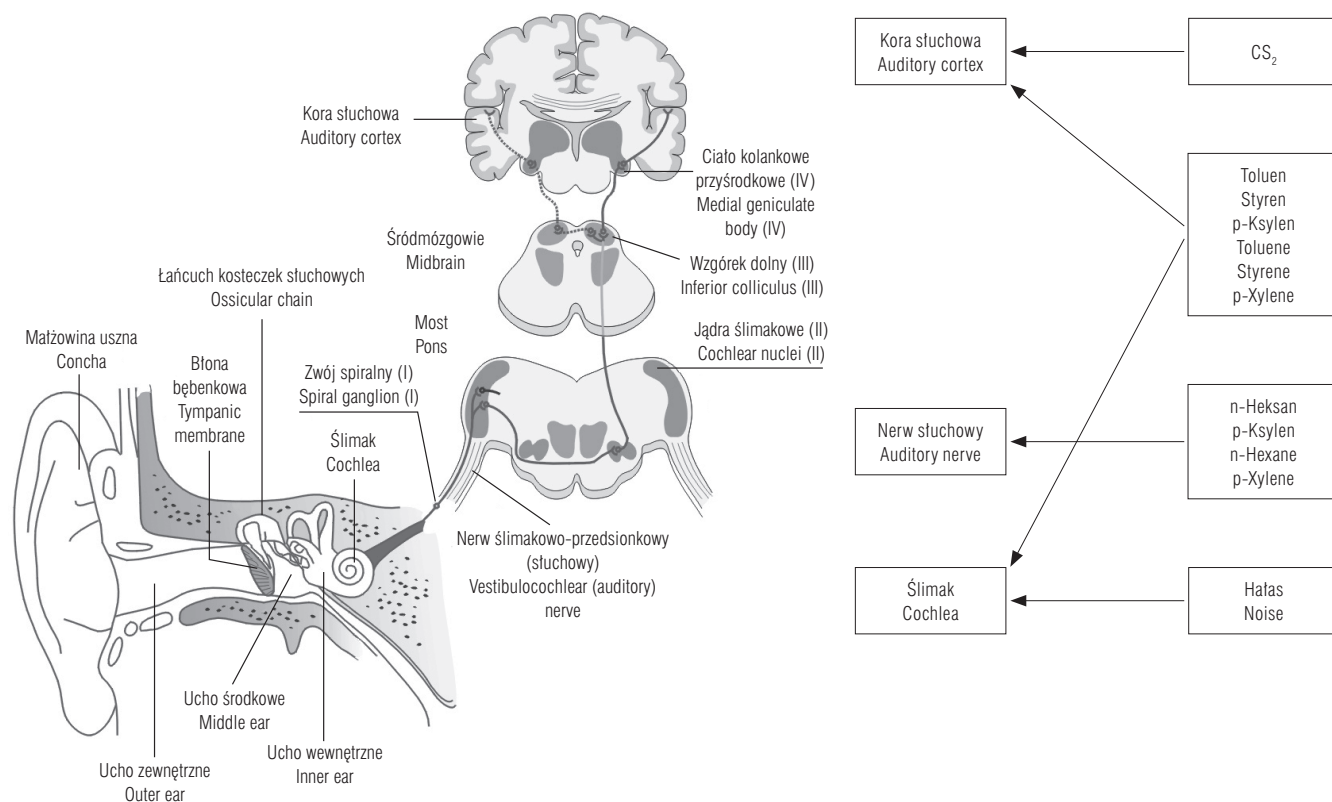
w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na hałas w miejscu pracy zalecono, aby w szacowaniu ryzyka zawodowego uszkodzenia słuchu uwzględnić interakcję skutków działania hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu (art. 4, rozdz. II) [4]. Zalecenia dyrektywy zostały wprowadzone w Polsce rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. [5]. Standardy dyrektywy 2003/10/WE rekomendowano w USA przez Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [6]. Żaden z tych dokumentów nie określa jednak sposobu, w jaki ma być prowadzona profilaktyka medyczna zawodowych uszkodzeń słuchu u osób narażonych na hałas i rozpuszczalniki organiczne w miejscu pracy.

Z uwagi na istotę problemu oraz brak sprecyzowanych do tej pory zaleceń profilaktycznych niniejsze opracowanie ma za zadanie dostarczyć lekarzowi wskazówek w zakresie oceny zagrożenia i prowadzenia badań słuchu u pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne oraz rozpuszczalniki te i hałas.

Skutki biologiczne działania hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu

Mechanizm działania hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu jest odmienny.

Hałas jest czynnikiem fizycznym. Fala akustyczna dociera do receptora słuchu znajdującego się w uchu wewnętrznym (narządzie Cortiego) poprzez struktury ucha zewnętrznego i środkowego. Przy narażeniu na wysokie poziomy dźwięku, przekraczające możliwości protekcyjne narządu słuchu, może dochodzić do mikrouszkodzeń struktur ucha wewnętrznego, w szczególności narządu Cortiego, oraz obumierania komórek słuchowych (receptorów drogi słuchowej) w mechanizmie stresu oksydacyjnego. Specyficzne mikro-mechaniczne oddziaływanie hałasu na narząd Cortiego w pierwszej kolejności uszkadza komórki słuchowe zewnętrzne I rzędu, a następnie III rzędu, z zachowaniem przez dłuższy czas czynności komórek słuchowych II rzędu [7]. Wraz z trwaniem narażenia dochodzi do uszkodzenia wszystkich komórek słuchowych zewnętrznych oraz wtórnej degeneracji włókien ner-



Rycina 1. Miejsce uszkodzenia drogi słuchowej przez hałas i rozpuszczalniki organiczne
Figure 1. Site of lesion in the auditory pathway due to exposures to noise and organic solvents

wu słuchowego. Klinicznie uszkodzenie słuchu ma charakter uszkodzenia odbiorczego o charakterze ślimakowym (czuciowym), a następnie czuciowo-nerwowym. Obszarem najbardziej wrażliwym na uszkodzenie jest region ślimaka odpowiedzialny za odbiór częstotliwości z zakresu 3–6 kHz. W pierwszym okresie pracy w narażeniu na hałas w audiogramie tonalnym widoczny jest załamek dla 4 lub 6 kHz [8].

Rozpuszczalniki organiczne są czynnikami chemicznymi. Do organizmu człowieka mogą dostawać się drogami wziewną, pokarmową (przez połykanie) oraz przez skórę, przenikając do ucha wewnętrznego wraz z krwią. Specyficzne unaczynienie ucha wewnętrznego sprawia, że substancje te dyfundują od zewnętrznej ściany ślimaka (prążka naczyniowego) i docierają do narządu Cortiego, uszkadzając najpierw komórki podporowe (Deitersa i Hensena), a następnie kolejno komórki słuchowe zewnętrzne III, II i I rzędu [9,10]. W patomechanizmie uszkodzenia słuchu, którego przyczyną są rozpuszczalniki, główną rolę odgrywa – podobnie jak w przypadku uszkodzenia wywołanego hałasem – stres oksydacyjny [11]. Prowadzi on do rozwoju ślimakowego uszkodzenia słuchu, przy czym obszarem najbardziej wrażliwym na uszkodzenie jest zakręt

podstawny, odpowiedzialny za odbiór wysokich częstotliwości. W standardowym audiogramie tonalnym ubytek słuchu może być zatem widoczny w pierwszej kolejności dla 8 kHz [12,13].

Rozpuszczalniki organiczne, które są substancjami lipofilnymi, łatwo przenikają przez barierę krew–płyn mózgowo-rdzeniowy, stąd, w odróżnieniu od hałasu, mogą uszkadzać również struktury pozaślimakowe i ośrodkowe drogi słuchowej. Uszkodzenia pozaślimakowe słuchu mogą manifestować się klinicznie nieprawidłowymi wynikami badania słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. Uszkodzenia ośrodkowe prowadzą do rozwoju zaburzeń przetwarzania słuchowego, które można wykryć za pomocą testów mowy utrudnionej lub innych specyficznych testów oceny wyższych funkcji słuchowych, np. cyfrowego testu dychotycznego.

Obok działania uszkadzającego narząd słuchu rozpuszczalniki organiczne mogą oddziaływać toksycznie na układ przedsionkowy, zarówno na jego część ośrodkową, jak i obwodową [14].

Schemat działania uszkadzającego hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu przedstawiono na rycinie 1.

Ryzyko uszkodzenia słuchu

Wciąż nie ma konsensusu, jakie wartości graniczne stężeń rozpuszczalników organicznych należy przyjąć, określając ich możliwe działanie ototoksyczne. Nie jest również poznana – i wydaje się trudna do ustalenia – zależność dawka–odpowiedź między stężeniem poszczególnych rozpuszczalników w powietrzu a ich efektem ototoksycznym. Niektóre badania epidemiologiczne wskazują, że substancje te mogą uszkadzać narząd słuchu już w stężeniach nieprzekraczających dopuszczalnych norm, wyznaczonych ze względu na ich toksyczne działanie na inne narządy krytyczne [2,15–21]. Dotyczy to zwłaszcza styrenu, który wydaje się najbardziej ototoksycznym ze związków chemicznych w tej grupie substancji [12,15,22]. Izolowane ekspozycje na styren występują głównie w przemyśle tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem szklanym. Zgodnie z zaleceniami Harvard Center for Risk Analysis (USA) wartość dopuszczalna stężenia tego rozpuszczalnika w powietrzu, rekomendowana ze względu na jego bezpieczeństwo dla narządu słuchu, nie powinna przekraczać 20 ppm [23]. W Polsce najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) dla styrenu wynosi 50 mg/m³, czyli 12 ppm, a więc wydaje się bezpieczne – w Wielkiej Brytanii i USA odpowiednia wartość wynosi 100 ppm. Co więcej, Harvard Center for Risk Analysis zaleca, aby pracownicy narażeni na styren nie pracowali w narażeniu na hałas o dziennych poziomach równoważnych dźwięku A przekraczających 85 dB [23].

W przypadku izolowanych ekspozycji na toluen nie zaobserwowano efektu ototoksycznego w populacji pracowników narażonych na ten rozpuszczalnik w stężeniach poniżej 50 ppm (wartość NDS dla toluenu w Polsce wynosi 50 mg/m³, tj. 12 ppm) [24].

Znacznie trudniej jest ustalić wartości krytyczne dla mieszanin rozpuszczalników organicznych ze względu na ich zmienny skład i trudności kontrolowania ekspozycji. Metaanaliza badań epidemiologicznych u pracowników narażonych na mieszaniny rozpuszczalników wykazała, że istotnie podwyższone ryzyko uszkodzenia słuchu może występować już przy przekroczeniu wartości 0,5 dla łącznego wskaźnika narażenia na te substancje przy ustalonej normie równej 1 [24]. Wskaźnik łącznego narażenia na rozpuszczalniki oblicza się jako sumę ilorazów wartości stężenia mierzonego w powietrzu dla danej substancji do jej wartości NDS (najwyższego dopuszczalnego stężenia) dla wszystkich substancji występujących w danej mieszaninie.

Ryzyko uszkodzenia słuchu w przypadku izolowanych ekspozycji na mieszaniny rozpuszczalników

organicznych wydaje się zależeć również od rodzaju i liczby substancji chemicznych oraz czasu trwania narażenia. Wykazano, że ryzyko uszkodzenia słuchu jest istotnie większe, gdy w mieszaninie stanowiącej narażenie występuje 6–8 substancji chemicznych, w porównaniu z narażeniem na mieszaninę składającą się z 2 substancji [24]. Istotne uszkodzenia słuchu w audiometrii tonalnej wykazywano w przypadku trwających dłużej niż 5 lat narażeń na rozpuszczalniki organiczne [24].

Pewne znaczenie dla oceny ekspozycji na rozpuszczalniki organiczne w aspekcie prowadzenia działań profilaktycznych może mieć monitorowanie stężenia metabolitów tych substancji wydalanych z moczem. W badaniach przeprowadzonych u narażonych wybiórczo na toluen pracowników drukarni rotograviurowych wykazano liniową zależność między stężeniem kwasu hipurowego (metabolitu toluenu) w moczu a prawdopodobieństwem uszkodzenia słuchu [25]. Pomiar stężenia tego kwasu są zalecane w monitorowaniu narażenia na toluen w USA przez National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). Z kolei w przypadku wziewnego narażenia na styren rekomendacje Harvard Center for Risk Analysis dla środowiska pracy wyznaczają najwyższe dopuszczalne stężenia metabolitów tego rozpuszczalnika w moczu, tj. kwasu mandelowego i fenylglikoksylogowego, na poziomie 400 mg/g kreatyniny na dzień [23]. W Polsce najwyższe dopuszczalne stężenie w materiale biologicznym (DSB) dla tych metabolitów styrenu w odniesieniu do moczu wynosi 25 mg/g kreatyniny na godzinę.

Aktualne wartości NDS dla rozpuszczalników organicznych i ich metabolitów w moczu w Polsce przedstawiono w tabeli 1 [26].

W przypadku łącznych ekspozycji na hałas i rozpuszczalniki organiczne ryzyko uszkodzenia słuchu u narażonych pracowników w porównaniu z izolowanym narażeniem na hałas istotnie wzrasta [27–33], a uszkodzenie słuchu obejmuje szerszy zakres częstotliwości [12,31]. W zależności jednak od parametrów i charakterystyki hałasu (takich jak natężenie hałasu i jego impulsowość) oraz stężenia i rodzaju rozpuszczalników oba te szkodliwe czynniki mogą wchodzić ze sobą w interakcje.

W badaniach na zwierzętach, w szczególności na szczurach, wykazano synergistyczny niekorzystny skutek łącznego działania hałasu i rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu, tj. efekt większy od sumy pojedynczych efektów ekspozycji [34–37]. Wykazywano to również w odniesieniu do stężenia rozpuszczalni-

Tabela 1. Wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) w powietrzu dla rozpuszczalników organicznych oraz zalecane stężenia graniczne ich metabolitów (DSB) w moczu [26] w Polsce

Table 1. Occupational exposure limits (OEL) in the air for organic solvents and biological exposure indices (BEI) for their metabolites in urine [26] in Poland

Rozpuszczalnik organiczny Organic solvent	NDS OEL [mg/m ³]	Metabolit w moczu Metabolite in urine	DSB – w moczu BEI – in urine
Toluen / Toluene	100 (24 ppm)	kwasy benzoowy / benzoic acid	80 mg/godz. / mg/h
Styren / Styrene	50 (12 ppm)	kwasy fenylgliksoalowy + kwas migdałowy / / phenylglyoxylic acid + mandelic acid	350 mg/g kreatyniny / of creatinine
Ksylen / Xylene	100 (24 ppm)	kwasy metylohipurowy / methylhipuric acid	1,4 g/l
n-Heksan / n-Hexane	72	2,5-heksanodion / hexane-2,5-dione	0,2 mg/l
Trójchloroetylen / Trichloroethylene	50	kwasy trójchlorooctowy / trichloroacetic acid	20 mg/l
Etylobenzen / Ethylbenzene	200	kwasy migdałowy / mandelic acid	20 mg/godz. / mg/h

ków i natężenia hałasu nieprzekraczających dopuszczalnych norm [11,38]. Obserwacja dotycząca interaktywnego oddziaływania hałasu i rozpuszczalników organicznych znalazła potwierdzenie w badaniach klinicznych i epidemiologicznych u ludzi [2,15,16,18–21]. Hipotetycznie w przypadku łącznego narażenia rozpuszczalników organicznych mogą modyfikować struktury błonowe komórek słuchowych zewnętrznych, co sprawia, że stają się one wrażliwsze i bardziej podatne na uszkodzenie przez hałas. Oprócz toksycznego działania rozpuszczalników organicznych na struktury ślimaka pewną rolę w rozwoju uszkodzenia słuchu może mieć również efekt neurofarmakologiczny omawianych rozpuszczalników na połączenia synaptyczne. Związki te mogą zaburzać funkcję cholinergicznego układu eferentnego narządu Cortiego, a co za tym idzie, upośledzać odruch z mięśnia strzemiączkowego, którego rolą jest ochrona ucha wewnętrznego przed skutkami nadmiernej ekspozycji na hałas [27].

Efekt ototoksyczny rozpuszczalników wydaje się zależny od natężenia hałasu. Obserwacja ta ma szczególnie duże znaczenie w warunkach narażeń przemysłowych, w których łączne ekspozycje na hałas i niskie stężenia rozpuszczalników organicznych są o wiele częstsze niż izolowane ekspozycje na bardzo wysokie stężenia tych substancji chemicznych. Dla niskich dziennych poziomów ekspozycji na hałas, o wartościach $L_{EX,8h} < 85$ dB, efekt ototoksyczny rozpuszczalników wydaje się dominujący. Synergistyczne działanie tych rozpuszczalników wykazano w szczególności w odniesieniu do łącznego narażenia na hałas i styren oraz hałas i toluen [1,18]. Natomiast dla wysokich poziomów dźwięku (>85 dB) dominujący wpływ na rozwój uszkodzenia słuchu ma hałas – efekt działania rozpuszczalników organicznych wydaje się niewielki [13,39].

Wykazano również, że w przypadku łącznego narażenia uszkodzenia słuchu są większe dla hałasu impulsowego niż hałasu ciągłego [40]. Podobnie jak w przypadku narażeń izolowanych ryzyko uszkodzenia słuchu zależy od liczby i siły ototoksyczności składników mieszaniny [24]. Szczególnie wysokie ryzyko uszkodzenia słuchu obserwowano dla łącznych narażeń na hałas, toluen i styren oraz hałas, toluen i n-heksan [33].

Badanie lekarskie

Celem badania lekarskiego pracownika w przypadku jego narażenia na hałas i rozpuszczalniki organiczne jest wykrycie uszkodzenia słuchu w jak najwcześniejszym stadium oraz wydanie i egzekwowanie od pracodawcy zaleceń profilaktycznych.

Ocena narażenia na rozpuszczalniki organiczne

W pierwszej kolejności należy ocenić, czy pracownik jest narażony w miejscu pracy na substancje ototoksyczne. Rodzaje przemysłów, w których najczęściej występuje ekspozycja na rozpuszczalniki organiczne (i hałas), wyszczególniono w tabeli 2.

Jeżeli w literaturze brakuje informacji na temat ototoksyczności danej substancji chemicznej, pomocne mogą być dane dotyczące jej ogólnej toksyczności, zwłaszcza nefrotoksyczności i neurotoksyczności – znajdują się one w karcie charakterystyki danej substancji. Większość związków chemicznych, o których wiadomo, że mogą uszkadzać narząd słuchu, ma również działanie uszkadzające nerki i układ nerwowy. Pomocna ponadto może być informacja o wytwarzaniu przez dany związek reaktywnych form tlenu i azotu, odpowiedzialnych za rozwój stresu oksydacyjnego w tkankach – głównego mechanizmu powstawania uszkodzeń w uchu wewnętrznym. Zgodnie z rekomen-

Tabela 2. Narażenie na rozpuszczalniki organiczne w zależności od rodzaju działalności przemysłowej
Table 2. Exposure to organic solvents by section of industry

Działalność przemysłowa Section of industry	Rozpuszczalniki organiczne Organic solvents
Produkcja sprzętu transportowego i pojazdów mechanicznych / / Production of transport equipment and motor vehicles	toluen, izomery ksylenu, etylobenzen, benzen, octan etylu, styren / / toluene, isomers of xylene, ethylbenzene, benzene, ethyl acetate, styrene
Garbowanie i wyprawianie skór, produkcja toreb, obuwia / / Tanning and dressing of leather, production of bags, footwear	toluen, benzen, n-heksan, octan etylu, MEK, benzyna ekstrakcyjna / / toluene, benzene, n-hexane, ethyl acetate, MEK, extraction gasoline
Przemysł farb i lakierów / Paint and lacquers industry	izomery ksylenu, toluen, etylobenzen, benzen, octan etylu, MEK, inne / / isomers of xylene, toluene, ethylbenzene, benzene, ethyl acetate, MEK, others
Produkcja mebli i produktów powiązanych / Production of furniture and related products	styren, toluen, izomery ksylenu, benzen, n-heksan / styrene, toluene, isomers of xylene, benzene, n-hexane
Produkcja metalowych wyrobów gotowych / Production of metal finished goods	toluen, benzen / toluene, benzene
Produkcja maszyn i innych urządzeń / Production of machines and devices	różne / different
Produkcja drewna i artykułów ze słomy / Production of woods and straw articles	toluen, benzen / toluene, benzene
Produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych / Production of rubber and plastic products	styren, toluen, n-heksan / styrene, toluene, n-hexane
Przemysł drukarski / Printing industry	toluen / toluene
Przemysł tworzyw sztucznych wzmocnianych włóknem szklanym / / Glass fiber-reinforced plastics industry	styren / styrene
Przemysł lotniczy / Aviation industry	paliwa samolotów odrzutowych (JP-8) / jet fuel (JP-8)
Przemysł petrochemiczny; sprzedaż, obsługa i naprawa pojazdów mechanicznych / Petrochemical industry, sales, service and repair of motor vehicles	paliwa / fuel

MEK – methyl ethyl keton / methyl ethyl ketone.

dacjami OSHA badaniom słuchu powinni podlegać wszyscy pracownicy narażeni na substancje chemiczne o wykazanym działaniu neurotoksycznym, w szczególności osoby ekspozowane na rozpuszczalniki organiczne [41].

Wywiad lekarski

Wywiad audiologiczny u osób narażonych na hałas i rozpuszczalniki organiczne powinien być ukierunkowany na zaburzenia słuchu i występowanie szumów usznych. Dodatkowo, z racji możliwości uszkodzenia przez rozpuszczalniki organiczne układu przedsionkowego, należy rozszerzyć go o pytania dotyczące zawrotów głowy i zaburzeń równowagi [14].

Rozpuszczalniki organiczne mogą uszkadzać ośrodkową część drogi słuchowej (tj. jądra ślimakowe, drogi i ośrodki słuchowe podkorowe oraz korę słuchową), dlatego pogarsza się nie tylko czułość słuchu (próg słuchu), ale również rozumienie mowy, zwłaszcza w hałaśliwym otoczeniu, o co należy zapytać pacjenta w wywiadzie lekarskim. Pogarsza się również zdolność loka-

lizacji dźwięku. Zaburzenia dyskryminacji mowy mogą utrudniać pracę w hałaśliwym środowisku i zwiększać ryzyko wypadku w związku z niemożnością rozumienia współpracowników oraz wychwytywania dźwięków otoczenia i sygnałów alarmowych.

Badania słuchu

W literaturze przedmiotu panuje zgodne przekonanie, że diagnostyka uszkodzenia słuchu spowodowanego przez rozpuszczalniki organiczne powinna być prowadzona na podstawie szerokiego panelu badań oceniających zarówno obwodowe, jak i ośrodkowe drogi słuchowe [42]. Dla określenia miejsca uszkodzenia słuchu stosuje się audiometrię tonalną, audiometrię wysokoczęstotliwościową, otoemisję akustyczną, audiometrię impedancyjną, słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, audiometrię mowy w ciszy, audiometrię mowy zniekształconej i mowy w szumie oraz testy oceniające wyższe funkcje słuchowe, np. dychotyczny test cyfrowy (*dichotic digit*). Poniżej przedstawiono podstawowe informacje o najważniejszych z wymienionych badań

słuchu oraz nieprawidłowościach w ich wynikach, które można wiązać z narażeniem na rozpuszczalniki organiczne.

Badanie szeptem

Badanie szeptem to najprostsze behawioralne badanie słuchu. Polega na ocenie rozumienia przez badanego słów wymawianych szeptem przez badającego. Badana osoba stoi bokiem do badającego, ucho przeciwne (niebadane) zagłuszane jest rytmicznym uciskaniem skrawka małżowiny. Oceniane jest rozumienie słów z zakresu wysokich częstotliwości (liczebniki) i niskich częstotliwości (np. lampa, podłoga, mama). Osoba z prawidłowym słuchem słyszy szept z odległości 6 m. Upośledzenie słuchu występuje, gdy szept jest słyszany z odległości <4 m.

W literaturze brakuje oceny wyników badań słuchu za pomocą szeptu u osób narażonych na rozpuszczalniki organiczne. Ponieważ substancje te powodują uszkodzenie słuchu głównie w wysokich częstotliwościach, należy założyć, że w pierwszej kolejności pogorszeniu ulegnie rozumienie słów z tego zakresu częstotliwościowego (liczebników).

Audiometria tonalna

Audiometria tonalna to podstawowe instrumentalne behawioralne badanie słuchu. Ucho badanej osoby jest stymulowane tonami czystymi na drodze przewodnictwa powietrznego (w zakresie częstotliwości 125–8000 Hz) oraz na drodze przewodnictwa kostnego (w zakresie częstotliwości 250–4000 Hz). Badanie można poszerzyć o częstotliwości >8000 Hz (tzw. audiometria wysokoczęstotliwościowa). Badany sygnalizuje najmniejsze (progowe) natężenie dźwięku, przy którym staje się on słyszalny. Progi słuchu w każdej z badanych częstotliwości zaznaczane są na wykresie zwanym audiogramem tonalnym.

W literaturze dotyczącej oddziaływania rozpuszczalników na narząd słuchu największy efekt ototoksyczny dla mieszanin rozpuszczalników wykazywano w wysokich częstotliwościach audiometrycznych (4–8 kHz) [9]; dla ekspozycji na styren efekt ten był widoczny w szerokim zakresie częstotliwości (1–8 kHz) [33,43]. W przypadku narażenia na mieszaniny rozpuszczalników i hałas największa różnica w progach słuchu, na niekorzyść ekspozycji łącznej, dotyczyła częstotliwości 8000 Hz, a głębokość trwałego przesunięcia progu słuchu w tej częstotliwości była skorelowana ze wskaźnikiem całozyciowej ekspozycji na rozpuszczalniki [13].

Otoemisje akustyczne

Otoemisje akustyczne to sygnały dźwiękowe emitowane z ucha wewnętrznego i rejestrowane za pomocą mikrofonu w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Stanowią wyznacznik prawidłowej funkcji komórek słuchowych zewnętrznych (ich kurczliwości), są zatem czułym narzędziem monitorowania uszkodzenia słuchu przez hałas. Mogą mieć również znaczenie w ocenie ototoksyczności rozpuszczalników organicznych. W praktyce klinicznej zastosowanie mają otoemisje wywołane bodźcem dźwiękowym, do których należą otoemisja akustyczna wywołana trzaskiem (*transient-evoked otoacoustic emission* – TEOAE) oraz otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych (*distortion-product otoacoustic emission* – DPOAE), wywołana parami tonów czystych o różnych, ale bliskich sobie, częstotliwościach, pozostających zwykle w zależności $f_2/f_1 = 1,22$.

W literaturze dotyczącej oddziaływania rozpuszczalników na narząd słuchu – na podstawie badań na zwierzętach – wykazano, że zarówno styren, jak i toluen w wysokich stężeniach uszkadzają komórki słuchowe zewnętrzne i powodują zanik DPOAE [10,44]. W badaniach DPOAE u osób narażonych zawodowo na styren również wykazano efekt ototoksyczny [45]. Największy skutek oddziaływania hałasu na narząd słuchu jest widoczny dla częstotliwości 3–6 kHz – dla styrenu efekt ten wykazano jedynie dla najwyższych częstotliwości ocenianych standardowo w tym badaniu, tj. 5–6 kHz. Nie stwierdzono natomiast wpływu narażenia na ksylen na DPOAE u pracowników laboratoryjnych [46].

Słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu

Słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu (*auditory brainstem responses* – ABR) polegają na rejestracji za pomocą elektrod umieszczonych na wyrostkach sutkowatych i czole niskonapięciowych fal w odpowiedzi na bodziec słuchowy. Klasycznie stosowanym bodźcem jest szerokopasmowy trzask. Potencjały są graficznym zapisem pobudzenia elektrycznego rozprzestrzeniającego się na drodze słuchowej od narządu Cortiego do pnia mózgu i struktur podkorowych. W skład zapisu wchodzi 5 fal generowanych, odpowiednio, w:

- I – nerwie słuchowym,
- II – jądrze ślimakowym pnia mózgu,
- III – zespole oliwki górnej i ciała trapezoidalnego,
- IV i V często występują w 1 kompleksie i pochodzą z włókien i jąder słuchowych wstęgi bocznej (IV) oraz ze wzgórnika dolnego śródmózgowia (V).

Prawidłowość odpowiedzi jest określana na podstawie obecności poszczególnych fal oraz ich amplitud i la-

tencji. Próg słuchu wyznacza się na poziomie najniższego natężenia bodźca słuchowego, przy którym w zapisie ABR widoczna jest fala V [47].

W uszkodzeniach ślimakowych dotyczących wysokich częstotliwości obserwowane jest wydłużenie czasu utajenia (latencji) fali I, zwłaszcza dla okołoprogowych natężeń bodźca. Przy prawidłowej latencji fali V może to powodować skrócenie odstępu między falami I i V. Zapisy tego typu stwierdzano w przypadkach narażenia na styren (i hałas) [45]. W pozaślismakowych uszkodzeniach słuchu dochodzi natomiast do wydłużenia latencji fali V, a co za tym idzie, odstępu I–V. Zapisy ABR wskazujące na uszkodzenia pozaślismakowe słuchu stwierdzono m.in. u pracowników fabryki farb i lakierów narażonych na niskie stężenia mieszanin rozpuszczalników organicznych zawierających toluen, ksylen i n-heksan oraz hałas <85 dB [48]. U pracowników narażonych na paliwa lotnicze wyniki ABR wskazywały na uszkodzenia zarówno ślimakowe [49], jak i pozaślismakowe słuchu [50].

Audiometria impedancyjna

Badanie pozwala na obiektywną, niezależną od współpracy badanej osoby ocenę stanu ucha środkowego i drożności trąbki słuchowej. Badane są – za pomocą stymulacji dźwiękowej ipsilateralnej i kontralateralnej – ruchomość błony bębenkowej (tympnogram), impedancja akustyczna ucha środkowego oraz odruchy mięśnia strzemiączkowego.

W badaniach na zwierzętach wykazano, że toluen może zaburzać odruch strzemiączkowy, który ma ochronne działanie w przypadku ekspozycji na hałas o wysokich natężeniach [27]. Może to tłumaczyć synergistyczny efekt działania hałasu i toluenu na narząd słuchu.

U pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne audiometria impedancyjna może być dodatkowym testem pomocnym w diagnostyce różnicowej niedosłuchów odbiorczych. W odbiorczych uszkodzeniach słuchu o typie ślimakowym różnica między progiem odruchu strzemiączkowego a progiem słyszenia w audiometrii tonalnej wynosi <60 dB (tzw. objaw Metza). W odbiorczych uszkodzeniach słuchu o typie pozaślismakowym dodatkowo wypada natomiast test zanikania odruchu strzemiączkowego (*decay test*).

Audiometria mowy (słowna) w ciszy

Rozumienie mowy jest podstawową w aspekcie komunikowania się funkcją narządu słuchu. Proces ten angażuje zarówno obwodową, jak i ośrodkową część narządu słuchu. Podstawowym testem audiometrycznym,

ocenającym sprawność komunikowania się, jest badanie audiometrii mowy (słownej) w ciszy. Materiał słowny stanowią specjalnie przygotowane listy sylab, liczb, wyrazów lub zdań, zrównoważone pod względem fonematycznym, semantycznym i strukturalnym. W praktyce u dorosłych najczęściej stosowany jest test NLA-93, obejmujący 10 zrównoważonych list, z których każda zawiera 24 jednosylabowe rzeczowniki [47].

Podstawowymi parametrami ocenianymi w audiometrii mowy są:

- próg wykrywania mowy, czyli najmniejsze natężenie, przy którym badany spostrzega sygnał mowy, nie rozumiejąc jeszcze jej treści;
- próg rozumienia mowy (*speech reception threshold – SRT*), czyli najmniejsze natężenie dźwięku, przy którym badany identyfikuje (powtarza) 50% składowych testu;
- próg rozróżniania (dyskryminacji), tj. najmniejsze natężenie, przy którym badany identyfikuje 100% składowych testu.

Wyniki badania audiometrii słownej wraz z ich porównaniem z audiometrią tonalną są pomocne w różnicowaniu typu uszkodzenia słuchu. W niedosłuchach pozaślismakowych, obserwowanych w przypadku narażenia na niektóre rozpuszczalniki organiczne, może dochodzić do tzw. słyszenia rozszczepionego (*schisacusis*), charakteryzującego się pogorszeniem rozumienia mowy przy niewielkim ubytku w audiometrii tonalnej. Klasyczne badanie audiometrii mowy wykonywane w ciszy jest jednak mało przydatne do wykrywania ośrodkowych zaburzeń przetwarzania słuchowego, do których może dojść również w wyniku oddziaływania rozpuszczalników organicznych (np. CS₂). W takich przypadkach konieczne jest zastosowanie specjalnych testów mowy utrudnionej, do których zalicza się m.in. audiometrię mowy w szumie.

Audiometria mowy w szumie

Testy rozumienia mowy w szumie są szeroko stosowane dla celów medycyny pracy w krajach Ameryki Północnej [51]. W Polsce w Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi, we współpracy z House Ear Institute (Los Angeles, USA), został opracowany oraz podany walidacji dla polskiego materiału słownego *Test rozumienia w szumie (Hearing in Noise Test – HINT)* [52]. Polska wersja HINT zawiera dziesięć 20-zdaniowych list zrównoważonych pod względem ich zrozumiałości. Badanie polega na prezentacji w słuchawkach losowo dobranych list na tle białego szumu o natężeniu 65 dB SPL w 3 akustycznych warunkach:

- sygnał z przodu / szum z przodu (HINT_Front),
- sygnał z przodu / szum do ucha prawego (HINT_Right),
- sygnał z przodu / szum do ucha lewego (HINT_Left).

Na podstawie pomiarów obliczany jest wynik zbiorczy, wskazujący wartość parametru stosunku sygnału do szumu (*signal to noise ratio* – SNR), dla jakiej badana osoba prawidłowo powtarza 50% prezentowanego materiału słownego. Wynik zbiorczy jest obliczany według wzoru:

$$[(2 \times \text{HINT_Front} + \text{HINT_L} + \text{HINT_R})] / 4 \quad (1)$$

Wartość graniczna słuchu prawidłowego i nieprawidłowego dla polskiej wersji testu, wyznaczona na podstawie średniej i 1 odchylenia standardowego, wynosi –11,05.

W populacji pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne, w tym styren i ksylen, wykazano dużą przydatność audiometrii mowy w szumie w diagnostyce zaburzeń ośrodkowych słuchu [42,43]. Test ten jest rekomendowany jako narzędzie monitorowania słuchu w przypadku narażenia na substancje chemiczne.

Dychotyczny test cyfrowy

Dychotyczny test cyfrowy jest jednym z podstawowych testów oceny ośrodkowych procesów przetwarzania słuchowego (*central auditory processing* – CAP). Polega on na jednoczesnym podawaniu do obu uszu par cyfr na poziomie głośności 50 dB powyżej progu słyszenia dla 1000 Hz. Badana osoba jest proszona o powtórzenie wszystkich 4 usłyszanych cyfr w obu uszach. Łącznie do 1 ucha podawanych jest 40 par cyfr. Wynik podaje się jako procent zidentyfikowanych cyfr.

W populacji pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne, w tym styren i mieszaninę ksyle-nów, wykazano dużą przydatność tego testu w diagnostyce ośrodkowych zaburzeń słuchu [42,53].

Zalecenia profilaktyczne – algorytm postępowania

Aktualnie Dyrektywa 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej [4] wraz z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 2005 r. [5] wyznaczają w środowisku pracy 3 progi hałasu, po których przekroczeniu pracodawca jest zobowiązany podejmować odpowiednie czynności mające na celu minimalizowanie ryzyka uszkodzenia słuchu (tabela 3).

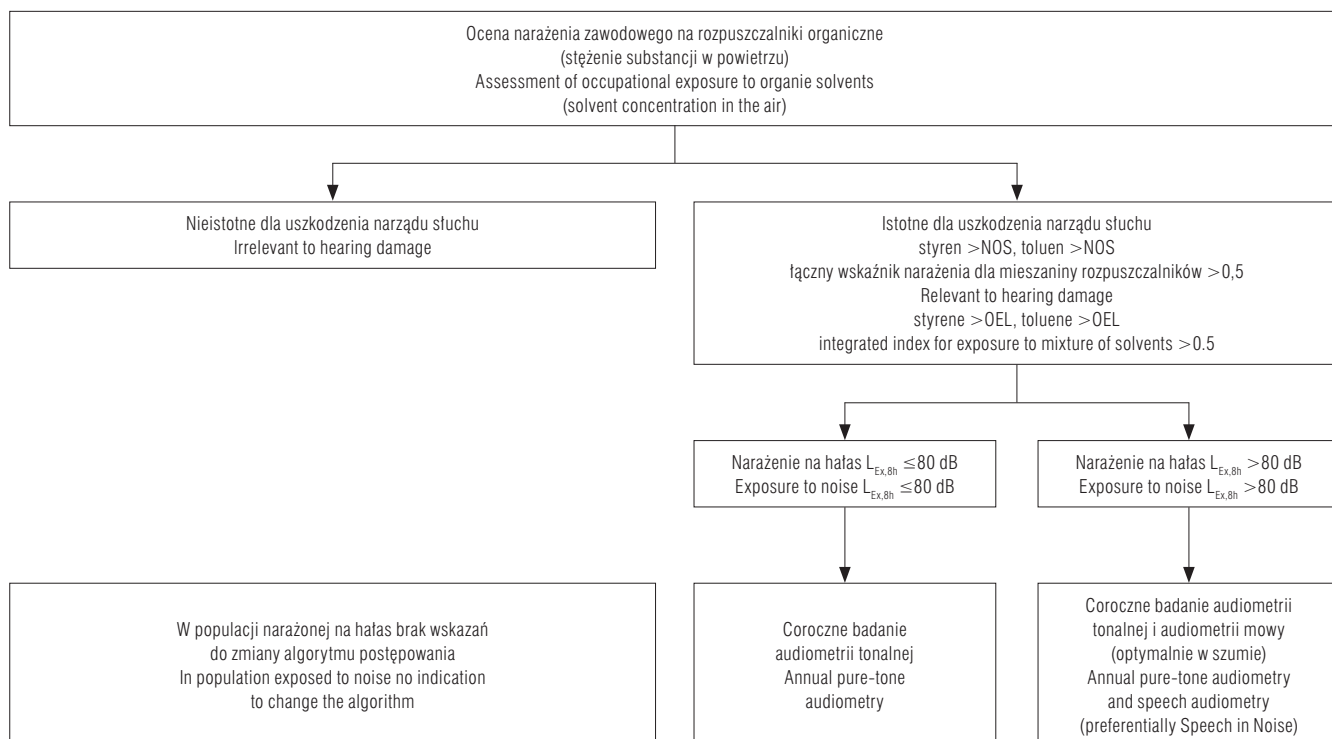
W przypadku ekspozycji na hałas o poziomie przekraczającym górny próg działania ($L_{\text{EX,8h}} = 85 \text{ dB}$), który jednocześnie odpowiada w Polsce wartości NDN (najwyższego dopuszczalnego natężenia) dla hałasu, pracodawca ma obowiązek zapewnienia pracownikowi opieki lekarskiej, w tym przeprowadzania okresowych badań audiometrycznych. Zgodnie z rozporządzeniem ministra zdrowia w pierwszych 3 latach narażenia badania audiometrii tonalnej wykonuje się co rok, a w kolejnych latach ekspozycji – co 3 lata [54]. Do badań profilaktycznych słuchu mają prawo również osoby narażone na niższe poziomy hałasu, po przekroczeniu dolnego progu działania określonego w Dyrektywie 2003/10/WE [4], tj. ($L_{\text{EX,8h}} = 80 \text{ dB}$), są one jednak wykonywane fakultatywnie.

Biorąc pod uwagę skutki negatywnego oddziaływania rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu w ekspozycjach izolowanych oraz ich łączne niekorzystne działanie z hałasem o relatywnie niskich natężeniach, wstępujących w warunkach narażenia zawodowego, obowiązkowymi okresowymi badaniami słuchu należałoby objąć całą populację pracowników narażonych na te związki chemiczne [41].

Tabela 3. Narażenie zawodowe na hałas: wartości progów działania hałasu i obowiązki pracodawcy po ich przekroczeniu [4,5,54]

Table 3. Occupational exposure to noise: action levels of noise and obligations of the employer after exceeding these values [4,5,54]

Wyznacznik ekspozycji Exposure level	Obowiązki pracodawcy Obligations of the employer
Dolny próg działania / Lower action level $L_{\text{EX,8h}} = 80 \text{ dB(A)}$ i/lub / and/or ppeak = 112 Pa (135 dB)	<ul style="list-style-type: none"> – udostępnić pracownikom indywidualne ochronniki słuchu / provide employees with individual hearing protectors – poinformować pracowników lub ich przedstawicieli o ryzyku związanym z ekspozycją na hałas / inform employees or their representatives about the risk associated with exposure to noise
Górny próg działania / Upper action level $L_{\text{EX,8h}} = 85 \text{ dB(A)}$ i/lub / and/or ppeak = 140 Pa (137 dB)	<ul style="list-style-type: none"> – przygotowanie i wdrożenie programu ograniczenia ekspozycji na hałas / prepare and implement a noise reduction program – zobligowanie pracowników do noszenia ochronników słuchu / oblige employees to wear hearing protectors – zapewnienie opieki lekarskiej, w tym badań audiometrycznych / provide medical care, including audiometric tests



Rycina 2. Algorytm badań słuchu u pracowników narażonych na hałas i rozpuszczalniki organiczne
Figure 2. Algorithm of audiometric testing in workers exposed to noise and organic solvents

Algorytm proponowanego postępowania profilaktycznego został opracowany na podstawie dostępnych wyników badań oraz rekomendacji agencji światowych [6,23,41]. W niniejszej pracy przedstawiono go na rycinie 2.

Pracownicy narażeni na rozpuszczalniki organiczne
 Okresowe badania audiometrii tonalnej powinny być wykonywane u wszystkich pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne, niezależnie od współwystępującego narażenia na hałas, w przypadku:

- ekspozycji izolowanej na rozpuszczalnik organiczny (np. styren lub toluen) przy przekroczeniu NDS dla tego rozpuszczalnika zgodnie z polską normą lub wartości określonej w przyszłych rekomendacjach innych agencji jako bezpieczna dla narządu słuchu,
- ekspozycji na mieszaninę rozpuszczalników organicznych – przy przekroczeniu wartości 0,5 dla łącznego wskaźnika narażenia wg standardów polskich lub wartości określonej w przyszłych rekomendacjach innych agencji jako bezpieczna dla narządu słuchu.

Pracownicy narażeni na hałas
 i rozpuszczalniki organiczne

Okresowe badania audiometrii tonalnej powinny być wykonywane u wszystkich pracowników narażonych na

hałas i rozpuszczalniki organiczne już przy przekroczeniu wartości dolnego progu działania dla hałasu, określonego w Dyrektywie 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej ($L_{EX,8h} = 80$ dB) [4]. Dodatkowo u wszystkich narażonych osób powinno być wykonywane badanie audiometrii mowy (optymalnie audiometrii mowy w szumie).

Częstość badań słuchu

Zgodnie z zaleceniami międzynarodowych agencji badania okresowe słuchu u pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne oraz rozpuszczalniki organiczne i hałas powinny być wykonywane corocznie [41]. W przypadku wykrycia przyspieszonej progresji uszkodzenia słuchu mogą być one przeprowadzane częściej, o czym decyduje lekarz profilaktyk.

Inne działania ograniczające wielkość narażenia na rozpuszczalniki organiczne

Zgodnie z zaleceniami międzynarodowych agencji w narażeniu na styren przeciwwskazane jest wykonywanie pracy w jednoczesnym narażeniu na hałas o poziomie przekraczającym wartość NDN ($L_{EX,8h} = 85$ dB).

Lekarz medycyny pracy ma prawo i powinność inicjowania innych działań ograniczających skutki słuchowe

we działania rozpuszczalników organicznych na narząd słuchu, w tym:

- informowania pracodawcy o możliwym działaniu ototoksycznym rozpuszczalników organicznych,
- przeglądania kart charakterystyki substancji chemicznych w aspekcie ich działania nefrotoksycznego i neurotoksycznego, a następnie podejmowania odpowiednich działań profilaktycznych w odniesieniu do profilaktyki uszkodzenia narządu słuchu,
- informowania pracownika o zwiększonym ryzyku uszkodzenia słuchu w związku z występowaniem łącznego narażenia na hałas i rozpuszczalniki organiczne oraz sposobach zmniejszenia tego zagrożenia,
- dostosowania zakresu badań profilaktycznych do wielkości narażenia i progresji objawów chorobowych, w tym zalecenia rozszerzonego panelu badań słuchu oraz dodatkowych konsultacji, np. neurologicznej i audiologicznej.

Istotnym elementem jest również samokształcenie lekarza.

PODSUMOWANIE

Wprowadzenie profilaktycznych badań słuchu u pracowników narażonych na rozpuszczalniki organiczne oraz rozszerzenie wskazań i zakresu badań słuchu u osób ekspozowanych łącznie na hałas i rozpuszczalniki są warunkiem skutecznego zapobiegania uszkodzeniom słuchu w tych grupach zawodowych.

PIŚMIENNICTWO

1. Vyskocil A., Truchon G., Leroux T., Lemay F., Gendron M., Gagnon F. i wsp.: A weight of evidence approach for the assessment of the ototoxic potential of industrial chemicals. *Toxicol. Ind. Health* 2012;28:796–819, <https://doi.org/10.1177/0748233711425067>
2. Hughes H., Hunting KL.: Evaluation of the effects of exposure to organic solvents and hazardous noise among US Air Force Reserve personnel. *Noise Health* 2013;15:379–387, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.121224>
3. Prasher D., Morata T., Campo P., Fechter L., Johnson AC., Lund SP. i wsp.: NoiseChem: An European Commission research project on the effects of exposure to noise and industrial chemicals on hearing and balance. *Noise Health* 2002;4:41–48
4. Dyrektywa 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (hałasem) (Siedemnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). DzU WE L042 z 2003 r.
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne. DzU z 2005 r. nr 157, poz. 1318
6. EU-OSHA European Agency for Safety and Health at Work [Internet]. Agency, 2020 [cytowany 20 stycznia 2020]. Combined exposure to noise and ototoxic substances. 2009:3-60. Adres: https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances
7. Śliwińska-Kowalska M., Jedlińska U.: Prolonged exposure to industrial noise: Cochlear pathology does not correlate with the degree of permanent threshold shift, but is related to duration of exposure. *J. Occup. Health* 1998;3(40):123–131, <https://doi.org/10.1539/joh.40.123>
8. Rabinowitz P.M., Galusha D., Slade M.D., Dixon-Ernst C., Sircar K.D., Dobie R.A.: Audiogram notches in noise-exposed workers. *Ear Hear.* 2006;27:742–750, <https://doi.org/10.1097/01.aud.0000240544.79254.bc>
9. Campo P., Lataye R., Loquet G., Bonnet P.: Styrene-induced hearing loss: a membrane insult. *Hear. Res.* 2001;154:170–180, [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(01\)00218-0](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(01)00218-0)
10. Johnson A.C., Canlon B.: Toluene exposure affects the functional activity of the outer hair cells. *Hear. Res.* 1994;72:189–196, [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(94\)90071-x](https://doi.org/10.1016/0378-5955(94)90071-x)
11. Chen G.D., Henderson D.: Cochlear injuries induced by the combined exposure to noise and styrene. *Hear. Res.* 2009;254:25–33, <https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.04.005>
12. Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytko E., Szymczak W., Kotyło P., Fiszer M., Wesołowski W. i wsp.: Ototoxic effects of occupational exposure to styrene and co-exposure to styrene and noise. *J. Occup. Environ. Med.* 2003;45(1):15–24, <https://doi.org/10.1097/00043764-200301000-00008>
13. Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytko E., Szymczak W., Kotyło P., Fiszer M., Wesołowski W. i wsp.: Effects of coexposure to noise and mixture of organic solvents on hearing in dockyard workers. *J. Occup. Environ. Med.* 2004;46(1):30–38, <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000105912.29242.5b>
14. Hsu P.C., Cheng P.W., Young Y.H.: Ototoxicity from organic solvents assessed by an inner ear test battery. *J. Vestib. Res.* 2015;25(3–4):177–183, <https://doi.org/10.3233/VES-150559>

15. Morata T.C., Johnson A.C., Nylen P., Svensson E.B., Cheng J., Krieg E.F. i wsp.: Audiometric findings in workers exposed to low levels of styrene and noise. *J. Occup. Environ. Med.* 2002;44:806–814, <https://doi.org/10.1097/00043764-200209000-00002>
16. Unlu I., Kesici G.G., Basturk A., Kos M., Yilmaz O.H.: A comparison of the effects of solvent and noise exposure on hearing, together and separately. *Noise Health* 2014;16: 410–415, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.144422>
17. Morata T.C., Engel T., Durão A., Costa T.R., Krieg E.F., Dunn D.E. i wsp.: Hearing loss from combined exposures among petroleum refinery workers. *Scand. Audiol.* 1997;26: 141–149, <https://doi.org/10.3109/01050399709074987>
18. Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytke E., Szymczak W., Kotyło P., Fiszer M., Dudarewicz A. i wsp.: Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents. *Scand. J. Work. Environ. Health* 2001;27:335–342, <https://doi.org/10.5271/sjweh.622>
19. Rabinowitz P.M., Galusha D., Slade M.D., Dixon-Ernst C., O'Neill A., Fiellin M. i wsp.: Organic solvent exposure and hearing loss in a cohort of aluminium workers. *Occup. Environ. Med.* 2008;65:230–235, <https://doi.org/10.1136/oem.2006.031047>
20. Metwally F.M., Aziz H.M., Mahdy-Abdallah H., ElGellil K.S., El-Tahlawy E.M.: Effect of combined occupational exposure to noise and organic solvents on hearing. *Toxicol. Ind. Health* 2012;28:901–907, <https://doi.org/10.1177/0748233711427051>
21. Morata T.C., Śliwińska-Kowalska M., Johnson A.C., Starck J., Pawlas K., Zamysłowska-Szmytke E. i wsp.: A multicenter study on the audiometric findings of styrene-exposed workers. *Int J Audiol.* 2011;50:652–660, <https://doi.org/10.3109/14992027.2011.588965>
22. Morioka I., Kuroda M., Miyashita K., Takeda S.: Evaluation of organic solvent ototoxicity by the upper limit of hearing. *Arch. Environ. Health* 1999;54:341–346, <https://doi.org/10.1080/00039899909602498>
23. Banton M.I., Bus J.S., Collins J.J., Delzell E., Gelbke H.P., Kester J.E., Moore M.M. i wsp.: Evaluation of potential health effects associated with occupational and environmental exposure to styrene. *J. Toxicol. Environ. Health B. Cri. Rev.* 2019;22(1–4):1–130, <https://doi.org/10.1080/10937404.2019.1633718>
24. Hormozi M., Ansari-Moghaddam A., Mirzaei R., Dehghan Haghighi J., Eftekharian E.: The risk of hearing loss associated with occupational exposure to organic solvents mixture with and without concurrent noise exposure: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2017;30(4):521–535, <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01024>
25. Morata T.C., Fiorini A.C., Fischer F.M., Colacioppo S., Wallingford K.M., Krieg E.F. i wsp.: Toluene-induced hearing loss among rotogravure printing workers. *Scand. J. Work. Environ. Health* 1997;23:289–298, <https://doi.org/10.5271/sjweh.222>
26. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU z 2018 r., poz. 1286*
27. Campo P., Morata T.C., Hong O.: Chemical exposure and hearing loss. *Dis. Mon.* 2013;59:119–138, <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2013.01.003>
28. Morata T.C., Dunn D.E., Kretschmer L.W., Lemasters G.K., Keith R.W.: Effects of occupational exposure to organic solvents and noise on hearing. *Scand. J. Work. Environ. Health* 1993;19:245–254, <https://doi.org/10.5271/sjweh.1477>
29. Morata T.C., Dunn D.E., Sieber W.K.: Occupational exposure to noise and ototoxic organic solvents. *Arch. Environ. Health* 1994;49:359–365, <https://doi.org/10.1080/00039896.1994.9954988>
30. Kim J., Park H., Ha E., Jung T., Paik N., Yang S.: Combined effects of noise and mixed solvents exposure on the hearing function among workers in the aviation industry. *Ind. Health* 2005;43:567–573, <https://doi.org/10.2486/in-dhealth.43.567>
31. Johnson A.C., Morata T.C.: Occupational exposure to chemicals and hearing impairment. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals. Nordic Expert Group. Gothenburg. *Arbete och Hälsa*. 2010;44(4):1–177
32. Śliwińska-Kowalska M., Prasher D., Rodrigues C.A., Zamysłowska-Szmytke E., Campo P., Henderson D. i wsp.: Ototoxicity of organic solvents – from scientific evidence to health policy. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2007;20: 215–222, <https://doi.org/10.2478/v10001-007-0021-5>
33. Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytke E., Szymczak W., Kotyło P., Fiszer M., Wesołowski W. i wsp.: Exacerbation of noise-induced hearing loss by co-exposure to workplace chemicals. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2005;19:547–553, <https://doi.org/10.1016/j.etap.2004.12.018>
34. Lataye R., Campo P.: Combined effects of a simultaneous exposure to noise and toluene on hearing function. *Neurotoxicol. Teratol.* 1997;19:373–382, [https://doi.org/10.1016/S0892-0362\(97\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0892-0362(97)00049-4)
35. Lataye R., Campo P., Loquet G., Morel G.: Combined effects of noise and styrene on hearing: comparison between active and sedentary rats. *Noise Health* 2005;7:49–64, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.31633>

36. Mäkitie A.A., Pirvola U., Pyykkö I., Sakakibara H., Riihimäki V., Ylikoski J.: The ototoxic interaction of styrene and noise. *Hear. Res.* 2003;179:9–20, [https://doi.org/10.1016/S0378-5955\(03\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(03)00066-2)
37. Cappaert N.L., Klis S.F., Muijser H., Kulig B.M., Smorenburg G.F.: Simultaneous exposure to ethyl benzene and noise: synergistic effects on outer hair cells. *Hear. Res.* 2001;162:67–79, [https://doi.org/10.1016/S0378-5955\(01\)00373-2](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(01)00373-2)
38. Vyskocil A., Leroux T., Truchon G., Lemay F., Gagnon F., Gendron M. i wsp.: Ototoxicity of trichloroethylene in concentrations relevant for the working environment. *Hum. Exp. Toxicol.* 2008;27:195–200, <https://doi.org/10.1177/0960327108090267>
39. Sass-Kortsak A.M., Corey P.N., Robertson J.M.: An investigation of the association between exposure to styrene and hearing loss. *Ann. Epidemiol.* 1995;5(1):15–24, [https://doi.org/10.1016/1047-2797\(94\)00036-s](https://doi.org/10.1016/1047-2797(94)00036-s)
40. Lund S.P., Kristiansen G.B.: Hazards to hearing from combined exposure to toluene and noise in rats. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2008;21(1):47–57, <https://doi.org/10.2478/v10001-008-0008-x>
41. Occupational Safety and Health Administration [Internet]. Administration, 2020 [cytowany 20 stycznia 2020]. Preventing Hearing Loss Caused by Chemical (Ototoxicity) and Noise Exposure. Adres: <https://www.osha.gov/dts/shib/shib030818.html>
42. Fuente A., Slade M.D., Taylor T., Morata T.C., Keith R.W., Sparer J. i wsp.: Peripheral and central auditory dysfunction induced by occupational exposure to organic solvents. *J. Occup. Environ. Med.* 2009; 51: 1202–1211, <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181bae17c>
43. Johnson A.C., Morata T.C., Lindblad A.C., Nylén P.R., Svensson E.B., Krieg E. i wsp.: Audiological findings in workers exposed to styrene alone or in concert with noise. *Noise Health* 2006;8:45–57, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.32467>
44. Pouyatos B., Campo P., Lataye R.: Use of DPOAEs for assessing hearing loss caused by styrene in the rat. *Hear Res.* 2002;165:156–164, [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00298-8](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00298-8)
45. Śliwińska-Kowalska M., Fuente A., Zamysłowska-Szmytke E.: Cochlear dysfunction is associated with styrene exposure in humans. *PLoS One* 2020;15(1):e0227978, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227978>
46. Fuente A., McPherson B., Cardemil F.: Xylene-induced auditory dysfunction in humans. *Ear Hear.* 2013;34 (5):651–660, <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31828d27d7>
47. Śliwińska-Kowalska M. [red.]: *Audiologia Kliniczna. Mediton*, Łódź 2005
48. Juárez-Pérez C.A., Torres_Valenzuela A., Haro-García L.C., Boria-Aburto V.H., Aguilar-Madrid G.: Ototoxicity effects of low exposure to solvent mixture among paint manufacturing workers. *Int. J. Audiol.* 2014;53(6):370–376, <https://doi.org/10.3109/14992027.2014.888597>
49. Prasher D., Al-Hajjaj H., Aylott S., Aksentijevic A.: Effect of exposure to a mixture of solvents and noise on hearing and balance in aircraft maintenance workers. *Noise Health* 2005;7:31–39, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.31876>
50. Fuente A., Hickson L., Morata T.C., Williams W., Khan A., Fuentes-Lopez E.: Jet fuel exposure and auditory outcomes in Australian air force personnel. *BMC Public Health* 2019;19(1):675, <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7038-0>
51. Soli S.D., Giguère C., Laroche C., Vaillancourt V., Dreschler W.A., Rhebergen K.S. i wsp.: Evidence-Based Occupational Hearing Screening I: Modeling the Effects of Real-World Noise Environments on the Likelihood of Effective Speech Communication. *Ear Hear.* 2018;39(3):436–448, <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000547>
52. Śliwińska-Kowalska M., Kotyło P., Soli S.: Opracowanie list zdaniowych testu rozumienia zdań w szumie dla języka polskiego. *Otarynolaryngologia* 2013;12(4): 176–182
53. Zamysłowska-Szmytke E., Śliwińska-Kowalska M.: Vestibular and balance findings in nonsymptomatic workers exposed to styrene and dichloromethane. *Int. J. Audiol.* 2011;50(11):815–822, <https://doi.org/10.3109/14992027.2011.599872>
54. Rozporządzenie MZiOS z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych dla celów przewidzianych w Kodeksie Pracy. DzU z 1996 r. nr 69, poz. 332 z późn. zm.