

Nie dawaj Chrom(VI) szans!

Rozpoznawać | Opanowywać | Zapobiegać

Długotęka, październik 2026

Pominięty składnik

Jak niepozorny tlenek metalu wywołuje ogólnoswiatową cezurę w ochronie pracy i środowiska

Streszczenie analizy

Wersja 1.10 · październik 2026

Markus Sommer, ekspert ds. chromianów, Die Chromatexperten · www.chromatexperten.de

Materiały izolacyjne wysokotemperaturowe zawierają tlenki zasadowe, przede wszystkim tlenek wapnia i tlenek sodu. Żaden z nich nie jest klasyfikowany jako rakotwórczy i żaden nie występuje w rozważaniach dotyczących chromu(VI). Powyżej około 300 °C reagują one z warstwą tlenku chromu gorących elementów ze stopu chromowego, tworząc chromian wapnia i chromian sodu. Powstają związki rakotwórcze, których nikt nie wyprodukował, nie zamówił ani nie zabudował.

Azbest nigdy nie był po prostu azbestem. W języku potocznym rozróżniano go według barw, a stoją za tym chryzotyl, amosyt, krokidolit i trzy dalsze minerały. Dla reżimu ochronnego miało to niewielkie znaczenie. Substancję kupowano, pochodzenie było znane, a wszystkie odmiany traktowano jednakowo.

W przypadku „Chrom(VI)” jest inaczej. Termin zbiorczy trafnie ujmuje zagrożenie, ponieważ europejska klasyfikacja traktuje związki chromu(VI) jako grupę. Zakrywa jednak przyczynę. Za każdym stwierdzonym wynikiem stoi sól, a przedrostek tej soli nazywa partnera reakcji: chromian ołowiu, chromian cynku, chromian strontu, chromian sodu, chromian wapnia. Kto znajduje chromian wapnia, widzi pochodzenie związku chromu(VI). Jeżeli mówi się jedynie o „Chrom(VI)”, informacja o procesie wywołującym pozostaje niewykorzystana, pytanie o pochodzenie nie zostaje postawione, a wapń pozostaje przeoczonym składnikiem (rozdział 3).

Kolejna różnica w porównaniu z azbestem dotyczy momentu zagrożenia. Włókno azbestowe było niebezpiecznym produktem już w stanie dostawy. Omawiane tutaj związki chromu(VI) (chromiany) powstają in situ, czyli w trakcie stosowania. Takie powstawanie przedstawiane jest często jako zanieczyszczenie albo jako nieunikniony skutek eksploatacji. W przypadku chromianu wapnia partnera reakcji można jednak nazwać. Jest on składnikiem drugiego produktu, izolacji cieplnej, która została wybrana i zabudowana. Materiał izolacyjny zawierający wapń, uszczelka zawierająca wapń albo pasta montażowa zawierająca wapń mogą na gorącym elemencie ze stopu chromowego doprowadzić do powstania chromianu wapnia. Materiał izolacyjny, uszczelka lub pasta montażowa bez tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych nie mogą tworzyć tych związków in situ, ponieważ brakuje partnera reakcji. Powstawanie jest zatem właściwością połączenia materiałów, a nie nieuniknionym skutkiem eksploatacji. Ocena ryzyka musi obejmować to połączenie materiałów, a ocenę możliwości substytucji zgodnie z § 7 ust. 3 niemieckiego rozporządzenia o substancjach niebezpiecznych oraz zgodnie z rozdziałami 4.1 i 4.2 niemieckiej TRGS 561 należy przeprowadzić z dostępnym materiałem zastępczym.

Ten skrót odtwarza treść pełnej analizy specjalistycznej i przy każdym punkcie podaje rozdział, w którym jest on udokumentowany. Jest wprowadzeniem do pełnego dokumentu i go nie zastępuje.

1. Droga powstawania

Reakcja wymaga czterech warunków, a wszystkie cztery są spełnione w izolowanej instalacji wysokotemperaturowej podczas normalnej eksploatacji. Po pierwsze źródło chromu, z reguły pasywna warstwa tlenku chromu stali zawierającej chrom, czyli dokładnie ta warstwa, która nadaje stali odporność na korozję. Po drugie tlenek zasadowy jako partner reakcji, w przewodzie tlenek wapnia, obok niego tlenki sodu, potasu i magnezu. Po trzecie tlen. Po czwarte podwyższona temperatura. Chromian sodu powstaje od około 200 °C, chromian wapnia od około 300 do 350 °C (rozdziały 9 i 12).

Partner reakcji nie pochodzi z dodatku, który można by pominąć. Pochodzi z krzemianu wapnia, wełny mineralnej i skalnej, tkaniny ze szkła E, wełn AES, mas ogniotrwałych, past montażowych lub pozostałości ze spalania. Tlenki zasadowe są konstytutywnymi składnikami stopu szklarskiego, z którego wyciągana jest większość włókien wysokotemperaturowych. Wraz ze stłuczką szklaną, kamieniem wapiennym i dolomitą dostają się one do receptury nieuchronnie i spełniają tam funkcję techniczną. Obniżają temperaturę topnienia i dopiero one czynią włókno wyciągalnym. Mniej tlenków zasadowych oznacza wyższą temperaturę topnienia, a tym samym inną technikę instalacji. Temat nie jest więc związany ani z produktem, ani z producentem; jest związany z klasą materiałów. Włókna bez znaczącej zawartości tlenków zasadowych istnieją przy tym od dziesięcioleci (rozdział 13).

Dla zrozumienia całego przebiegu decydująca jest różnica między stanem dostawy a stanem użytkowania. W stanie dostawy chromianu nie ma. Powstaje on w eksploatacji zgodnej z przeznaczeniem, na granicy faz między materiałem izolacyjnym a gorącym elementem, i powstaje tam w sposób ciągły, dopóki warunki są spełnione. Uwalniany jest nie w eksploatacji, lecz przy konserwacji, demontażu, czyszczeniu, remoncie i demontażu końcowym, i to jako pył. Pył opuszcza strefę pracy na narzędziach, odzieży, rękawicach i zdemontowanych częściach. Karta charakterystyki, która opisuje stan dostawy, jest więc formalnie prawidłowa i bez znaczenia dla oceny ryzyka czynności konserwacyjnej.

Reakcja nie jest również jednorazowa. Jest cykliczna. Jeżeli element zostanie wyczyszczony, a izolacja zawierająca wapń ponownie założona, po następnym rozruchu wszystkie cztery warunki są spełnione na nowo. Każdy cykl eksploatacyjny wytwarza nowy chromian. Wartości po 1000 i po 5000 godzinach z badania granicy faz opisują dokładnie tę akumulację.

2. Stan dowodów

Droga powstawania nie została odkryta na nowo, jest opisana w formie patentowej od 1939 roku. Udy prażył ferrochrom zawierający chrom z wapnem w powietrzu i w zastrzeżeniach od 22 do 26 objął ochroną wyraźnie mieszaniny chromitu wapnia i chromianu wapnia oraz chromian sodu. Reakcja nie była tam niepożądanym efektem ubocznym, lecz celem procesu. Kto podważa tę podstawę chemiczną, podważa udzielony patent na sposób, którego cały cel polega na tej reakcji (rozdziały 7 i 8).

Cztery prace eksperymentalne potwierdzają tę drogę na różnych poziomach i różnymi metodami. Paoletti wykazała w 2002 roku w Forschungszentrum Karlsruhe po godzinie w temperaturze 850 °C w powietrzu CaCrO_4 metodą rentgenograficzną, w atmosferze obojętnej natomiast wyłącznie trójwartościowy $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$. Tlen został tym samym eksperymentalnie wyodrębniony jako warunek konieczny. Verbinnen et al. osiągnęli w 2013 roku z NaOH po 60 minutach 83 procent wymywania Cr(VI) przy 500 °C i 89 procent przy 700 °C. Mao et al. pokazali w 2015 roku bezpośrednią reakcję Cr(III) z CaO w zakresie od 500 do 900 °C (rozdział 10).

Najbliższa zastosowaniu praca pochodzi od Sayano et al. z tego samego roku. Badany był nie proszkowy wsad w piecu, lecz bezpośredni kontakt stali zawierających chrom z handlowymi materiałami izolacyjnymi, czyli geometria rzeczywistej instalacji. Na izolacji z krzemianu wapnia dyfrakcja rentgenowska zidentyfikowała CaCrO_4 , na izolacji zawierającej sól Na_2CrO_4 . Po 1000 godzinach w temperaturze 873 K zmierzono 160 mg Cr(VI) na metr kwadratowy powierzchni kontaktu, po 5000 godzinach 940 mg/m². Warstwa zaporowa z Al_2O_3 o grubości jedynie 3 do 4 µm zahamowała dyfuzję chromu i niemal całkowicie zapobiegła powstawaniu. Ta warstwa zaporowa jest rzeczowym dowodem na to, że mechanizm jest zrozumiany. Kto potrafi celowo zahamować reakcję, zna jej drogę (rozdział 10).

Toshiba opisała ten sam przebieg już w 2010 i 2011 roku w dwóch zgłoszeniach patentowych, wraz z równaniem reakcji, i zaproponowała ceramiczną warstwę rozdzielającą oraz folię nikłową jako zapobieganie. Problematyka odniesiona do zastosowania była tym samym publicznie dostępna przed badaniem z 2015 roku, i to w formie, w jakiej przedsiębiorstwa przemysłowe dokumentują wiedzę, gdy uznają ją za istotną gospodarczo (rozdział 11).

Obok tego istnieje druga droga. Lotne związki chromu z gorącego źródła mogą osadzać się na chłodniejszych włóknach. Ten transport w fazie gazowej nie zastępuje reakcji na granicy faz; oba zjawiska mogą wystąpić w tej samej instalacji i oba prowadzą do chromianu na izolacji (rozdział 14).

3. Co przemysł wiedział i jak to sformułował

Najwcześniejsze ostrzeżenie producenta pochodzi nie dopiero z ostatnich lat. Babcock & Wilcox wydało w kwietniu 1990 roku Plant Service Bulletin PSB-43 dla właścicieli i operatorów kotłów; wersja PSB-43A z marca 1994 roku rozszerzyła go wyraźnie na „plastics, insulation, and textiles”. Stoi tam, że związki chromu mogą w eksploatacji przechodzić w chrom sześciowartościowy i że pył powstający przy demontażu go przenosi. Rozszerzenie na materiały izolacyjne i wyroby włókiennicze wyprzedza tym samym o trzydzieści dwa lata pierwszy opis urzędowy w Niemczech (rozdział 16).

Rok	Źródło	Treść
1939	patent USA 2 176 687 (Udy)	Celowe wytwarzanie chromianu wapnia i chromianu sodu ze źródła chromu, wapna lub sody i tlenu
1990/1994	Babcock & Wilcox PSB-43 i PSB-43A	Przemiana w eksploatacji, przenoszenie pyłu przy demontażu, rozszerzenie na materiały izolacyjne i wyroby włókiennicze
2002	Paoletti, Forschungszentrum Karlsruhe	CaCrO_4 z Cr_2O_3 i CaO w zakresie od 500 do 850 °C, tlen jako warunek
2010/2011	Toshiba, dwa zgłoszenia patentowe	Granica faz między stalą nierdzewną a izolacją zawierającą wapń, podejścia zapobiegawcze
2015	Sayano et al.	Bezpośrednie wykrycie CaCrO_4 i Na_2CrO_4 na granicy faz
2019	Korespondencja producenta	Wapń z materiału izolacyjnego wskazany jako przyczyna, dotyczy wszystkich typów silników
2019	Energy UK, biuletyn branżowy	Trzy warunki powstawania nazwane trafnie, w tym samym dokumencie zalecany WD-40 do zbierania pozostałości
od 2020 do 2025	Komunikaty serwisowe i instrukcje techniczne	Wyniki na silnikach, pojazdach, turbinach i izolacjach, częściowo z wymienieniem chromianu wapnia
2024	Rozprawa doktorska Montana State University	Badania na wniosek europejskiego związku producentów ECFIA, częściowe finansowanie przez jego partnerów przemysłowych
2026	Niemiecka TRGS 561 i BG ETEM	Tlenki metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych z materiałów izolacyjnych i past montażowych jako czynnik wpływający

Wniosek wyciągnięty w 1990 roku był oczywisty i pozostał bez następstw. Produkt zawierał chrom, więc zrezygnowano z produktów zawierających chrom. Same receptury pozostały niezmienione. Karta charakterystyki dla Ceraform 130 w wersji z 23 grudnia 2020 roku nadal wykazuje tlenek chromu(III) w udziale do 3 procent. Żółty proszek występował dalej, a ponieważ chrom wydawał się usunięty z izolacji, jako wyjaśnienie pozostał gorący element. Nie rozpoznano, o jakie związki chodzi. Zasadowy partner reakcji nigdy nie został usunięty (rozdział 16).

Miedzy grupami producentów występuje przy tym wyraźna różnica w sposobie dokumentowania. Producent materiałów ogniotrwałych HarbisonWalker wyraźnie nazywa przemianę w swoich kartach charakterystyki. Chrom(III) może przekształcić się w użytkowaniu w chrom(VI). Zdanie to stoi jednak w sekcji 13, usuwanie, czyli w tej części karty, którą amerykański przepis OSHA 29 CFR 1910.1200 załącznik D wskazuje jako niewiążącą. Ta sama informacja ma w sekcji 2, zagrożenia, inny skutek prawny niż w sekcji 13 (rozdział 16).

U producentów włókien takiej wypowiedzi brakuje całkowicie. W kartach charakterystyki badanych wełn wysokotemperaturowych nie ma wiersza dotyczącego wapnia, mimo że tlenek wapnia jest zawarty w definicji substancji wełny glinokrzemianowej pod numerem CAS 142844-00-6 i zgodnie z dokumentem EIGA 207 jest tam dopuszczalny w udziale do 18 procent. Wełnę z krzemianów metali ziem alkalicznych producenci prowadzą pod numerem CAS 436083-99-7; jej definicja substancji wymienia tlenek wapnia i tlenek magnezu w udziale od 18 do 43 procent. Kto czyta kartę charakterystyki, nie dowiaduje się, że trzyma w ręku partnera reakcji. Obok siebie stoją tym samym dwa przedstawienia: jedno, które zna przemianę i wpisuje ją do niewiążącej części, i drugie, które partnera reakcji nie wykazuje (rozdział 16).

4. Mity, pojedynczo i z kontradikcją

Temat nie jest w pierwszym rzędzie podważany, jest błędnie klasyfikowany. W siedmiu latach pracy w terenie te same założenia były wielokrotnie przedstawiane jako uzasadnienie. Każde z nich jest sprawdzalne i żadne nie wytrzymuje sprawdzenia.

Założenie	Ustalenie
„Nie stosujemy chromu(VI), więc nas to nie dotyczy.”	Substancja nie jest stosowana, lecz powstaje we własnym zakładzie. Ocena ryzyka wiąże się z występowaniem, a nie z zakupem.
„Chrom(VI) to kwas chromowy i dichromian, a nie to tutaj.”	Chromian wapnia i chromian sodu są związkami chromu(VI) i są klasyfikowane jako rakotwórcze. Chromian wapnia jest w badaniu na zwierzętach najsilniej działającym z porównywanych chromianów.
„Materiał izolacyjny jest wolny od chromu, więc nieszkodliwy.”	Chrom pochodzi ze stali. Wolny od chromu oznacza tylko, że brakuje drugiego składnika; pierwszy dostarcza sama instalacja.
„Karta charakterystyki niczego nie wykazuje.”	Karta charakterystyki opisuje stan dostawy. Związek powstaje dopiero w użytkowaniu.
„Tlenek wapnia jest nieszkodliwy, nie jest klasyfikowany jako rakotwórczy.”	Zharmonizowana klasyfikacja obejmuje Skin Irrit. 2 (H315), Eye Dam. 1 (H318) i STOT SE 3 (H335), kategorii rakotwórczości nie ma. Właśnie dlatego przechodzi on przez każde sito rozważań o chromie(VI), mimo że jest tam partnerem reakcji.
„Wolne od azbestu jest bezpieczne.”	Zastąpienie azbestu usunęło włókno, nie system materiałowy. Tlenki zasadowe pozostały w recepturze.
„Nie widać niczego żółtego.”	Widoczny żółty osad jest przypadkiem skrajnym, nie progiem wykrywalności. Ilości istotne dla narażenia są niewidoczne.
„Test szybki był negatywny.”	W badaniu terenowym na silnikach wysokoprężnych i okrętowych analiza laboratoryjna wykazała na turbosprężarce 869 ng Cr(VI), podczas gdy kolorymetryczny test szybki w tym samym miejscu wypadł negatywnie.
„Laboratorium niczego nie znalazło.”	Bez podania odzysku na tej samej matrycy nie jest to wypowiedź o zawartości. W badaniu międzylaboratoryjnym odzysk wyniósł zależnie od metody 0,2, 6,5 i 35,3 procent.
„Przetarliśmy WD-40.”	Olej penetrujący nie redukuje chromu(VI). Chromian przechodzi do fazy apolarnej i zostaje wycofany z pomiaru; zmierzony odzysk 5,8 procent.
„Mechanizm nie jest definitywnie wyjaśniony.”	Otwarte są ilościowe warunki brzegowe, nie istnienie reakcji. Otwarta kinetyka nie jest powodem, aby pozostawiać udokumentowane powstawanie bez uwagi.
„Wyczyściliśmy, sprawa jest zamknięta.”	Czyszczenie działa dla pojedynczej czynności. Jeżeli izolacja zawierająca wapń pozostaje na gorącym elemencie, chromian powstaje ponownie przy następnym rozruchu.

5. Jak sformułowane są komunikaty ostrzegawcze

Istnienie ostrzeżeń nie jest tu istotą sprawy. Istotą jest ich konstrukcja. Pojawiają się one w przewodzie w miejskach i w sformułowaniach, które nie dają odbiorcy możliwości oceny własnej instalacji.

Po pierwsze umiejscowienie. Wypowiedź o przemianie stoi u HarbisonWalker w sekcji 13, a nie w sekcji 2. Zgodnie z załącznikiem D OSHA sekcje od 12 do 15 nie są wiążące. Informacja jest dostępna i jednocześnie znajduje się tam, gdzie prawnie działa najłabiej.

Po drugie pominięcie partnera reakcji. Karty charakterystyki wyrobów włóknistych nie podają składników tlenkowych pojedynczo. Tlenek wapnia tkwi w definicji substancji pod numerem CAS, którego żaden użytkownik nie sprawdza. Dossier rejestracyjne ECHA wymienia dla tej grupy substancji wyraźnie tlenek wapnia, magnezu, sodu i potasu, ale tam nie szuka nikt, kto zabudowuje matę izolacyjną (rozdziały 3 i 12).

Po trzecie powiązanie z widocznymi cechami. Środki ochronne są w instrukcjach serwisowych uzależniane od żółtych osadów i od pozytywnych testów szybkich. Oba te kryteria są niepewne i oba przesuwają działanie na moment, w którym narażenie jest już dostatecznie wysokie, aby zwrócić uwagę.

Po czwarte zalecenie nieskutecznego środka w tym samym dokumencie, który prawidłowo opisuje chemię. Biuletyn branżowy Energy UK z września 2019 roku trafnie nazywa trzy warunki powstawania, a kilka stron dalej zaleca wiązanie i zbieranie pozostałości chromu(VI) przy użyciu WD-40. Niezależna ekspertyza laboratoryjna z września 2026 roku podważa jakiegokolwiek działanie redukujące. Przy pełnej ekstrakcji nie wystąpiła zależność dawka-skutek, odzysk wyniósł 96,8 procent w roztworze, a pozorny spadek do 5,8 procent na cieple stałym okazał się artefaktem rozpuszczalności. Zalecenie wytwarza więc nie mniej chromianu, lecz mniejszy wynik pomiaru (rozdział 26).

Po piąte pochodzenie badań. Rozprawa doktorska Montana State University z 2024 roku powstała na wniosek europejskiego związku producentów ECFIA i była częściowo finansowana przez jego partnerów przemysłowych. To nie odbiera pracy wartości. To ją umiejscawia. Branża zleciła zbadanie tego pytania, a więc pytanie znała.

Po szóste moment. Pierwszy opis urzędowy w Niemczech znajduje się w niemieckiej TRGS 561 z 4 maja 2026 roku. Pierwsze ostrzeżenie producenta pochodzi z kwietnia 1990 roku. Między jednym a drugim leży trzydzieści sześć lat, w których konserwowano, demontowano, czyszczono i stosowano ponownie.

6. Dlaczego negatywny wynik pomiaru niczego nie dowodzi

Oznaczanie chromu(VI) jest analityką specyjalną. Mierzony jest nie pierwiastek, lecz stopień utlenienia, a ten może się w trakcie przygotowania próbki zmienić w obu kierunkach. Amerykańska metoda EPA 3060A wyraźnie nazywa oba kierunki błędu i wymaga próbek wzbogaconych z zakresem akceptacji odzysku od 75 do 125 procent. Ta informacja jest częścią wyniku, a nie informacją dodatkową (rozdział 17).

Dla termicznych materiałów izolacyjnych nie istnieje metoda znormalizowana. To nie jest błąd formalny, lecz rdzeń trudności. Matryca sama jest partnerem reakcji. Jest bogata w wapń, zasadowa i w stanie użytkowania przesycona sadzą, olejem i produktami korozji, czyli dokładnie tymi substancjami, które redukują chrom(VI). Przeniesione metody dają dlatego wyniki zaniżone, aż do wartości bliskich zeru. Badanie międzylaboratoryjne do niderlandzkiej NEN 5617 pokazuje rząd wielkości. W matrycy z 16 procentami cynku odzysk wyniósł zależnie od metody 0,2, 6,5 i 35,3 procent. Ten sam materiał, trzy metody, wyniki, które różnią się o więcej niż dwa rzędy wielkości.

Wynik analizy bez podania odzysku na tej samej matrycy nie jest zatem wypowiedzią o zawartości. To samo dotyczy w jeszcze większym stopniu testów szybkich. We francuskim badaniu terenowym na silnikach wysokoprężnych i okrętowych analityka laboratoryjna wykazała na turbosprężarce 869 ng Cr(VI), podczas gdy kolorymetryczny test szybki w tym samym miejscu wypadł ujemnie (rozdział 19).

Druga droga prowadzi do tego samego wyniku. Jeżeli powierzchnię przed pobraniem próbki potraktuje się olejem penetrującym, chromian przechodzi do fazy apolarnej i zostaje wyłączony z pomiaru. Dla WD-40 zmierzono odzysk 5,8 procent. Kto tak postępuje, a następnie zleca pomiar, otrzymuje wynik ujemny, który opisuje wyłącznie przygotowanie próbki (rozdział 17).

To samo badanie terenowe pokazuje zarazem, że pomiar powietrza nie odwzorowuje drogi dermalnej. Próbkę pobrano także z rąk pracowników: przed demontażem wartość leżała poniżej granicy oznaczalności 40 ng, po demontażu wynosiła 45,4 ng, a autorzy wyraźnie odnotowują zanieczyszczenie rąk mimo noszonych jednorazowych rękawic nitylowych. Noszono ponadto półmasksi FFP3 i kombinezon roboczy typu 5. W tym samym przebiegu wartości w powietrzu pozostały niskie, a wartości w moczu jedenastu badanych mechaników wynosiły średnio 0,26 µg na gram kreatyniny, a więc poniżej biologicznej wartości odniesienia 0,54. Słabym miejscem nie jest przy tym rękawica, lecz zakończenie rękawa i moment jej zdejmowania; w praktyce przejścia do kombinezonu i do obuwia są dlatego zaklejane (rozdział 31).

Wynika z tego rozkład ciężaru dowodu. Wynik dodatni dowodzi obciążenia. Wynik ujemny nie dowodzi niczego, dopóki nie podano odzysku na tej samej matrycy. Nie jest to wykładnia surowa, lecz konsekwencja metodyki, i jest to powód, dla którego niemiecka TRGS 561 nie wiąże środków ochronnych z pomiarem.

7. „Neutralizacja” i pytanie o powierzenie zadania

W praktyce coraz częściej mówi się o neutralizacji, dekontaminacji lub redukcji, a takie prace regularnie powierza się obecnemu personelowi konserwacyjnemu i sprzątającemu. To przypisanie jest najsłabszym punktem dzisiejszej praktyki, i to z trzech powodów naraz.

Po pierwsze pojęcie jest rzeczowo nieokreślone. Redukcja chromu(VI) do chromu(III) jest chemicznie możliwa, wymaga jednak odpowiedniego reduktora, odpowiedniego zakresu pH, wystarczającego czasu kontaktu i dowodu skuteczności. Warunki, które nazywa certyfikat jednostki badawczej, nie pojawiają się w instrukcjach roboczych, a dowodu skuteczności dla matrycy materiału izolacyjnego brakuje we wszystkich dostępnych dokumentach. To, co w praktyce nazywa się neutralizacją, to przeważnie przecieranie, odsysanie lub traktowanie środkiem, którego działanie nie jest wykazane. W przypadku oleju penetrującego wykazane jest przeciwieństwo.

Po drugie powodzenia nie da się przez personel sprawdzić. To, czy redukcja nastąpiła, można ustalić tylko analitycznie, i to z tym samym problemem matrycy co wyżej. Pracownik, który potraktował powierzchnię, nie ma możliwości ustalenia, czy usunął zagrożenie, czy tylko zmienił jego mierzalność. Środek, którego skuteczności wykonawca nie potrafi ocenić, wytwarza poczucie bezpieczeństwa bez bezpieczeństwa.

Po trzecie, i to jest rozstrzygające prawnie, kolejność środków jest przepisana. Niemieckie rozporządzenie o substancjach niebezpiecznych stanowi w § 7 ustęp 3, że przy czynnościach z substancjami rakotwórczymi „vorrangig eine Substitution durchzuführen”, czyli należy w pierwszej kolejności przeprowadzić substytucję. Ustęp 4 porządkuje dalsze środki w ustalonej kolejności: ukształtowanie procesów i instalacji, techniczne środki ochronne, środki organizacyjne, środki ochrony indywidualnej na końcu. Następnie traktowanie powstałego związku nie jest w tej kolejności ani substytucją, ani technicznym środkiem ochronnym; jest działaniem następczym.

Dochodzą do tego dwa obowiązki regularnie w praktyce pomijane. § 7 ustęp 7 wymaga „die Funktion und die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen regelmäßig, mindestens jedoch jedes dritte Jahr, zu überprüfen”, czyli sprawdzania działania i skuteczności technicznych środków ochronnych regularnie, lecz co najmniej co trzy lata. Ustęp 9 wymaga, aby tam, gdzie nie istnieją wartości graniczne, skuteczność środków sprawdzać odpowiednimi metodami. Dla chromianów powstałych in situ nie ma ani metody znormalizowanej dla tej matrycy, ani wartości granicznej właściwej dla tego związku. Kto prowadzi neutralizację jako środek ochronny, musi zatem móc wykazać jej skuteczność, a właśnie to przy dzisiejszym stanie analityki dla tej matrycy nie jest możliwe bez znacznego nakładu.

Jak wygląda praktyka, pokazują dostępne dokumenty. Instrukcja robocza „Instructie voorkomen blootstelling aan Chrom(VI)” firmy Vattenfall Generation NL, pierwsza wersja z 18 lutego 2019 roku, ostatnia aktualizacja z 29 kwietnia 2024 roku, opisuje drogę powstawania trafnie i przewiduje do obróbki spray przekształcający oraz samodzielnie przygotowany roztwór kwasu askorbinowego. Kontrola skuteczności opiera się w całości na kolorymetrycznym teście szybkim. Jeżeli wypadnie on ujemnie, zgodnie z brzmieniem instrukcji nie są wymagane żadne dalsze środki ani wyposażenie ochronne, narzędzia i używane maski pełnotwarzowe wracają do magazynu, a opryskane maty izolacyjne są ponownie zabudowywane. Partner reakcji wraca tym samym razem z materiałem na gorący element (rozdział 26).

Certyfikat, który jednostka badawcza SEEF B.V. sporządziła w sierpniu 2025 roku dla takiego środka, jest w swoim założeniu poprawny, ponieważ nie twierdzi więcej, niż zostało zbadane. Wiąże skuteczność z rozpuszczalnością związków w roztworze, nazywa starzenie się wyrobu, wymaga czasu oddziaływania co najmniej 15 minut na wystarczająco wychłodzonym podłożu oraz powtórzenia obróbki przy pozytywnym teście, a do kontroli stwierdza, że negatywny wynik wymazu nie jest miarodajny, a wyrób jest środkiem pomocniczym w ramach strategii bezpieczeństwa, a nie rozwiązaniem, które samodzielnie usuwa wszystkie ryzyka. Na slajdzie prezentacyjnym dostawcy z 6 listopada 2025 roku pojawiają się z tego cztery punkty reklamowe. Warunek rozpuszczalności, starzenie się, powtórzenie obróbki przy pozytywnym teście i zdanie o niemiarodajności negatywnego wyniku są tam nieobecne (rozdział 26).

Trzech dostawców i niemiecka branżowa instytucja ubezpieczenia wypadkowego formułują wobec produktu reakcji to samo stwierdzenie. Strona niemieckiej BG BAU mówi o niekrytycznych związkach chromu(III), niemieckojęzyczna strona produktowa Eco-Point o nieszkodliwym chromie-3, strona produktowa MATinspired o non-toxic chromium-3. Te same pytania i odpowiedzi MATinspired wyraźnie wykluczają całkowite usunięcie i wskazują do kontroli zestaw testowy tego samego dostawcy, który w instrukcji Vattenfall jest kryterium dopuszczenia. Wybór środków ochronnych producent przenosi na stosującego (rozdziały 26 i 27).

Instrukcja zakładowa tej samej niemieckiej branżowej instytucji ubezpieczenia wypadkowego, wydana zgodnie z § 14 niemieckiego rozporządzenia o substancjach niebezpiecznych, przewiduje dla tej samej czynności pełny reżim ochronny: wygrodzenie obszaru prac, metody niskopyłne, odciąg, odpylacz klasy pyłowej H, doprowadzenie świeżego powietrza, zaplecze czarno-białe, stałą ochronę dróg oddechowych P3 lub FFP3, jednorazowy kombinezon ochronny typu 5 oraz zakaz ponownego używania zdemontowanych wyrobów z wełny mineralnej. Na publicznie dostępnej stronie informacyjnej tej samej instytucji nie ma z tego katalogu żadnego punktu; występuje tam wyłącznie środek wiążący włókna redukujący chromiany, ze stwierdzeniem, że redukuje on chromian do niekrytycznych związków chromu(III) i przez to obniża obciążenie (rozdział 26).

Jak zorganizowana jest udokumentowana redukcja, pokazuje cement. Pozycja 47 załącznika XVII rozporządzenia REACH ogranicza rozpuszczalny chrom(VI) w cemencie do 2 ppm masy suchej. Osiąga się to przez homogenicznie wmieszany środek redukujący w nadmiarze od ośmio- do dwudziestokrotnego, przy reakcji, która zaczyna się dopiero z wodą zarobową, i badany według EN 196-10. Przenoszone jest z tego natryskiwanie roztworu na zaolejoną powierzchnię w maszynowni, bez kontroli dozowania, bez znormalizowanej procedury badawczej i z testem szybkim jako odbiorem (rozdział 26).

Tę samą lukę pokazuje porównanie z azbestem. Obie substancje są rakotwórcze, a przy obu zagrożenie powstaje dopiero wtedy, gdy przy konserwacji lub demontażu uwalnia się pył. Dla azbestu niemiecka TRGS 519 wymaga zgłoszenia prac najpóźniej siedem dni przed ich rozpoczęciem, osoby odpowiedzialnej posiadającej kwalifikacje, osoby nadzorującej, a przy wyrobach słabo związanych wygradzenia ze śluzami osobowymi i materiałowymi. Dla chromianów powstających in situ nie istnieje nic z tego. Nie są one postrzegane jako substancja niebezpieczna, lecz jako zabrudzenie, i odpowiednio traktowane szmatą, odkurzaczem i preparatami w aerozolu przez obecny personel. Nikt nie spryskałby i nie przetarłby własnoręcznie płyty zawierającej azbest; przy gorącym elemencie obciążonym chromianami jest to zwykła praktyka (rozdział 25).

Przy kontakcie ze skórą stosunek wręcz się odwraca. Lista wartości MAK i BAT 2026 Niemieckiej Wspólnoty Badawczej prowadzi związki chromu(VI) z oznaczeniem wchłaniania przez skórę „H” i oznaczeniem uczulania „Sh”, przy kategorii rakotwórczości 1; wyłączenia dla chromianu baru, ołowiu, strontu i cynku nie obejmują chromianu wapnia ani chromianu sodu. Substancja, która wchłania się przez skórę i jednocześnie jest rakotwórcza, trafia według tabeli 2 niemieckiej TRGS 401 przy każdym rodzaju kontaktu do wysokiego zagrożenia, bez progu dla czasu trwania i powierzchni. Dla azbestu taka ocena skórna nie istnieje, ponieważ jego zharmonizowana klasyfikacja nie zawiera żadnego zwrotu wskazującego rodzaj zagrożenia odniesionego do skóry. Chromian sodu nosi ich trzy (H312, H314, H317), a chromian wapnia i chromian sodu są dodatkowo sklasyfikowane jako działające bardzo toksycznie na organizmy wodne z długotrwałymi skutkami (H400, H410), co dla azbestu nie obowiązuje (rozdział 25).

Odpowiedź na pytanie wyjściowe nie jest zatem w pierwszej kolejności pytaniem o kwalifikacje personelu. Jest pytaniem o środek: dopóki nie przeprowadzono oceny możliwości substytucji na podstawie § 7 ustęp 3 i dopóki brakuje dowodu skuteczności na podstawie ustępu 9, powierzenie neutralizacji nie jest wykonaniem obowiązków, lecz ich przesunięciem na wykonawcę. Tam, gdzie powstawaniu można zapobiec przez zmianę materiału, jest to środek właściwego rzędu. Tam, gdzie nie można mu zapobiec, pracę należy zorganizować jako czynność z substancją rakotwórczą, z minimalizacją narażenia, środkami ochrony indywidualnej, pracą niskopylną, oddzielenymi szatniami i umywalniami oraz dokumentacją, a nie jako czynność czyszczenia (rozdziały 6, 18 i 26).

8. Przepisy i obowiązki

Miarę wyznaczają Niemcy. Niemiecka TRGS 561 w wersji z 4 maja 2026 roku wyraźnie omawia powstawanie na gorących elementach ze stopów chromowych. Rozdział 3.3.4 opisuje zagadnienie, rozdział 5.9.3 wymienia tlenki metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych z materiałów izolacyjnych lub past montażowych jako czynnik wpływający. Środki ochronne według 4.1 i 4.2, wśród nich środki ochrony indywidualnej, praca niskopylna i ocena możliwości substytucji, obowiązują już wtedy, gdy obciążenia chromem(VI) nie można wykluczyć. Wcześniejszy pomiar nie jest wymagany. Wobec stanu analityki jest to jedyna wykonalna konstrukcja (rozdziały 6 i 18).

Przed rozpoczęciem prac istnieją odrębne obowiązki, ujęte w przeważającej mierze niezależnie od konkretnej substancji. Niemieckie rozporządzenie o substancjach niebezpiecznych wymaga w § 6 ustępy od 2a do 2c sprawdzenia, czy przy czynnościach mogą być uwalniane substancje niebezpieczne z instalacji, skorzystania z wiedzy zewnętrznej przy braku wymaganych kompetencji oraz, jeżeli konieczne jest rozpoznanie techniczne, jego przeprowadzenia jako warunku wykonania czynności. § 7 ustęp 1 zakazuje podjęcia czynności przed oceną ryzyka i przed środkami ochronnymi, § 6 ustęp 8 zdanie 1 wymaga dokumentacji przed podjęciem czynności. Wskazanie roku budowy według § 5a ustęp 2 odnosi się do azbestu i dla chromianów powstających in situ nie ma wartości informacyjnej, ponieważ związek powstaje dopiero w trakcie eksploatacji (rozdział 25).

W Niderlandach artykuł 4.2 niderlandzkiego rozporządzenia o warunkach pracy (Arbeidsomstandighedenbesluit) wymaga oceny rodzaju, rozmiaru i czasu trwania narażenia, także wtedy, gdy takie czynności nie są obecnie wykonywane; wyraźny zakaz rozpoczęcia prac przed oceną znajduje się, odniesiony do azbestu, w artykule 4.54a. W Zjednoczonym Królestwie ujęty jest on niezależnie od konkretnej substancji w regulation 6(1) COSHH Regulations 2002, zgodnie z którym pracodawca nie może wykonywać prac, przy których pracownicy mogą być narażeni na substancję zagrażającą zdrowiu, bez uprzedniej odpowiedniej i wystarczającej oceny. W Stanach Zjednoczonych 29 CFR 1926.1126(d) zobowiązuje każdego objętego pracodawcę do oznaczenia ośmiogodzinnych średnich zmianowych dla każdego narażonego pracownika; reguła domniemania dla izolacji cieplnych z rokiem budowy do 1980 znajduje się tam w standardzie azbestowym. Niemiecka TRGS 561 wiąże reżim ochronny w rozdziale 5.9.3 ustęp 5 z czynnościami, przy których obciążenie chromem(VI) występuje albo nie da się go wykluczyć. Obowiązek powstaje tym samym przed ustaleniem wyniku (rozdział 25).

Nadrzędnie obowiązuje europejska dyrektywa 2004/37/WE z wiążącą wartością graniczną 0,005 mg/m³ od 17 stycznia 2025 roku. Niderlandy przyjmują 0,001 mg/m³ jako chrom, Zjednoczone Królestwo 0,01 mg/m³ według EH40 w wydaniu czwartym 2020, wymaga jednak dla substancji rakotwórczych zgodnie z COSHH Regulations jednocześnie ograniczenia do rozsądnie wykonalnego minimum. Stany Zjednoczone przyjmują według OSHA 29 CFR 1910.1026 PEL 5 µg/m³ i action level 2,5 µg/m³ oraz nakazują odzież ochronną, szatnie i umywalnie, a także zakaz przedmuchiwania sprężonym powietrzem. Wszystkie te wartości odnoszą się do zawartości chromu, a nie do związku. Dla Australii od 1 grudnia 2026 roku wartość graniczna odpada na rzecz obowiązku minimalizacji (rozdział 18).

W Stanach Zjednoczonych dochodzi prawo zamówień publicznych. Klauzula DFARS 252.223-7008 zakazuje od 2011 roku dostawy przedmiotów i wyrobów budowlanych z chromem(VI) powyżej 0,1 procent wagowego w materiale jednorodnym, a także dostawy przedmiotów, przy których chrom(VI) musiały być w późniejszych fazach utrzymania usuwany lub nakładany na nowo. Masą odniesienia jest według definicji pojedyncza warstwa, a nie element, a wyjątek dotyczy wyłącznie produktów ubocznych procesów wytwórczych. Obowiązek przeniesienia klauzuli obejmuje także podwykonawstwo usług konserwacyjnych i naprawczych (rozdział 18).

To, że w tym przedstawieniu często cytowane jest niemieckie prawo, ma dwa powody. Praca prowadzona jest z Niemiec, a niemiecka TRGS 561 wyraźnie opisuje ten przypadek zastosowania. Surowszych miar niż prawo europejskie nie wyznacza ona tym samym; rozwija podejście dyrektywy 2004/37/WE dla tego przypadku. Dyrektywa od ponad dwudziestu lat wymaga ustalenia rodzaju, rozmiaru i czasu trwania narażenia oraz uwzględnienia przy tym dalszych dróg narażenia, w tym wchłaniania przez skórę, i obowiązuje we wszystkich państwach członkowskich. Przy związkach chromu(VI) obok siebie znajdują się cztery poziomy oceny, inhalacyjny, dermalny, doustny i środowiskowy; azbest nie nosi ani zwrotu wskazującego rodzaj zagrożenia odniesionego do skóry, ani zagrożenia dla wód (rozdział 31).

Dla oceny ryzyka nie ma znaczenia, czy chromian był stosowany celowo, czy powstał in situ. Miarodajne jest ponadto szerokie pojęcie stosowania z rozporządzenia REACH, obejmujące magazynowanie, przechowywanie w gotowości i obróbkę. Jeżeli zanieczyszczona izolacja lub zanieczyszczony element zostaje zdemontowany, zmagazynowany i ponownie użyty, może to być stosowanie wymagające zezwolenia. Właśnie w tym miejscu przyszły ogólnounijny zakaz stosowania dotyka całego dzisiejszego przebiegu prac konserwacyjnych. Propozycja ograniczenia ECHA z kwietnia 2025 roku zawęziłaby te ramy dalej (rozdziały 2 i 25).

9. Obowiązki w Polsce

Art. 220 § 1 Kodeksu pracy zakazuje stosowania materiałów i procesów technologicznych „bez uprzedniego ustalenia stopnia ich szkodliwości dla zdrowia pracowników i podjęcia odpowiednich środków profilaktycznych”. Przepis nie wymienia żadnej substancji i nie uzależnia obowiązku od pomiaru.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia o czynnikach chemicznych wymaga w § 2 ustalenia, czy taki czynnik w środowisku pracy występuje, oraz udokumentowanej oceny ryzyka w formie pisemnej, a w § 3 ust. 4 pkt 1 obejmuje nią wyraźnie prace „podczas remontów i napraw urządzeń” (rozdział 33).

Definicja czynnika chemicznego jest przy tym szersza niż obrót handlowy. § 1 pkt 1 tego rozporządzenia obejmuje każdy związek także wtedy, gdy jest „uwalniany w środowisku pracy [...] niezależnie od faktu, czy jest albo nie jest wytwarzany celowo lub jest albo nie jest wprowadzany do obrotu”. Chromian powstający na granicy między izolacją a gorącym elementem jest tym objęty, choć nikt go nie kupił ani nie zamierzał wytworzyć (rozdział 33).

Obowiązek substytucji wynika z art. 222 § 1 Kodeksu pracy w brzmieniu obowiązującym od 29 czerwca 2024 roku. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 26 lipca 2024 roku porządkuje dalsze stopnie: system zamknięty, a gdy i to jest technicznie niemożliwe, obniżenie narażenia „do tak niskiego poziomu, na jaki pozwalają możliwości techniczne”. § 5 pkt 3 tego rozporządzenia wymaga projektowania procesów pracy i środków kontroli technicznej tak, aby uniknąć powstawania takich czynników w miejscu pracy (rozdział 33).

Dokumentacja jest rozbudowana. Rejestr prac obejmuje wyraźnie substancje występujące „jako zanieczyszczenia bądź produkt uboczny”. Rejestr prac i rejestr pracowników przechowuje się 40 lat po ustaniu narażenia. Informację o czynnikach rakotwórczych przekazuje się jednocześnie właściwemu wojewódzkiemu inspektorowi sanitarnemu i właściwemu okręgowemu inspektorowi pracy, corocznie do 15 stycznia za rok poprzedni; dane zbiera centralnie Instytut Medycyny Pracy w Łodzi (rozdział 33).

Wartość NDS dla związków chromu(VI) wynosi 0,005 mg/m³ i obowiązuje operatywnie od 18 stycznia 2025 roku; wcześniej wynosiła 0,010 mg/m³. Jest to jeden wpis zbiorczy, bez podziału na związki rozpuszczalne i nierozpuszczalne, bez wartości chwilowej i bez notacji „skóra”. Dla oceny czynności konserwacyjnej ma ona to samo ograniczone znaczenie co w pozostałych państwach: odnosi się do powietrza na stanowisku pracy, a nie do zawartości w pyłe, w osadzie ani w zdemonstowanym elemencie izolacji (rozdziały 17 i 33).

Nadzór sprawują dwa organy. Państwowa Inspekcja Pracy może nakazać usunięcie uchybień w ustalonym terminie, wstrzymanie prac przy bezpośrednim zagrożeniu życia lub zdrowia oraz wykonanie badań i pomiarów czynników szkodliwych w środowisku pracy. Państwowa Inspekcja Sanitarna odpowiada za higienę pracy i zapobieganie chorobom zawodowym i może unieruchomić zakład pracy lub jego część. Grzywna za nieprzestrzeganie przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy wynosi według art. 283 § 1 Kodeksu pracy od 1000 zł do 30 000 zł; tej samej karze podlega stosowanie materiałów i procesów technologicznych bez uprzedniego ustalenia stopnia szkodliwości (rozdziały 30 i 33).

Odpad zawierający chromian ujmują wpisy zwierciadlane katalogu odpadów: 17 06 03* dla innych materiałów izolacyjnych zawierających substancje niebezpieczne, 16 11 03* i 16 11 05* dla okładzin piecowych i materiałów ogniotrwałych, 16 09 02* dla samych chromianów. Ustawa o odpadach wymienia związki chromu(VI) w załączniku nr 4 i zakazuje obniżania klasyfikacji przez rozcieńczanie lub mieszanie. Który wpis jest właściwy, rozstrzyga wykazanie zawartości (rozdział 33).

Różnica wobec azbestu jest taka sama jak w pozostałych państwach. Dla azbestu obowiązuje szkolenie przez uprawnioną instytucję, pisemny plan prac przed ich rozpoczęciem, zgłoszenie do trzech organów co najmniej 7 dni wcześniej i potwierdzenie prawidłowości prac pomiarem akredytowanego laboratorium. Dla chromu(VI) nie ma żadnego z tych elementów. Żaden polski przepis i żadna publikacja Centralnego Instytutu Ochrony Pracy ani Państwowej Inspekcji Pracy nie nazywa powstawania chromianów na gorących elementach izolowanych materiałem zasadowym; obowiązek wynika z brzmienia przepisów, a nie z nazwania tego przypadku (rozdziały 25 i 33).

10. Gdzie to występuje

Dotyczy to silników gazowych i wysokoprężnych, silników lokomotyw i statków, turbin gazowych i parowych, biogazowni, elektrociepłowni blokowych i kogeneracji, zasilania awaryjnego w szpitalach i budynkach użyteczności publicznej, centrów danych z własnym wytwarzaniem energii, pojazdów, maszyn budowlanych i układów oczyszczania spalin, a także spalarni odpadów (rozdział 4). Komunikaty niemieckich branżowych instytucji ubezpieczenia wypadkowego, w szczególności BG BAU, BG ETEM i BG Verkehr, wyraźnie wymieniają te obszary.

Przy pojazdach ustalenie dotyczy konserwacji, obchodzenia się z częściami, ponownego użycia elementów i kosztów trwałego usunięcia przyczyny. Roszczenia z tytułu wad z prawa sprzedaży oraz obowiązków producentów z prawa bezpieczeństwa otwierają w UE własne drogi badania (rozdział 20).

Podstawą są obok patentów, badań i dokumentów producentów własne wizje lokalne oraz próbki wymazowe i materiałowe od 2019 roku na silnikach, elektrowniach, spalarniach, statkach, pojazdach i maszynach budowlanych. Dla żadnego z wymienionych obszarów po siedmiu latach pracy w terenie nie da się stwierdzić braku obciążenia (rozdział 28).

Co do rzędu wielkości analiza fachowa zawiera szacunek liczby zdarzeń, a nie liczby wyników. Opiera się na publicznych danych producentów, statystykach flot i rejestrach instalacji: 190 000 silników serii 3500 firmy Caterpillar w eksploatacji, ponad 100 000 sprzedanych silników serii mtu 2000 i 4000, aktywna zainstalowana baza 44 GW u INNIO, ponad 7000 turbin gazowych u GE Vernova z podanym udziałem około połowy światowej bazy, około 7300 bloków elektrowni węglowych, około 109 000 statków od 100 ton rejestrowych brutto, 6,16 miliona samochodów ciężarowych powyżej 3,5 tony w Unii Europejskiej oraz 2539 spalarni odpadów w Europie, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Japonii (rozdział 32).

Przy przyjętych okresach konserwacji i remontów wynika z tego około 58 000 do 61 000 zdarzeń w roku już w samych czterech segmentach przemysłowych, do tego około 6,9 miliona pobyków w warsztacie przy pojazdach użytkowych i około 90 milionów napraw samochodów osobowych w Unii Europejskiej, których istotny udział nie został określony liczbowo. Przedmiotem oceny nie jest zatem pojedynczy przypadek. Uwalnianie następuje codziennie, w komorach silnika, na pojazdach, na turbinach, w elektrowniach i w instalacjach spalania, w liczbie, której nie da się określić, i w przeważającej mierze bez zwrócenia uwagi (rozdział 32).

11. Popioły ze spalania: ten sam proces bez możliwości substytucji

W izolacjach cieplnych można zapobiec powstawaniu, stosując materiał izolacyjny bez tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych. W popiołach ze spalania nie jest to możliwe. Partner reakcji znajduje się w samym wsadzie, a wsad nie podlega wyborowi. Tlenek wapnia występuje w odpadach komunalnych w ilości około 3 procent. Tym samym odpada środek pierwszy w kolejności, a pozostaje reżim ochronny dla czynności z substancją rakotwórczą.

Dowody pochodzą z samego spalania odpadów. Paoletti badała w 2002 roku w niemieckim Forschungszentrum Karlsruhe zachowanie metali ciężkich tworzących oksyaniony w spalaniu odpadów komunalnych. Chromian wapnia powstaje między 500 a 850 °C i powyżej 850 °C jest ponownie redukowany do chromu trójwartościowego; warunkiem jest wystarczające ciśnienie parcjale tlenu w komorze spalania. Odpowiednich reakcji praca oczekuje także z sodem, potasem, magnezem, strontem i barem. Vehlow, Paoletti, Seifert i Sirini przedstawili wyniki w 2004 roku na WTER Fall Meeting na Columbia University (rozdział 21).

Krytyczna nie jest praca przy pełnym obciążeniu, lecz wyłączanie do konserwacji. Resztki popiołu pozostają na ruszcie i na gorących elementach ze stali stopowej z chromem, temperatura przechodzi okno powstawania z góry na dół, a przez otwarcie instalacji dopływa dodatkowy tlen. Popioły te są przy następnym remoncie wzbudzane i uwalniane. Dalsze prace wspierają ten związek: Hu i in. opisują w 2013 i 2015 roku utlenianie chromu przy termicznej obróbce wtórnej popiołów lotnych i podkreślają dostępność wolnego tlenu wapnia, Gong i in. mierzą w 2017 roku po obróbce termicznej rosnące wymywanie chromu, a japońska praca z 2006 roku na popiołach dennych z dwóch instalacji z rusztem pokazuje zależność od temperatury i stężenia tlenu (rozdział 21).

Próbie kontrolną dostarcza procedura dotycząca popiołu drzewnego według Brilla, cytowana w raporcie niemieckiego Federalnego Urzędu Środowiska z 2019 roku. Dopuszcza ona kontakt z tlenem celowo dopiero poniżej 200 °C, aby zapobiec powstawaniu chromu(VI). Kto zapobiega reakcji przez sterowanie atmosferą chłodzenia, zna jej warunki (rozdział 21).

Także europejskie piśmiennictwo środowiskowe wskazuje tę substancję. Europejski dokument referencyjny BAT dotyczący spalania odpadów z 2019 roku wymienia chrom(VI) w odniesieniu do wymywania z popiołu rusztowego. Z Wielkiej Brytanii opisano osady pozytywne na Cr(VI) w ciągach kotłowych 2 do 6 oraz narażenie przy konserwacji i remoncie. Brakuje bezpośrednich pomiarów porównawczych w spalarniach odpadów przed wyłączeniem i po nim. Luka ta dotyczy rzędu wielkości, a nie mechanizmu (rozdział 22).

W obu obszarach zastosowania zagrożenie chromianami nie jest rozumiane albo nie jest przyjmowane do wiadomości. W tym są do siebie podobne. Punkt wyjścia jest przy tym różny, ponieważ w materiale izolacyjnym przyczyna podlega wyborowi, a w popiele nie. Droga powstawania widnieje od 1990 roku w ostrzeżeniu producenta, a od 2002 roku w piśmiennictwie fachowym spalania odpadów. Powstaje zatem pytanie, czy została przeoczona, czy też nie miała zostać przyjęta do wiadomości. Do sprawdzenia pozostaje ponadto, czy oceny ryzyka obejmują remont, otwarcie kotła, usuwanie osadów, czyszczenie, manipulowanie popiołem i jego przenoszenie. Pomiar chromu ogólnego, badanie wymywalności i pomiar pyłu odniesiony do osoby odpowiadają przy tym na różne pytania (rozdział 22).

12. Znaczenie dla zdrowia

Chromiany rozpuszczalne w wodzie mają tę samą strukturę co jony siarczanowe i fosforanowe i dostają się do komórki ich drogami transportu. Tam chrom(VI) jest redukowany przez reaktywne stopnie przejściowe do chromu(III), który tworzy addukty DNA i wiązania krzyżowe. Redukcja wywołuje dodatkowo stres oksydacyjny. To, że chrom(VI) przechodzi w organizmie w chrom(III), nie jest zatem argumentem na rzecz braku zagrożenia, lecz jest mechanizmem działania (rozdział 24).

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem klasyfikuje związki chromu(VI) jako rakotwórcze dla człowieka, grupa 1, z ustalonym działaniem na płuco i zaobserwowanymi związkami z nowotworami nosa i zatok przynosowych. Amerykański urząd ochrony pracy OSHA oparł swoją wartość graniczną z 2006 roku przede wszystkim na dwóch kohortach z produkcji chromianów, Baltimore według Gibb i in. 2000 z 2357 mężczyznami od 1950 do 1992 roku oraz Painesville według Luippold i in. 2003 (rozdział 24).

Nie każdy chromian działa jednakowo. W doświadczeniu porównawczym na płucu szczura chromian wapnia jako kontrola pozytywna wywołał nowotwory płuc u 25 ze 100 zwierząt, chromian cynku natomiast u 5, odpowiednio 3 ze 100. Chromian wapnia, główny produkt powstawania in situ, należy tym samym do chromianów najsilniej działających w doświadczeniu na zwierzętach. Ocena, która obejmuje tylko „Chrom(VI)”, zakrywa tę różnicę i zakrywa ją w kierunku niekorzystnym.

Kontakt ze skórą należy ocenić odrębnie. Zanieczyszczone podzespoły, materiały izolacyjne, narzędzia i rękawice pozostają zagrożeniem również wtedy, gdy pomiar powietrza nie wykazuje nic szczególnego. Chromian wapnia i chromian sodu są zarazem sklasyfikowane jako bardzo toksyczne dla organizmów wodnych, powodujące długotrwałe skutki, co ujmuje ten proces także w prawie ochrony środowiska.

13. Chrom(III): zakładany stan końcowy

Wszystkie wymienione procedury obróbki opierają się na tym samym założeniu: wraz z przemianą chromu(VI) w chrom(III) niebezpieczna część procesu ma być zakończona. Instrukcja techniczna jednego z producentów silników z 31 maja 2023 roku wykłada je w całości. Chrom-3 ma występować w wielu produktach spożywczych, dzienne ilości spożycia w Europie mają się mieścić w zakresie bez oczekiwanego ryzyka dla zdrowia, czy chrom-3 jest dla człowieka w ogóle niezbędnym pierwiastkiem śladowym, nie zostało ostatecznie wyjaśnione, a ponieważ możliwe stężenie po zastosowaniu roztworu redukującego ma leżeć daleko poniżej obowiązujących wartości granicznych, zagrożenie dla zdrowia ze strony chromu-3 ma być wykluczone. Wyróżnione następuje zdanie, że chrom-3 w odróżnieniu od chromu-6 nie jest rakotwórczy. Pytanie o niezbędność zostało rozstrzygnięte: Europejski Urząd do spraw Bezpieczeństwa Żywności nie znalazł w 2014 roku dowodu na niezbędność chromu(III) (rozdział 27).

Przemiana nie jest reakcją jednoetapową do określonej substancji końcowej. Uzasadnienie MAK dotyczące związków chromu(VI) opisuje redukcję jako przebieg przez chrom(V) i chrom(IV) do chromu(III), przy czym powstają rodnikowe związki tlenu i siarki. Który stopień przejściowy wystąpi, zależy od środka redukującego. Na powierzchni instalacji dochodzi to, co tam leży: oleje, smary, resztki materiału izolacyjnego i pasty montażowe. Chrom(III) tworzy z kwasami organicznymi i produktami ich utleniania kompleksy rozpuszczalne. Tlenek chromu(III), o który chodzi w stwierdzeniach o wyrobach, powstaje termicznie, a nie przez natryskiwanie i wycieranie (rozdział 27).

Które związki chromu(III) występują faktycznie po obróbce, nie jest podane w żadnym z dostępnych dokumentów. Kolorymetryczny test szybki wskazuje chrom(VI) albo go nie wskazuje, metody laboratoryjne oznaczają chrom(VI) albo chrom ogólny. Analityki specjacyjnej powstałych związków chromu(III) nie przewiduje żadna procedura i nie wymaga jej żaden z dokumentów (rozdział 27).

Jest to istotne, ponieważ klasyfikacja zależy od tego rozróżnienia. Lista wartości MAK i BAT 2026 prowadzi związki chromu(III) z oznaczeniem uczulania Sh i z uzupełnieniem, że nie dotyczy to tlenku chromu(III) ani porównywalnie trudno rozpuszczalnych związków chromu(III). Oznaczenie dotyczy tym samym związków rozpuszczalnych, a więc tej grupy substancji, którą wytwarza obróbka na mokro. Dla tlenku chromu(III) obowiązuje w Niemczech wartość dopuszczalna na stanowisku pracy 2 mg/m³ we frakcji wdychalnej; zharmonizowanej klasyfikacji według europejskiego rozporządzenia CLP dla tej substancji nie ma. Francuska agencja Anses uznaje w swojej opinii z 28 lipca 2021 roku klasyfikację tlenku chromu(III) jako substancji uczulającej skórę kategorii 1 za wskazaną, widzi to jako istotne także dla innych związków chromu(III), zaleca sprawdzenie klasyfikacji jako STOT RE 2 dla drogi inhalacyjnej oraz zharmonizowaną klasyfikację jako Aquatic Acute 1 i Aquatic Chronic 1; kryteria mutagenności komórek rozrodczych uznaje po całościowej ocenie za niespełnione (rozdział 27).

To, że chrom(III) nie jest stanem końcowym, jest udokumentowane w innym przypadku zastosowania. To samo uzasadnienie MAK stwierdza w odniesieniu do garbowania chromowego, że garbowanie odbywa się wprawdzie związkami chromu(III), z nich jednak przy nieodpowiednich metodach przetwarzania lub składowania mogą powstać niewielkie ilości związków chromu(VI), a jeżeli chrom(III) powstaje in situ przez redukcję związków chromu(VI), to przy niepełnej redukcji również rozpuszczalny chrom(VI) może pozostać w skórze. Oba stwierdzenia dotyczą omawianego tu procesu (rozdział 27).

Dochodzi do tego powrót na gorący element. W osnowie stopu chrom jest związany. Po redukcji związki chromu(III) występują drobno rozprowadzone i niezwiązane na powierzchni oraz w przylegającym materiale, a więc w stanie, który w produkcji chromianów stanowi substancję wyjściową. Jeżeli obrobiony materiał zostanie ponownie zabudowany, a instalacja uruchomiona, wszystkie warunki powstawania są spełnione na nowo. Ponieważ pełna przemiana nie jest zapewniona, a procedura dopuszczenia przy wyniku negatywnym nie jest wiarygodna, powstającą ciecz należy traktować jako odpad niebezpieczny i pracować bezodpływowo (rozdział 27).

Mniejsza toksyczność związków chromu(III) w porównaniu ze związkami chromu(VI) jest bezsporna; nie noszą one ani kategorii rakotwórczości, ani kategorii mutagenności komórek rozrodczych. Stwierdzenia, że produkt reakcji jest niekrytyczny, nieszkodliwy albo non-toxic, idą dalej. Zawierają stwierdzenie o substancjach, których się nie oznacza, i zakładają kompletność przemiany, której żaden dostawca nie zapewnia (rozdział 27).

14. Skutki prawne nieprzestrzegania przepisów

Niemieckie rozporządzenie o substancjach niebezpiecznych stanowi w § 22 ustęp 1, że wykroczenie w rozumieniu § 26 ustęp 1 punkt 8 litera b niemieckiej ustawy o chemikaliach popełnia ten, kto umyślnie lub nieumyślnie nie dokumentuje oceny ryzyka (punkt 1a), dopuszcza do podjęcia pracy wbrew § 7 ustęp 1 bez uprzedniej oceny i środków ochronnych (punkt 3) albo nie sprawdza lub nie sprawdza w terminie skuteczności technicznych środków ochronnych (punkt 5). Grzywna wynosi zgodnie z § 26 ustęp 3 ustawy o chemikaliach do 50 000 euro. § 22 ustęp 2 rozporządzenia o substancjach niebezpiecznych prowadzi dalej: kto takim działaniem naraża życie lub zdrowie innej osoby, podlega karze na podstawie § 27 ustęp 2 do 4 ustawy o chemikaliach, karze pozbawienia wolności do pięciu lat przy działaniu umyślnym i do dwóch lat przy nieumyślnym. Karalne jest narażenie, a nie dopiero powstała szkoda (rozdział 30).

Dochodzi do tego regres: zgodnie z § 110 niemieckiej Księgi Siódmej Kodeksu Socjalnego osoby, których odpowiedzialność jest ograniczona na podstawie §§ 104 do 107, odpowiadają wobec instytucji ubezpieczenia społecznego za ich wydatki, jeżeli spowodowały zdarzenie ubezpieczeniowe „vorsätzlich oder grob fahrlässig herbeigeführt”, czyli umyślnie lub przez rażące niedbalstwo. Po stronie środowiskowej § 326 ustęp 1 niemieckiego kodeksu karnego obejmuje niedozwolone postępowanie z odpadami, które są „für den Menschen krebserzeugend, fortpflanzungsgefährdend oder erbgutverändernd sind”, czyli rakotwórcze, działające szkodliwie na rozrodczość lub mutagenne dla człowieka, karą pozbawienia wolności do pięciu lat, przy działaniu nieumyślnym do trzech lat (rozdział 30).

W Niderlandach artykuł 4.17 niderlandzkiego rozporządzenia o warunkach pracy (Arbeidsomstandighedenbesluit) wymaga pierwszeństwa substytucji substancji i procesów rakotwórczych, w zakresie technicznie wykonalnym. Nieprzestrzeganie jest zgodnie z artykułem 33 ustawy o warunkach pracy (Arbeidsomstandighedenwet) wykroczeniem (overtreding); kara administracyjna (bestuurlijke boete) wynosi zgodnie z artykułem 34 ustęp 3 najwyżej kwotę piątej kategorii według artykułu 23 ustęp 4 niderlandzkiego kodeksu karnego, od 1 stycznia 2026 roku 110 000 euro, przy powtórzeniu podwyższoną o 100 lub 200 procent. Artykuł 32 tej samej ustawy zakazuje pracodawcy każdego działania lub zaniechania sprzecznego z ustawą, jeżeli powstaje przez to albo jest do przewidzenia, jak wie lub rozsądnie wiedzieć powinien, zagrożenie życia albo poważna szkoda na zdrowiu. Poprzez artykuł 1 punkt 1 ustawy o przestępstwach gospodarczych (Wet op de economische delicten) jest to przestępstwo gospodarcze, przy działaniu umyślnym występpek (misdrif) z karą pozbawienia wolności do sześciu lat (rozdział 30).

W Zjednoczonym Królestwie regulation 7 Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 wymaga zapobieżenia narażeniu, w pierwszej kolejności przez substytucję, a przy czynnikach rakotwórczych dodatkowo hermetyzacji, czyszczenia, oznakowania i bezpiecznie unieszkodliwiania. Naruszenie jest przestępstwem według section 33(1)(c) Health and Safety at Work etc. Act 1974; Schedule 3A przewiduje w trybie oskarżenia karę pozbawienia wolności do dwóch lat oraz grzywnę bez ustawowej granicy górnej. W Stanach Zjednoczonych kary pieniężne w trybie administracyjnym według section 17 Occupational Safety and Health Act wynoszą dla wymiarów po 15 stycznia 2026 roku do 16 550 dolarów amerykańskich za naruszenie, do 16 550 dolarów amerykańskich dziennie przy nieusunięciu uchybienia i do 165 514 dolarów amerykańskich przy willful lub repeated violations; section 17(e) stawia dodatkowo pod karą umyślne naruszenie standardu ze skutkiem śmiertelnym (rozdział 30).

We wszystkich czterech porządkach prawnych sankcja wiąże się z niewykonanym obowiązkiem, a nie z powstałą szkodą na zdrowiu. Ponieważ środki ochronne według niemieckiej TRGS 561 obowiązują już wtedy, gdy obciążenia nie da się wykluczyć, a negatywny wynik pomiaru bez odzysku niczego nie dowodzi, rozstrzyga dokumentacja: ocena ryzyka, ocena możliwości substytucji i wykazanie skuteczności. Brakująca lub nieprawidłowa ocena narażenia na chrom(VI) nie jest zatem kwestią poboczną organizacji zakładu.

15. Co jest ustalone, a co pozostaje otwarte

Ustalono drogę powstawania, uczestniczące związki, zakresy temperatur oraz stan wiedzy u producentów i operatorów. Nieznany jest rozmiar objętego zasobu, ponieważ nigdy nie został on ujęty pod tym kątem.

Otwarte są ilościowe warunki brzegowe: dokładne progi temperaturowe w konkretnym przypadku, wpływ zawartości chromu w stopie, wymagana zawartość tlenku wapnia lub tlenku sodu, kinetyka, wilgotność i liczba cykli. Pytania te dotyczą nasilenia reakcji, a nie jej występowania. W stanowiskach bywa przywoływany nie w pełni wyjaśniony mechanizm, aby odłożyć dalsze konsekwencje. Rozróżnienie to nie wytrzymuje stanu dowodów: ocena ryzyka zaczyna się od możliwego wystąpienia, a nie od pełnej znajomości kinetyki (rozdział 29).

16. Obowiązki w Niemczech

Rozdział 31 podaje powody, dla których w tej analizie cytowane są przede wszystkim przepisy niemieckie. Ten rozdział zestawia obowiązujące przepisy niemieckie w jednym miejscu i przy każdym stwierdzeniu podaje źródło. Powtarza przy tym punkty, które w innym miejscu występują w szerszym kontekście, aby zakład w Niemczech nie musiał zbierać obowiązków z całej analizy.

Pojęcie substancji niebezpiecznej obejmuje także to, co dopiero powstaje

Niemieckie rozporządzenie o substancjach niebezpiecznych nie wiąże się z zakupem. § 2 ustęp 1 punkt 3 zalicza do substancji niebezpiecznych „substancje, mieszaniny i wyroby, z których przy wytwarzaniu lub stosowaniu powstają lub są uwalniane substancje według punktu 1 lub punktu 2”. Punkt 4 obejmuje dodatkowo substancje i mieszaniny, które z powodu swoich właściwości oraz sposobu, w jaki występują lub są stosowane na stanowisku pracy, mogą zagrażać zdrowiu i bezpieczeństwu pracowników. Chromian, który powstaje na granicy faz między izolacją a gorącym elementem, jest tym objęty, choć nikt go nie kupił i nikt nie zamierzał go wytworzyć.

Substytucja i kolejność środków

§ 7 ustęp 3 wymaga, aby na podstawie wyniku oceny możliwości substytucji „w pierwszej kolejności przeprowadzić substytucję”, a to przez substancje, mieszaniny, wyroby lub procesy, które w danych warunkach zastosowania nie są niebezpieczne albo są mniej niebezpieczne. § 7 ustęp 4 porządkuje dalsze stopnie: ukształtowanie procesów i niskoemisyjne formy stosowania według stanu techniki, następnie zbiorowe środki techniczne u źródeł zagrożenia i środki organizacyjne, a dopiero potem środki indywidualne wraz ze środkami ochrony indywidualnej. § 7 ustęp 5 zdanie 2 określa, że stosowanie obciążających środków ochrony indywidualnej nie może być środkiem stałym.

Wartość 1 µg/m³ i to, czego ona nie daje

Dla związków chromu(VI) w Niemczech nie ma wartości dopuszczalnej na stanowisku pracy. TRGS 910 podaje w tabeli 1 stężenie tolerowane 1 µg/m³ dla frakcji wdychalnej ze współczynnikiem przekroczenia 8 i uwagą „siehe TRGS 561”; stężenia akceptowalnego dla tego wpisu nie ustalono. Stężenie odnosi się do zawartości pierwiastka metalu i jest zdefiniowane jako średnia zmianowa z ośmiu godzin.

Rejestr narażenia

Od zmiany z 2 grudnia 2024 roku rejestr narażenia znajduje się w odrębnym przepisie. § 10a ustęp 1 zdanie 1 wymaga rejestru pracowników, którzy wykonują czynności z substancjami niebezpiecznymi rakotwórczymi, mutagennymi dla komórek rozrodczych lub działającymi szkodliwie na rozrodczość kategorii 1A lub 1B, „przy których ocena ryzyka wykazuje zagrożenie ich zdrowia”, z podaniem czynności oraz poziomu i czasu trwania narażenia. Zgodnie z ustępem 2 przy substancjach rakotwórczych lub mutagennych dla komórek rozrodczych należy go przechowywać 40 lat po ustaniu narażenia; przy zakończeniu stosunku pracy pracownik otrzymuje wyciąg. Zgodnie z ustępem 3 pracodawca może wypełnić te obowiązki, przekazując dane właściwej instytucji ubezpieczenia wypadkowego lub jej związkowi.

Nadzór i sankcje

Nadzór jest zadaniem państwa. § 21 ustęp 1 niemieckiej ustawy o ochronie pracy przypisuje go właściwym organom krajów związkowych; od roku kalendarzowego 2026 zgodnie z § 21 ustęp 1a należy corocznie skontrolować co najmniej 5 procent zakładów istniejących w danym kraju związkowym, a od tego minimalnego wskaźnika kontroli nie można odstępować w prawie krajów związkowych. § 22 ustęp 2 daje uprawnienie do badania metod pracy i wykonywania pomiarów, § 22 ustęp 3 uprawnienie do wydawania nakazów oraz, w razie ich niewykonania, do zakazania objętej nimi pracy.

Odstęp do reżimu azbestowego

Dla azbestu w Niemczech istnieje odrębny tryb postępowania. Niemiecka TRGS 519 wymaga w punkcie 2.7 potwierdzenia kwalifikacji przez pomyślne ukończenie kursu uznanego przez organ i zakończonego egzaminem; potwierdzenie obowiązuje sześć lat. Rozporządzenie o substancjach niebezpiecznych wymaga w § 11a ustęp 3 dopuszczenia przez organ dla czynności w obszarze wysokiego ryzyka, od 20 grudnia 2025 roku w § 11a ustęp 4a zezwolenia na prace rozbiórkowe w obszarze niskiego i średniego ryzyka, a w § 11a ustęp 4 zgłoszenia najpóźniej tydzień przed rozpoczęciem czynności. Punkt 14.5 TRGS 519 dopuszcza uchylenie środków ochronnych dopiero wtedy, gdy kontrola wzrokowa nie wykazuje widocznego zanieczyszczenia resztkowego, a pomiar daje stężenie włókien poniżej 500 włókien na metr sześcienny.

Co nazywają przepisy niemieckie

Niemcy są spośród rozpatrywanych tu porządków prawnych jedynym, w którym ten przypadek zastosowania ma w przepisach podstawowych własny punkt. TRGS 561 opisuje w punkcie 5.9.3, że na termicznie obciążonych komponentach przemysłowych ze stali stopowej z chromem mogą powstawać związki chromu(VI), że mogą się one odkładać w materiałach izolacyjnych lub pastach montażowych i że przy pracach demontażowych i utrzymaniowych może nastąpić narażenie. Jako czynniki wpływające wymienia temperaturę stali, udział chromu w stopie, czas reakcji, obecność tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych z materiałów izolacyjnych lub past montażowych oraz tlen i wilgotność powietrza w pobliżu powierzchni. Co do mechanizmu stwierdza, że nie jest on obecnie jeszcze wyjaśniony.

Co z tego wynika dla zakładu w Niemczech

Z wymienionych przepisów wynika sprawdzalny zestaw dokumentów. Należą do niego udokumentowana i sporządzona przez osobę posiadającą wymagane kompetencje ocena ryzyka dla połączenia materiałów gorącego elementu ze stali stopowej z chromem i zasadowego materiału izolacyjnego oraz przeprowadzona i uzasadniona ocena możliwości substytucji według § 7 ustęp 3. Należą do niego informacja podmiotu zlecającego według § 5a i rozpoznanie techniczne według § 6 ustęp 2c. Należą do niego instrukcja stanowiskowa i roczne szkolenie według § 14. Należą do niego wpis do rejestru narażenia albo jego uzasadnienie według § 10a w związku z TRGS 410, zapewnienie obowiązkowej opieki profilaktycznej oraz klasyfikacja odpadu według zawartości.

17. Obowiązki w Unii Europejskiej

Krajowe przepisy państw członkowskich wdrażają prawo Unii. Ten rozdział zestawia to, czego wymaga samo prawo Unii, i oddziela przy tym prawo ochrony pracy od prawa o substancjach i od prawa odpadowego. Wykonanie należy do państw członkowskich; obowiązki powstają dla zakładu z odpowiedniego prawa krajowego.

Zakres zastosowania dyrektywy 2004/37/WE

Dyrektywa obowiązuje zgodnie z artykułem 3 ustęp 1 „w stosunku do czynności, przy których pracownicy w wyniku swojej pracy są lub mogą być narażeni na czynniki rakotwórcze, mutageny lub substancje reprotoksyczne”. Wiąże się tym samym z narażeniem przy czynności. Artykuł 2 litera a podpunkt i definiuje czynnik rakotwórczy przez kryteria klasyfikacji załącznika I rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 i nie zawiera ograniczenia do substancji kupionych, wprowadzonych do obrotu lub świadomie stosowanych. Chromian wapnia i chromian sodu są w załączniku VI część 3 tego rozporządzenia zaklasyfikowane w sposób zharmonizowany jako rakotwórcze kategorii 1B.

Zastąpienie, system zamknięty, minimalizacja

Artykuł 4 ustęp 1 wymaga od pracodawcy zmniejszenia stosowania, „w szczególności przez zastąpienie, w zakresie technicznie możliwym, substancjami, mieszaninami lub procesami, które przy ich stosowaniu nie są niebezpieczne lub są mniej niebezpieczne”. Artykuł 5 ustęp 2 wymaga, aby w przypadku, gdy substytucja nie jest technicznie możliwa, wytwarzanie i stosowanie odbywało się w systemie zamkniętym. Artykuł 5 ustęp 3 wymaga, aby w przypadku, gdy i to nie jest technicznie możliwe, aby narażenie „zostało zmniejszone do tak niskiego poziomu, na jaki pozwalają możliwości techniczne”.

Wiążąca wartość graniczna

Załącznik III część A dyrektywy 2004/37/WE podaje wpis „związki chromu(VI), które są rakotwórcze w rozumieniu artykułu 2 litera a podpunkt i (jako chrom)” z wartością graniczną 0,005 mg/m³ jako średnią ważoną w czasie w okresie ośmiu godzin. Wartości krótkoterminowej nie ustalono, a kolumna z uwagą jest pusta. Kolumna przejściowa podaje 0,010 mg/m³ do 17 stycznia 2025 roku i 0,025 mg/m³ do tej samej daty dla prac spawalniczych i cięcia plazmowego oraz podobnych procesów powodujących powstawanie dymu.

Rejestr, nadzór nad zdrowiem i czterdzieści lat

Rejestr narażonych pracowników znajduje się w artykule 12 litera c. Pracodawca prowadzi według niego aktualizowaną listę pracowników zatrudnionych przy czynnościach, dla których ocena wskazuje ryzyko, „z podaniem narażenia, na jakie mogli być narażeni”, o ile informacja ta jest dostępna. Artykuł 15 ustęp 1 wymaga dla czynników rakotwórczych i mutagenów przechowywania tej listy i dokumentacji medycznej przez co najmniej 40 lat po ustaniu narażenia.

Prawo o substancjach: klasyfikacja, zezwolenie, ograniczenie

Klasyfikacja zharmonizowana znajduje się w załączniku VI część 3 rozporządzenia (WE) nr 1272/2008. Chromian wapnia nosi numer indeksowy 024-008-00-9 i jest zaklasyfikowany jako rakotwórczy kategorii 1B z H350. Chromian sodu nosi numer indeksowy 024-018-00-3 i jest zaklasyfikowany jako rakotwórczy, mutageny dla komórek rozrodczych i działający szkodliwie na rozrodczość, w każdym przypadku kategorii 1B. Wpis zbiorczy 024-017-00-8 obejmuje „związki chromu(VI), z wyjątkiem chromianu baru oraz związków wymienionych w tym załączniku odrębnie” z H350i.

Odstęp do dyrektywy azbestowej

Dyrektywa 2009/148/WE reguluje dla azbestu obowiązki, których dyrektywa 2004/37/WE dla czynników rakotwórczych w ogólności nie zawiera. Artykuł 11 wymaga przed rozpoczęciem prac rozbiórkowych, utrzymaniowych lub renowacyjnych wszystkich niezbędnych działań w celu ustalenia materiałów przypuszczalnie zawierających azbest, a to przez uzyskanie informacji od właściciela i z odpowiednich rejestrów. Artykuł 4 wymaga zgłoszenia właściwemu organowi przed rozpoczęciem prac, z podaniem między innymi liczby uczestniczących pracowników i dokumentów potwierdzających ich szkolenie. Artykuł 13 wymaga planu prac przed rozpoczęciem, a po zakończeniu sprawdzenia, że zagrożenie już nie występuje. Artykuł 14 wraz z załącznikiem Ia ustala wymagania minimalne co do treści, czasu trwania i częstotliwości szkolenia, a artykuł 15 zezwolenie dla przedsiębiorstwa.

Co z tego wynika

Dla zakładu w państwie członkowskim obowiązek powstaje z krajowego prawa wdrażającego. Miara oceny prawa Unii jest przy tym w trzech miejscach surowsza niż pytanie o pomiar. Ocena według artykułu 3 ustęp 2 jest odniesiona do czynności i należy ją powtarzać przy każdej zmianie warunków. Wchłanianie przez skórę należy zgodnie z artykułem 3 ustęp 3 wyraźnie uwzględnić. Zmniejszenie według artykułu 5 ustęp 3 nie jest powiązane z żadnym progiem; obowiązuje, gdy tylko system zamknięty nie jest technicznie możliwy. Państwo członkowskie może przewidzieć surowsze przepisy; dyrektywa ustala wymagania minimalne.

18. Obowiązki w Niderlandach

Niderlandy są państwem członkowskim Unii Europejskiej i wdrożyły dyrektywę 2004/37/WE w Arbeidsomstandighedenbesluit. Omawiany tu przypadek zastosowania również tam nie jest jako taki nazwany. Ten rozdział zestawia obowiązujące przepisy niderlandzkie i przy każdym stwierdzeniu podaje źródło.

Pojęcie substancji jest neutralne wobec pochodzenia

Artykuł 1.1 ustęp 5 litera b niderlandzkiego rozporządzenia o warunkach pracy definiuje substancje niebezpieczne jako „stoffen of mengsels waaraan werknemers bij de arbeid worden of kunnen worden blootgesteld die vanwege de eigenschappen van of de omstandigheden waaronder die stoffen of mengsels voorkomen gevaar voor de veiligheid of gezondheid kunnen opleveren”. Definicja wiąże się z narażeniem przy pracy i z okolicznościami występowania. Zakup, wprowadzenie do obrotu i zamierzone zastosowanie nie występują w niej.

Dodatkowe obowiązki dla substancji rakotwórczych

Część 2 rozdziału 4 obowiązuje zgodnie z artykułem 4.12 dodatkowo, gdy tylko pracownicy są lub mogą być narażeni na substancje rakotwórcze, mutagenne lub działające szkodliwie na rozrodczość „of aan stoffen die vrijkomen bij kankerverwekkende of mutagene processen”. Definicja w artykule 4.11 litera b wiąże się w podpunkcie 1 z kryteriami klasyfikacji rozporządzenia (WE) nr 1272/2008. Związki chromu(VI) są tym objęte.

Wartość graniczna 0,001 mg/m³

Ustawowa wartość graniczna znajduje się w Bijlage XIII część B2 Arbeidsomstandighedenregeling, w wykazie wartości granicznych ustalonych dla substancji rakotwórczych według podejścia opartego na ryzyku. Wpis brzmi „Chroom (VI)-verbindingen (als Cr)” z 0,001 mg/m³ jako średnią ważoną w czasie w okresie ośmiu godzin. Numeru CAS, wartości piętnastominutowej i notacji skórnej nie wpisano. Zgodnie z objaśnieniem do Bijlage XIII wartość odnosi się przy substancjach, które mogą występować jako cząstki, do frakcji próbkowanej jako pył wdychalny.

Nadzór, kara pieniężna i przestępstwo gospodarcze

Nederlandse Arbeidsinspectie może zgodnie z artykułem 27 Arbeidsomstandighedenwet wydać eis tot naleving, czyli wiążąco określić, w jaki sposób przepis należy wykonać, wraz z terminem. Artykuł 9.22 Arbeidsomstandighedenbesluit dopuszcza ten środek dla właściwych tu artykułów rozdziału 4. Zgodnie z artykułem 28 urzędnik nadzoru może nakazać, aby określone prace zostały wstrzymane albo nie zostały rozpoczęte, jeżeli według jego rozsądnej oceny stanowią one poważne zagrożenie dla osób; uprawnienie obejmuje plombowanie środków pracy i stanowisk pracy.

Odpady

Regeling Europese afvalstoffenlijst uznaje za wiążący wykaz z załącznika do decyzji 2000/532/WE. Dla materiału izolacyjnego innego niż azbest w rozważanie wchodzi 17 06 03* „overig isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat”, dla gruzu piecowego 16 11 03* i 16 11 05*, dla chromianów jako substancji 16 09 02*. Artykuł 4 ustęp 1 przypisuje odpad wpisowi oznaczonemu gwiazdką, jeżeli zostanie ustalone, że ma on jedną z właściwości załącznika III dyrektywy ramowej o odpadach. Ustęp 2 określa, że nie uwzględnia się przy tym skutków odparowania, rozcieńczenia, zmieszania ani wymywania.

Odstęp do reżimu azbestowego

Część 5 rozdziału 4 reguluje azbest odrębnie. Artykuł 4.54a ustęp 1 wymaga pełnej inwentaryzacji obecności azbestu, zanim rozpocznie się rozbiórkę lub demontaż budowli albo obiektów, w których według rozsądnego oczekiwania zastosowano azbest; inwentaryzacja i sprawozdanie są zgodnie z ustępem 4 zastrzeżone dla przedsiębiorstwa posiadającego certyfikat. Artykuł 4.54d ustęp 1 wymaga dla usuwania od klasy ryzyka 2 przedsiębiorstwa z certyfikatem, a ustępy 5 i 7 certyfikatów kwalifikacji osób skierowanych do pracy. Artykuł 4.47c ustęp 1 wymaga zgłoszenia organowi nadzoru najpóźniej dwa dni przed rozpoczęciem prac. Artykuł 4.51a wymaga przed uchyleniem strefy zagrożenia oceny końcowej z inspekcją wzrokową i pomiarem odniesionym do wartości 10 000 włókien na metr sześcienny.

Co z tego wynika dla zakładu w Niderlandach

Z wymienionych przepisów wynika sprawdzalny zestaw dokumentów. Należą do niego pisemna ocena według artykułu 4.2 ustęp 1 dla połączenia materiałów gorącego elementu ze stali stopowej z chromem i zasadowego materiału izolacyjnego oraz siedem informacji według artykułu 4.13 wraz z uzasadnieniem, dlaczego substytucja nie jest technicznie wykonalna. Należy do niego ustalona przez pracodawcę wartość graniczna według artykułu 4.16 ustęp 2, o ile nie ma zastosowania wartość ustawowa. Należą do niego lista według artykułu 4.15 z czterdziestoletnim przechowywaniem, roczne szkolenie według artykułu 4.19 litera a oraz opis odpadu według artykułu 10.39 Wet milieubeheer.

19. Obowiązki w Zjednoczonym Królestwie

Ten rozdział zestawia brytyjskie przepisy w jednym miejscu, tak jak czynią to trzy poprzednie rozdziały dla Niemiec, Unii Europejskiej i Niderlandów. Zjednoczone Królestwo od 1 stycznia 2021 roku nie jest już związane dyrektywą 2004/37/WE. Podstawowy przepis, Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002, jest starszy niż ta dyrektywa i obowiązuje nadal w niezmienionym brzmieniu.

Zakres terytorialny jest podzielony. COSHH Regulations 2002 i Control of Asbestos Regulations 2012 noszą adnotację „E+W+S” i obowiązują tym samym w Anglii, Walii i Szkocji; Irlandia Północna ma w Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Northern Ireland) 2003 i w Control of Asbestos Regulations (Northern Ireland) 2012 własne, zbudowane tak samo co do treści przepisy. W prawie odpadowym cztery części kraju idą własnymi drogami, z osobnymi rozporządzeniami dla Anglii, Walii, Szkocji i Irlandii Północnej. Dane tego rozdziału odnoszą się, o ile nie podano inaczej, do Anglii i Walii.

Pojęcie substancji nie zależy od klasyfikacji

Regulation 2(1) określa, co jest „substance hazardous to health”. Litera a obejmuje każdą substancję, która spełnia kryteria klasyfikacji w klasie zagrożenia dla zdrowia według rozporządzenia CLP, i to wyraźnie „whether or not the substance is classified under that Regulation”. Litera b obejmuje substancje z wartością graniczną na stanowisku pracy zatwierdzoną przez brytyjski urząd HSE, litera d pył każdego rodzaju powyżej podanego tam stężenia. Chromian, który powstaje na granicy faz między izolacją a gorącym elementem, spełnia kryteria liter a i b, bez konieczności istnienia dostawcy, karty charakterystyki ani formalnej klasyfikacji.

Zapobieganie, zastąpienie i to, co rozsądnie wykonalne

Regulation 7(1) wymaga zapobieżenia narażeniu albo, o ile nie jest to rozsądnie wykonalne, odpowiedniego jego kontrolowania. Regulation 7(2) stwierdza pierwszeństwo zastąpienia; regulation 7(3) porządkuje dalsze stopnie od ukształtowania procesów przez kontrolę u źródła do środków ochrony indywidualnej. Regulation 7(4) litera b wymaga wyraźnie „the adoption of suitable maintenance procedures”, litera c zmniejszenia liczby narażonych pracowników, wysokości i czasu trwania narażenia oraz ilości obecnej na stanowisku pracy do minimum niezbędnego dla pracy. Rozdział 30 podaje brzmienie ustępów 1, 2 i 5.

Wartość graniczna 0,01 mg/m³ i stan publikacji HSE

EH40/2005 w wydaniu czwartym 2020 prowadzi w tabeli 1 wpis „Chromium (VI) compounds (as Cr)” z wartością średnią ośmiogodzinną 0,01 mg/m³ i wartością 0,025 mg/m³ dla narażenia powstającego w procesie, z uwagami Carc, sen i BMGV. Przypis do tego wpisu określa: „„Process generated’ refers to exposures to Chromium (VI) Compounds generated as a result of a work process, such as fumes from welding.” Obniżona wartość obowiązuje od 17 stycznia 2020 roku; uwaga wstępna tego wydania wymienia związki chromu(VI) wśród substancji z obniżoną wartością graniczną.

Zwroty wskazujące rodzaj zagrożenia wyzwalają obowiązek

Zwroty klasyfikacyjne są w prawie brytyjskim punktem zaczepienia. Regulation 2(1) określa substancję niebezpieczną dla zdrowia przez kryteria rozporządzenia CLP i definiuje je w tym samym przepisie jako rozporządzenie (WE) nr 1272/2008, którego artykuł 6 ustęp 5, 11 ustęp 3, 12, 14, 18 ustęp 3 litera b, 23, od 25 do 29 i 35 ustęp 2 oraz załączniki od I do VII „are to be read as amended from time to time”. Regulation 7(7) litera c wymienia następnie poszczególne zwroty wskazujące rodzaj zagrożenia w ich brzmieniu. Numer i obejmuje substancję z „the hazard statement H340, H350 or H350i” albo substancję lub proces wymieniony w Schedule 1, numer ii substancję z „the hazard statement H334”.

Pomiar, nadzór nad zdrowiem i czterdzieści lat

Regulation 10(1) uzależnia pomiar od przesłanki. Pomiar wykonuje się, gdy ocena ryzyka wykazuje, że jest on „requisite” dla utrzymania odpowiedniej kontroli albo dla ochrony zdrowia pracowników. Regulation 10(2) pozwala na odstępienie, gdy pracodawca może w inny sposób wykazać, że wymagania regulation 7(1) są spełnione. Obowiązku pomiaru co do zasady nie ma.

Nadzór, przestępstwo i obowiązek zgłoszenia

Nadzór pracuje dwoma rodzajami nakazów. Zgodnie z section 21 inspektor może wydać improvement notice, gdy przepis jest naruszany, z terminem na usunięcie uchybienia. Zgodnie z section 22 może wydać prohibition notice, gdy czynność wiąże się z niebezpieczeństwem poważnego uszkodzenia ciała; notice może stać się skuteczne natychmiast i zakazuje czynności do usunięcia uchybień. Urzędowego zgłoszenia prac z czynnikami rakotwórczymi przed rozpoczęciem prawo brytyjskie nie zna.

Odstęp do reżimu azbestowego

Control of Asbestos Regulations 2012 pokazują, co porządek prawny nakazuje dla uznanego ryzyka procesowego. Regulation 5 wymaga przed pracami rozbiórkowymi, utrzymaniowymi i podobnymi ustalenia obecności, rodzaju i stanu azbestu i określa dla przypadku wątpliwego, że jego obecność należy przyjąć. Regulation 6 wymaga zapisania istotnych wyników niezależnie od wielkości zakładu. Regulation 7 wymaga pisemnego planu prac o przepisanej treści minimalnej.

Co nazywają przepisy brytyjskie

Żaden brytyjski akt prawny nie nazywa powstawania chromianów na izolowanych gorących elementach ze stali stopowej z chromem. Jedyny wpis dotyczący chromu w odstępach pomiarowych COSHH Regulations dotyczy chromowania galwanicznego, a jedyny wpis dotyczący chromu w nadzorze nad zdrowiem wytwarzania chromianu potasu i sodu. Izolacja, wysoka temperatura i gorące elementy w rozporządzeniu nie występują. Wykaz odpadów obejmuje ten stan rzeczy tylko przez wpis zwierciadlany dla materiału izolacyjnego, bez nazwania chromu.

Co z tego wynika dla zakładu w Zjednoczonym Królestwie

Obowiązki zaczynają się przed pracą. Regulation 6(1) zakazuje rozpoczęcia bez odpowiedniej i wystarczającej oceny, a regulation 6(2) litera e podaje konserwację z potencjałem wysokiego narażenia jako odrębny przedmiot oceny. Ocena, która nie rozpatruje drogi powstawania na izolowanych gorących elementach ze stali stopowej z chromem, choć materiały elementów i temperatury pracy są znane, tego wymagania nie spełnia.

20. Załącznik: materiały izolacyjne z tlenkami zasadowymi i miejsca ich zabudowy

Następujące dostępne w handlu materiały izolacyjne zawierają opisane tlenki zasadowe, które mogą wywołać termochemiczne powstawanie in situ opisanych związków chromu(VI). Nie są to przypuszczenia, lecz wnioski wyprowadzone z danych producentów, ostrzeżeń użytkowników i własnych obserwacji w terenie.

Kolumna z podstawą podaje pochodzenie informacji. H oznacza dane producenta lub normy, W ostrzeżenie lub wskazanie użytkownika, F własną obserwację w terenie. Tam, gdzie producent nie publikuje liczb, jest to w tabeli wyraźnie zapisane.

Materiały izolacyjne zawierające tlenki wapnia, sodu i dalsze tlenki zasadowe

Materiał i postać handlowa	Udokumentowana zawartość tlenków zasadowych	Podstawa
Szkoło E, przędza i tkanina do obwodów drukowanych i lotnictwa	CaO 16 do 25 %, MgO 0 do 5 %, Na ₂ O i K ₂ O 0 do 2 %	H
Wełna mineralna, wełna skalna i szklana: mata, mata na siatce drucianej, płyta, otulina	Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO i BaO razem powyżej 18 procent masowych; wartość ta jest częścią definicji substancji według załącznika VI, numer indeksowy 650-016-00-2, a nie właściwością partii	H
Wełna AES, definicja substancji podana przez producentów	tlenek wapnia i tlenek magnezu razem 18 do 43 %, dwutlenek krzemu 50 do 82 %	H
Wełna AES, mata (Superwool Plus Blanket)	CaO 26 do 32 %, MgO 3 do 7 %	H

Materiał i postać handlowa	Udokumentowana zawartość tlenków zasadowych	Podstawa
Wełna AES, mata (Insulfrax LT)	CaO 27 do 33 %, MgO 2,5 do 6,5 %	H
Wełna glinokrzemianowa i włókno ceramiczne (ASW, RCF): mata, płyta, papier, moduł	Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO i BaO razem mniej lub równo 18 procent masowych; wartość rozdziałająca wobec indeksu 650-016-00-2. Karty danych producentów nie podają liczbowo tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych	H
Krzemian wapnia, płyta i kształtka	CaO 38 do 43 %	H
Perlit ekspandowany: zasyпка i kształtka	Na ₂ O 3,7 %, K ₂ O 5,3 %, CaO 0,5 %, MgO 0,1 %. Analiza pochodzi z perlitu filtracyjnego; dla materiałów izolacyjnych do rurociągów i zbiorników producenci nie publikują analizy tlenkowej	H
Wermikulit ekspandowany: zasyпка i płyta	MgO 21,5 do 25,5 %, K ₂ O 3 do 6 %, CaO 2,0 do 6,0 %; karta danych wymienia dodatkowo Cr ₂ O ₃ z 0,01 do 0,15 %	H
Mata aerogelowa	nie zadeklarowano żadnego związku wapnia ani sodu; powyżej 50 % szkła tekstylnego bez specyfikacji chemicznej	H
Pasta montażowa do gorących elementów, zawierająca wapń	wodorotlenek wapnia 10 do poniżej 20 procent masowych	H

Zastosowania z tymi materiałami izolacyjnymi

Obszar zastosowania	Izolowane elementy, materiał izolacyjny i postać handlowa	Temperatura	Podstawa
Jachty i superjachty	Przewód spalin, kolektor spalin, turbosprężarka w wykonaniu suchym i zawory indykatorowe; mata izolacyjna z nitowaną okładziną z blachy, metaliczna okładzina izolacyjna w konstrukcji kasetowej, zdejmowalne tekstylne osłony izolacyjne. Odcinki zdejmowalne są wyraźnie przewidziane do konserwacji	wymagana temperatura powierzchni poniżej 220 °C; elementy w maszynowni do 750 °C	H
Kontenerowce i statki handlowe, silnik dwusuwowy	Kolektor spalin i przewody spalin; izolacja z pokryciem z blachy cynkowanej	w dokumencie nie podano	H
Kontenerowce i statki handlowe, silnik czterosuwowy	Przewód spalin od wylotu turbosprężarki przez kocioł spalin i tłumik aż do komina, do tego instalacja SCR; poduszki izolacyjne na turbosprężarce, ciągła izolacja od 30 mm grubości z blachą osłonową, izolacja SCR wykonana jako demontowalna	wylot turbiny 390 °C w pracy normalnej, 450 °C w założeniach projektowych, 554 °C w pracy awaryjnej	H
Statki wycieczkowe	Diesle pomocnicze, przewody spalin i oczyszczanie spalin; te same serie silników i to samo wykonanie izolacji jak przy pracy czterosuwowej w żegludze handlowej, zdejmowalne materace na armaturze	jak silnik czterosuwowy	F

Obszar zastosowania	Izolowane elementy, materiał izolacyjny i postać handlowa	Temperatura	Podstawa
Lokomotywy i pojazdy szynowe	Turbosprężarka spalin, kolektor wylotowy, całe trakty spalin i oczyszczanie spalin; tekstylna kształtka izolacyjna według normy ochrony przeciwpożarowej EN 45545, izolacja integralna z osłoną zewnętrzną z folii ze stali nierdzewnej lub z blachy cienkiej, szyte maty izolacyjne z krzemianem metali ziem alkalicznych, szkłem E lub siliką jako materiałem izolacyjnym oraz z folią ze stali nierdzewnej lub folią na bazie niklu po stronie gorącej, wyraźnie zdejmowalne i wielokrotnego użytku	kształtka do 650 °C; typy mat do 816 °C i do 1149 °C	H
Maszyny budowlane i mobilne maszyny robocze	Turbosprężarka, kolektor, układ wylotowy, moduły filtra cząstek stałych i SCR, izolacja podwozia i osłona cieplna komory silnika; trójwymiarowe kształtki włókniste z osłonami zewnętrznymi z folii ze stali nierdzewnej lub z blachy cienkiej	elementy do 750 °C, obniżenie temperatury powierzchni poniżej 220 °C	H
Elektrociepłownie blokowe i kogeneracja	Układ wylotowy i turbosprężarka spalin silnika gazowego; metaliczna okładzina izolacyjna jako całkowicie zdejmowalne moduły	spaliny 421 °C przy pełnym obciążeniu, 476 °C przy połowie obciążenia	H
Instalacje zasilania rezerwowego i awaryjnego, także w centrach danych	Przewód spalin agregatu z silnikiem Diesla; otuliny z krzemianu wapnia lub z wełny mineralnej, ułożone dwuwarstwowo, z płaszczem, bandażami i drutem wiążątkowym ze stali nierdzewnej 304. Producent zaleca w tym przypadku wyraźnie krzemian wapnia, ponieważ organiczne spoiwo wełny mineralnej wypala się od około 177 °C	od 371 °C do prawie 538 °C	H
Turbiny gazowe i parowe	Kanał spalin, element przejściowy, obudowa turbiny, kocioł odzysknicowy, tłumik i komin; izolacja wewnętrzna za blachami wykładziny ze stali 304 lub 409, elastyczne poduszki izolacyjne, maty izolacyjne z włókien i moduły włókniste w kotle odzysknicowym, materace izolacyjne na obudowie, zdejmowalne i wielokrotnego użytku	obudowa powyżej 500 °C, kanał spalin powyżej 480 °C, kocioł odzysknicowy do 1093 °C	H, W
Pojazdy drogowe, samochody ciężarowe i samochody osobowe	Osłony cieplne, kolektory odlewane, układ wylotowy, filtr cząstek stałych, SCR i maty podporowe w katalizatorze; osłona cieplna w konstrukcji kasetowej z blachą osłonową lub folią ze stali nierdzewnej albo z aluminium i z wewnętrznym wkładem izolacyjnym, mata igłowana jako mata podporowa	osłona cieplna do 1100 °C w zależności od materiału; szczytowa temperatura kolektora 1000 °C	H
Piece przemysłowe, kotły, spalarnie odpadów i instalacje na biomasę	Ściany kotłów, kanały spalin i rurociągi; maty z wełny skalnej na siatce drucianej cynkowanej lub ze stali nierdzewnej	do 640 °C, wykonanie ciężkie do 649 °C	H
Instalacje chemiczne i rafinerie	Rurociągi ze stali austenitycznych, armatura i kołnierze; maty na siatce drucianej, otuliny i zdejmowalne kaptury	do 640 °C, otuliny do 650 °C	H

Pełne tabele, ze wskazaniem źródła przy każdym wierszu, znajdują się w załączniku do analizy.

21. Konsekwencja

Tam, gdzie powstawaniu można zapobiec, należy mu zapobiec. Nie jest to zalecenie, lecz kolejność z § 7 ustęp 3 i 4 niemieckiego rozporządzenia o substancjach niebezpiecznych. W izolacji wysokotemperaturowej dostępne są substancje zastępcze, które wykluczają drogę powstawania, ponieważ nie zawierają tlenków metali alkalicznych ani metali ziem alkalicznych. Oceny możliwości substytucji nie da się tym samym przeprowadzić bez wyniku.

Tam, gdzie nie da się temu zapobiec, jak w spalaniu odpadów, pozostaje uznanie tego procesu i odpowiednie ukierunkowanie ochrony pracy i ochrony środowiska: minimalizacja narażenia, praca o małym zapyleniu, obszary wydzielone, dokumentacja.

Czyszczenie i dekontaminacja działają dla danego przypadku. Nie usuwają przyczyny materiałowej: jeżeli izolacja zawierająca wapń pozostaje na gorącym elemencie ze stali stopowej z chromem, chromian powstaje na nowo przy następnym obciążeniu termicznym (rozdział 26).

WD-40 nie redukuje chromu(VI). Zbieranie pozostałości ściereczką i olejem penetrującym usuwa materiał z powierzchni i w tym zakresie wrażenie z praktyki jest zrozumiałe. Chromian pozostaje przy tym chemicznie niezmienny i występuje następnie w materiale czyszczącym i w odpadzie; zarazem przechodzi do fazy olejowej i nie jest już ujmowany przy pomiarze (rozdział 26).

Wszędzie tam, gdzie gorący element ze stali stopowej z chromem wchodzi w kontakt z tlenkiem zasadowym, należy liczyć się z powstawaniem chromianów. Pytanie, czy nie trzeba było tego zobaczyć, powstaje dla każdego z omawianych tu obszarów i powstaje od kwietnia 1990 roku.

Historia wersji

Wersja	Data	Zmiana
1.0	październik 2026	Pierwsza wersja
1.1	październik 2026	Rozdziały 6 i 10 uzupełnione o ustalenie dotyczące filmów olejowych i WD-40.
1.2	październik 2026	Napisane całkowicie na nowo i pogłębione: droga powstawania, stan dowodów, mity, sformułowanie komunikatów ostrzegawczych, analityka oraz kwestia zlecenia neutralizacji.
1.3	październik 2026	Rozdział 7 rozszerzony o udokumentowany ciąg metod obróbki: instrukcja robocza Vattenfall Generation NL, certyfikat jednostki badawczej wraz z jego warunkami i jego skrócenie na slajdzie dostawcy, powtórzenie niezmienionej instrukcji na konferencji 6 listopada 2025 oraz porównanie z redukcją chromianów w cemencie.
1.4	październik 2026	Rozdział 8 uzupełniony o obowiązki przed rozpoczęciem prac według prawa niemieckiego, niderlandzkiego, brytyjskiego i amerykańskiego; rozdział 7 rozszerzony o zestawienie instrukcji roboczej niemieckiej Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft z jej publiczną stroną informacyjną oraz o tożsame wypowiedzi dostawców na temat chromu(III).
1.5	październik 2026	Nowy rozdział 12 o chromie(III) jako domniemanym stanie końcowym: tok argumentacji w dokumentach producentów, etapy reakcji według uzasadnienia MAK, brak oznaczania form chemicznych, klasyfikacje według listy MAK i BAT 2026 oraz opinii Anses z 2021, precedens garbowania skór i powrót niezwiązanego chromu(III) na gorący element; rozdział 7 uzupełniony o dostawcę MATinspired i obieg kontrolny wokół testu TKII; kolejne rozdziały przesunięte o jeden numer; odesłania do analizy zaktualizowane.
1.6	październik 2026	Rozdział 6 rozszerzony o wynik pomiaru na dłoni z francuskiego badania terenowego i zestawienie z wartościami w powietrzu i moczu; rozdział 8 uzupełniony o uzasadnienie wyboru cytowanych przepisów i cztery poziomy oceny; rozdział 9 rozszerzony o szacunek rocznej liczby zdarzeń z analizy.
1.7	październik 2026	Nowy załącznik z dwiema tabelami: dostępne w handlu materiały izolacyjne z udokumentowaną zawartością tlenków zasadowych oraz obszary zastosowań, w których są one zabudowane na gorących elementach ze stali chromowej. Pełne tabele ze źródłami znajdują się w analizie. Ponadto sprostowano: numer CAS 142844-00-6 oznacza wełnę glinokrzemianową; wełna z krzemianów metali ziem alkalicznych figuruje pod numerem 436083-99-7.
1.8	październik 2026	Trzy nowe rozdziały o obowiązkach w Niemczech, w Unii Europejskiej i w Niderlandach, zagęszczone z rozdziałów o tych samych tytułach w analizie. Pełne rozdziały ze wszystkimi odesłaniami znajdują się tam.
1.9	październik 2026	Jeden nowy rozdział o obowiązkach w Zjednoczonym Królestwie, zagęszczony z rozdziału o tym samym tytule w analizie. Pełny rozdział ze wszystkimi odesłaniami znajduje się tam.
1.10	październik 2026	Brytyjska wartość graniczna została sprostowana do 0,01 mg/m³ według EH40 w wydaniu czwartym 2020. Zagęszczony rozdział o Zjednoczonym Królestwie przejmuje nowy podrozdział o zwrotach wskazujących rodzaj zagrożenia. Pełny rozdział ze wszystkimi odesłaniami znajduje się w analizie.

Wersja	Data	Zmiana
1.7 PL	październik 2026	Wydanie polskie: nowy rozdział 9 o obowiązkach w Polsce (Kodeks pracy, rozporządzenia o czynnikach chemicznych i o czynnikach rakotwórczych, rejestry i zgłoszenie do 15 stycznia, wartość NDS, Państwowa Inspekcja Pracy i Państwowa Inspekcja Sanitarna, odpady oraz porównanie z trybem azbestowym); kolejne rozdziały przenumеровane na 10 do 16.