

Impregnowanie drewnianych podkładów kolejowych z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych stosowanych środków ochrony drewna

Agnieszka JAWORSKA¹, Danuta MILCZAREK², Elżbieta NADUK³

Streszczenie

W artykule opisano metodę Rüpinga do impregnacji drewnianych podkładów kolejowych oraz rodzaje stosowanych środków impregnacyjnych. Na podstawie literatury scharakteryzowano kontrolę jakości nasycenia drewna oraz ocenę skuteczności działania środka impregnacyjnego. Przedstawiono metody i wyniki badań wyrobów drewnianych i właściwości fizykochemicznych oleju kreozotowego. W analizie literatury i wyników prac realizowanych przez Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa zwrócono szczególną uwagę na metodę impregnowania drewnianych podkładów kolejowych olejem kreozotowym w aspekcie wymagań normatywnych i badań własnych. W podsumowaniu odniesiono się do wyników badań oleju kreozotowego typu B i typu C. Oba rodzaje oleju porównano pod względem głębokości przesykania drewna, skuteczności grzybobójczej, wypłukiwania z drewna i uciążliwości zapachowej dla środowiska.

Słowa kluczowe: impregnowanie, drewniane podkłady kolejowe, środki ochrony drewna, olej kreozotowy

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach w Europie gwałtownie wzrosło zastosowanie podkładów betonowych, jednak podkłady drewniane są nadal stosowane, głównie z technicznych powodów (np. niskiej wrażliwości na wahania temperatury), a także z powodów ekonomicznych (np. kosztów usuwania bardzo dużej liczby podkładów). Materiał drewniany stosowany do budowy nawierzchni kolejowej jest narażony podczas użytkowania na działanie zmiennych warunków atmosferycznych, m.in. temperatury, wilgotności, promieni UV, a także na działanie biologiczne. Działanie wymienionych czynników ma niszczący wpływ na surowiec drewniany. Niszczące

¹ Doktor inżynier, Instytut Kolejnictwa, e-mail: ajaworska@ikolej.pl.

² Magister, Instytut Kolejnictwa, e-mail: dmilczarek@ikolej.pl.

³ Inżynier, Instytut Kolejnictwa, e-mail: enaduk@ikolej.pl.

działanie biologiczne polega na bezpośrednim atakowaniu drewna przez grzyby (lub owady), co w konsekwencji może przyczynić się do rozkładu brunatnego, białego, szarego, sinizny i pleśnienia drewna. Z tego względu przeprowadza się impregnowanie materiału drewnianego odpowiednimi substancjami chemicznymi w celu konserwacji, zabezpieczenia go przed niszczącym działaniem czynników, zwalczania korozji biologicznej, a także w celu nadania określonych właściwości użytkowych, np. hydrofobowych czy zwiększenia odporności biologicznej. Różnorodność zabezpieczanego materiału, metody impregnacji a także funkcje jakie powinny spełniać impregnaty powodują, że zagadnienie impregnacji drewna jest dość skomplikowane.

2. Proces impregnacji materiału drewnianego przeznaczonego do nawierzchni kolejowej

Zastosowanie drewna do nawierzchni kolejowych, a także skuteczność jego impregnacji, są limitowane następującymi czynnikami:

- rodzajem drewna,
- właściwościami fizykochemicznymi drewna,
- właściwościami fizykochemicznymi środków impregnacyjnych,
- metodami nasycenia drewna.

2.1. Metoda impregnacji materiału drewnianego

Metody stosowane w procesie nasycania drewna można podzielić na metody nasycania powierzchniowego i metody nasycania głębokiego. Do impregnowania podkładów kolejowych najszerze zastosowanie znalazła jedna z metod głębokiego nasycania, tj. metoda wysokociśnieniowa, często nazywana próżniowociśnieniową, a w szczególności metoda oszczędnościowa (pustokomórkowa, którą opracowano w 1902 r. przez Rüpinga i Wassermana) [1].

Metoda Rüpinga umożliwia osiągnięcie możliwie najgłębszego przesylenia danego rodzaju drewna przy minimalnym wchłonięciu cieczy impregnacyjnej [1]. Drewno przeznaczone do nasycenia umieszcza się w cylindrze, w którym ciśnienie zwiększane jest do 3–5 atm, w zależności od gatunku drewna. W temperaturze 90°C drewno jest całkowicie otoczone olejem, a jego komórki są wypełnione sprężonym powietrzem, które uniemożliwia olejowi przeniknięcie do jego wnętrza. Po całkowitym napełnieniu cylindra olejem jest on tłoczony w celu zwiększenia ciśnienia do około 6–8 atm. Przy takim ciśnieniu olej dostaje się do drewna. W momencie dostatecznego nasycenia drewna, olej zostaje wypuszczony z cylindra, powodując powstanie próżni [18]. Ponieważ nie każdy gatunek drewna jednakowo

łatwo ulega nasycaniu, proces ten pozwala operować wielkością ciśnienia, jeśli ma się do czynienia z mniej lub więcej spoistym drzewem lub zawartością w nim żywicy [1]. Warunkiem zastosowania tej metody jest wilgotność wyrobów drewnianych nie większa niż 25% [1]. Metoda Rüpinga ma następujące zalety [18]:

- pewność, że olej w dostatecznym stopniu nasycił drewno,
- metoda ta przewiduje zastosowanie oleju kreozotowego,
- skład oleju kreozotowego po przedostaniu się do drewna nie zmienia się,
- daje suchą, nie lepką zewnętrzną powierzchnię wyrobu drewnianego, dogodną w dalszej pracy,
- metoda jest tania,
- powoduje zwiększenie odporności i trwałości drewna, co jest bardzo istotne z punktu widzenia zastosowania wyrobu impregnowanego do budowy nawierzchni kolejowej (np. podkład bukowy impregnowany ma trwałość do 30 lat natomiast, nieimpregnowany – do 3 lat).

2.2. Kontrola jakości nasycenia materiału drewnianego

W metodzie Rüpinga kontrola nasycania polega na sprawdzeniu, czy drewno wchłonęło określoną ilość środka impregnacynego oraz czy ten środek przeniknął na dostateczną głębokość materiału drewnianego, wymaganą dla danego rodzaju, asortymentu i wilgotności drewna. Ilość wchłoniętego przez drewno środka impregnacynego określa się metodą wagową lub objętościową. Istotne znaczenie ma również równomierność nasycenia drewna, którą kontroluje się przez pobranie z nasyconych materiałów drewnianych wywierek. Różna nasycalność drewna może być związana z niejednorodnymi właściwościami budowy drewna i wilgotnością poszczególnych sztuk asortymentu. Głębokość przeniknięcia w drewno impregnatów barwnych, np. oleju kreozotowego, odmierza się w milimetrach na pobranej wywiercie i wyraża się w procentach lub milimetrach w zależności od gatunku drewna i strefy drewna [1].

3. Rodzaje środków ochrony drewna

Środki ochrony drewna przed grzybami i owadami powinny mieć następujące podstawowe właściwości [1]:

- dostatecznie wysoką toksyczność wobec tych organizmów,
- dużą trwałość w okresie użytkowania drewna nasyczonego,
- łatwość wnikania w drewno.

Ponadto pożądane jest, aby środek impregnacynny:

- nie był szkodliwy lub był mało szkodliwy dla ludzi i zwierząt,

- nie wywierał szkodliwego wpływu na drewno,
- nie zwiększał palności drewna, a w miarę możliwości ją obniżał,
- nie korodował stali powyżej dopuszczalnych norm,
- był dostępny w potrzebnych ilościach,
- był możliwie tani.

Z chemicznego punktu widzenia środki ochrony drewna można podzielić na środki nieorganiczne, środki organiczne a także inne preparaty ochrony drewna [1].

3.1. Nieorganiczne środki impregnacyjne

Nieorganiczne środki impregnacyjne są to związki chemiczne, głównie w postaci soli o właściwościach toksycznych w stosunku do grzybów. Środki te są rozpuszczalne w wodzie w różnym stopniu, a ich wadą jest wymywanie się z drewna nasyconego. Nie ogranicza to jednak skutecznego zabezpieczania drewna, które nie jest narażone na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych. Przez odpowiedni dobór rodzaju soli grzybobójczych (dwóch- i więcej), a także ich dobór ilościowy w roztworze impregnacyjnym, można rozszerzyć zakres stosowania tych środków. Do impregnacyjnych środków nieorganicznych można zaliczyć fluorki – fluorek sodu NaF, kwaśne fluorki: fluorek sodu NaF HF, fluorek potasu KF HF, fluorek amonu NH_4F HF, sole Wolmana; fluorokrzemiany – fluorokrzemian cynku $\text{ZnSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, fluorokrzemian magnezu $\text{MgSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; związki arsenu – arsenin sodu Na_2HAsO_3 , arsenian sodu Na_2HAsO_4 , sole Bolidena; związki boru – kwas ortoborowy H_3BO_3 , boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, kwas tetrafluoroborowy HBF_4 , sól NH_4BF_4 ; dichromiany – dichromian sodu $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dichromian potasu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; chlorki – chlorek cynku ZnCl_2 , siarczan (VI) miedzi (II) [1].

3.2. Organiczne środki impregnacyjne

Do środków impregnacyjnych organicznych należą związki chemiczne stałe lub ciekłe, które są dobrze rozpuszczalne w odpowiednich rozpuszczalnikach organicznych, a nierozpuszczalne lub trudno rozpuszczalne w wodzie. Środki te są stosowane głównie w rozpuszczalnikach oleistych. Podatność do ograniczonego wymywania z drewna oleistych środków impregnacyjnych jest spowodowana własnościami hydrofobowymi tych środków. Środki oleiste przeznaczone są do nasycania drewna suchego. Do wad tych środków należy zaliczyć obniżenie temperatury zapłonu drewna (w krótkim czasie po nasyceniu, kiedy wyparowują z drewna lotne substancje), a także nieprzyjemny zapach, który wydziela się z drewna nasyconego. Do impregnacyjnych środków organicznych zalicza się: karbolineum, dinitrofenol, dinitrofenolan sodu, pentachlorofenol, pentachlorofenolan sodu, nafteniany miedzi, chloroacetamid oraz olej kreozotowy [1].

Do najbardziej znanych i stosowanych środków organicznych do nasycania drewnianych podkładów kolejowych (95% impregnowanych drewnianych podkładów kolejowych w 2010 r.) należy olej kreozotowy, nazywany też impregnacynym. Zastosowanie tego środka impregnacynego do ochrony drewna w podkładach kolejowych zwiększa trwałość podkładu od 10 do 30 lat. Olej kreozotowy występuje w postaci oleistej cieczy o charakterystycznym zapachu [1, 3, 18, 21].

Olej kreozotowy jest mieszaniną produktów destylacji smoły węgla kamiennego wrzących w granicach temperatur 200–360°C. Składa się on z różnych związków aromatycznych. Największą grupę związków oleju impregnacynego stanowią składniki o charakterze obojętnym (80–90%). Są to głównie wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne: naftalen, antracen, fenantren, piren, chryzen i inne. Zawartość składników o charakterze kwasowym, głównie fenoli, waha się przeważnie w granicach 4–16% (konkretną wielkość dopuszczają normy poszczególnych krajów). Składniki zasadowe stanowią (3,5-4,5)% oleju impregnacynego. Są to przede wszystkim pirydyna i jej pochodne, chinolina i jej pochodne metylowe, izochinolina i inne [1].

Głównym czynnikiem impregnacynym w oleju kreozotowym są wysoko wrzące neutralne składniki o charakterze obojętnym. Z tego powodu zmniejszono zawartość wszelkich kwasów, np. kwasu karbolowego w oleju. Na podstawie badań stwierdzono, że kwas karbolowy jest środkiem antygnilnym tylko w środowisku wodnym, natomiast w środowisku oleju tych własności nie ma [18]. Do usunięcia z drewna czynników gnilnych i bakterii wystarczają bardzo nieznaczne ilości oleju kreozotowego [18]. Olej kreozotowy nie powoduje korozji stali, co jest szczególnie ważne dla części składowych nawierzchni kolejowej oraz słupów telegraficznych i słupów sieci elektrycznych. Olej jest tanim środkiem grzybobójczym, cechuje się stosunkowo wysoką toksycznością w stosunku do grzybów i owadów oraz dużą trwałością w drewnie nasyconym. Chroni ponadto drewno w dużym stopniu przed nawilżaniem. Warunki techniczne, jakim powinien odpowiadać produkowany w Polsce olej kreozotowy, określa norma PN-EN 13991 [12].

Olej kreozotowy nadaje się dobrze do impregnacji wyrobów drewnianych dzięki połączeniu trzech następujących własności [18]:

- ma dobre własności antygnilne,
- nie usuwa się z materiału drewnianego pod wpływem wody lub wilgoci gruntowej,
- nie zmienia swych własności pod wpływem składników gruntowych, jak to ma miejsce przy solach metali.

W wyniku badań mikroflory na drewnianych materiałach kolejowych nasyconych olejem kreozotowym, wyodrębniono bakterie *Pseudomonas*, które mają zdolność do wzrostu na tym oleju, jako jedynym źródle węgla. Jedynie składniki obojętne (głównie wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne: naftalen, antracen,

fenantren, piren, chryzen) są dobrym źródłem węgla do wzrostu szczepów tych bakterii. Składniki o charakterze kwasowym (np. fenole) oraz składniki zasadowe (pirydyna, chinolina) wywierają hamujący wpływ na wzrost bakterii *Pseudomonas*. Olej kreozotowy uznano jako substancję toksyczną wobec grzybów występujących, np. na podkładach. Jednak wykonawcy badań sugerują zmianę procentowej normy dotyczącej zawartości związków o charakterze kwasowym i zasadowym w oleju kreozotowym. Jest to związane z faktem, że mimo wszystko grzyby są główną przyczyną biologicznego niszczenia materiałów drewnianych nawierzchni kolejowej. Poza tym te materiały są niszczone przez czynniki mechaniczne i atmosferyczne, którym trudno jest skutecznie zapobiec [1].

3.3. Inne środki ochrony drewna

W celu przedłużenia użyteczności drewna stosowanego do podkładów kolejowych, należy uwzględnić inne metody jego ochrony. Zmniejszenie czasu rozkładu drewna przez grzyby jest możliwe przez zaaplikowanie fungicydu bezpośrednio do drewna [22]. Analiza danych literaturowych wykazała, że w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku jednym z najczęściej stosowanych środków ochrony drewna w Europie były preparaty typu CCB (chrom – miedź – bor). Są to środki ochrony skuteczne w zakresie szerokiego spektrum grzybów niszczących drewno, a po utrwaleniu się w drewnie, jednocześnie małym ryzyku oddziaływania na środowisko [16, 19]. Mieszaninę soli grzybobójczych opracowano także w Polsce. Środek ochrony drewna zawierał oprócz soli chromu, miedzi i boru również sole cynku, co wpływa na zwiększenie zakresu jego aktywności grzybobójczej w stosunku do grzybów rozkładu brunatnego, białego i szarego [19, 20]. Wśród najczęściej stosowanych fungicydów znajdują się także: tlenek tributyllocynowy (TBTO), preparat typu CCA (zawierający sole Cr, Cu, As), sól sodowa pentachlorofenolu (NaPCP), chlorek alkilo-dimetylo-benzyloaminowy (QAC) [17].

Znane są także inne sposoby zabezpieczenia drewna i materiałów drewnopochodnych stosowanych w kolejnictwie przed działaniem czynników atmosferycznych i mikroorganizmów. Do polepszenia odporności stosuje się polimeryzację wprowadzonych do drewna monomerów i wytworzenie powłoki żywicznej [23].

4. Skuteczność działania środka impregnacyjnego

Skuteczność działania impregnatu materiału drewnianego zależy od stopnia wchłonięcia substancji w strukturę drewna. Głębokość wnikania roztworów impregnacyjnych w drewno ma istotny wpływ na trwałość drewna nasyconego. Do najważniejszych czynników, które mają wpływ na głębokość wnikania należą:

- gatunek drewna i jego cechy własne (biel, twardziel, fałszywa twardziel, sinizna),

- wilgotność drewna (drewno poddane impregnacji powinno charakteryzować się jak najmniejszą wilgotnością),
- rodzaj środka impregnacyjnego i jego właściwości fizykochemiczne,
- metoda i technologia nasycania (temperatura, ciśnienie, czas nasycenia) [1].

Skuteczność działania środków ochrony drewna określają wymagania normy PN-EN 599-1 [7]. Zgodnie z nią, środki impregnacyjne należy badać z uwzględnieniem odpowiedniej klasy zagrożenia, metody stosowania, rodzaju drewna do którego zamierza się je zastosować, gatunku owadów (o ile w ogóle) oraz potrzeby stosowania powłoki lakieru lub innej powłoki. Środki ochrony drewna przeznaczone do nawierzchni kolejowej powinny spełniać minimalne wymagania skuteczności zgodnie z 4 klasą zagrożenia. Środki te powinny wykazać skuteczność przeciwko grzybom podstawczakom rozkładającym drewno zgodnie z EN 113 po EN 73 i oddzielnie po EN 84, włączając w to *Coriolus versicolor* na buku i / lub sośnie zwyczajnej i skuteczność przeciwko wywołującym rozkład szary mikroorganizmom zgodnie z ENV 807. Jeżeli może być zadana lub wymagana dodatkowa skuteczność biologiczna w badaniach poligonowych lub przeciwko grzybom powodującym siniznę wtórną, środek powinien wykazać skuteczność zgodnie z wymaganiami testów zgodnych z EN 252 lub EN 152-2. Środki przeznaczone do stosowania w klasie zagrożenia 4 należy badać zgodnie z EN 113, stosując *Coriolus versicolor* i skuteczność dla tego grzyba trzeba wykazać na sośnie zwyczajnej albo na buku, albo na nich obu, zależnie od tego, czy żąda się lub specyfikuje skuteczność dla drewna iglastego, liściastego czy dla obu rodzajów [7].

5. Proces impregnacji materiału drewnianego olejem kreozotowym

Trwałość nasyconych elementów drewnianych w torze zależy od wielu czynników. Wśród nich można wymienić [1]:

- rodzaj drewna i jego budowę,
- wilgotność w chwili nasycania,
- metodę nasycania,
- skuteczność działania środka impregnacyjnego (jego rodzaj i ilość wchłonięta przez drewno),
- warunki klimatyczne,
- rodzaj podsypki i sposób przytwierdzenia szyny do podkładu,
- dokładność utrzymania torów,
- prędkość pociągów oraz obciążenie przewozami na danej linii.

5.1. Badania wyrobów drewnianych przeznaczonych do nawierzchni kolejowej

Wyroby drewniane stosowane do budowy nawierzchni kolejowej takie, jak podkłady, podrozdżadnice i mostownice są wytwarzane z drewna sosnowego (25%), dębowego (51%), bukowego (21%) a także innych rodzajów drewna (3%).

Metody badań elementów drewnianych

W Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa wykonywano badania wyrobów drewnianych przeznaczonych do nawierzchni kolejowej, stosując następujące metody:

- określenie rodzaju, typu, odmiany, jakości i zabezpieczenia przed pękaniem materiału drewnianego nawierzchni kolejowej według PN-EN 13145 [10],
- określenie wymiarów materiału drewnianego nawierzchni kolejowej według PN-EN 13145 [10],
- Oznaczenie wilgotności drewna według PN-EN 13183 [11],
- Oznaczenie głębokości przesylenia drewna według PN-D-95014 [6]
- Oznaczenie ilości oleju impregnacyjnego pochłoniętego przez drewno według PN-D-95014 [6]

Tablica 1

Uśrednione wyniki badań wyrobów drewnianych nasączonych olejem kreozotowym typu B i C uzyskane w nasycalniach 1–5* w latach 2008–2012

Table 1

Averaged results of saturated wood creosote oil type B and C obtained in wood treating plants 1–5* in 2008–2012

Rodzaj elementu drewnianego	Odmiany materiału drewnianego	Wilgotność drewna [% H ₂ O]	Głębokość przesylenia drewna [mm]**		Ilość oleju pochłoniętego przez drewno [kg/m ³]***	
			Olej B	Olej C	Olej B	Olej C
Mostownice	Dębowe	22,8 ± 1	12,0	12,3	49,0	45,8
Podkłady		22,1 ± 1	20,0	17,7	61,1	51,0
Podrozdżadnice		23,1 ± 1	23,6	12,4	57,0	52,3
Mostownice	Sosnowe	19,8 ± 1	27,5	40,0	87,9	89,5
Podkłady		19,8 ± 1	26,5	31,6	107,5	118,0
Podrozdżadnice		21,0 ± 1	41,0	35,9	110,5	103,0
Podkłady	Bukowe	20,9 ± 1	37,2	30,1	157,7	147,4

* Szczegółowe wyniki badań są w posiadaniu Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji.

** Niepewność pomiaru na poziomie ufności 95% wynosi ±1 mm.

*** Niepewność pomiaru na poziomie ufności 95% wynosi ±5%.

Analiza wyników badań wyrobów drewnianych nawierzchni kolejowej

W tablicy 1 przedstawiono zestawienie wyników badań (wartości uśrednione), istotnych z punktu widzenia procesu impregnacji olejem kreozotowym typu B i C różnego rodzaju elementów drewnianych i odmian materiału drewnianego przeznaczonych do nawierzchni kolejowej, uzyskane w nasycalniach podkładów w latach 2008–2012. Sposób pobrania próbek i miejsce pobrania próbek były zgodne z normą PN-D-95014 [6].

Z zestawień wyników dla poszczególnych nasycalni wynika, że procesy nasycania materiału drewnianego sosnowego, dębowego i bukowego przeznaczonego do nawierzchni kolejowych są prowadzone zgodnie z wymaganiami norm przedmiotowych [6]. Olej typu B i olej typu C przesyca drewno zgodnie z wymaganiami norm przedmiotowych. Zaobserwowana mniejsza głębokość przesylenia w procesie impregnacji olejem typu C w porównaniu do procesu impregnacji olejem typu B, może być spowodowana właściwościami fizykochemicznymi, takim jak: wyższa lepkość i wyższa temperatura krystalizacji oleju kreozotowego typu C. Należy zwrócić również uwagę, że zarówno norma PN-D-95014 [6] oraz PN-EN 13145 [10] nie różnicują wymagań w zakresie impregnacji wyrobów drewnianych nawierzchni kolejowej dla poszczególnych rodzajów środków impregnacyjnych.

5.2. Badania właściwości fizykochemicznych oleju kreozotowego

Olej kreozotowy jest wciąż najbardziej znanym i najczęściej stosowanym środkiem impregnującym drewniane podkłady kolejowe. Do zastosowania wprowadzono olej kreozotowy typu B i typu C. Oba rodzaje oleju impregnacyjnego mogą różnić się między sobą właściwościami fizykochemicznymi, co może wpływać na sposób prowadzenia procesów technologicznych nasycania i jakość ochrony materiału drewnianego.

5.2.1. Metody badań oleju kreozotowego

Wymagania techniczne i metody badań oleju kreozotowego stosowanego w przemyśle drzewnym do celów ochrony, zawarte w normie PN-EN 13991 [12], obejmują następujące oznaczenia:

- gęstość oleju impregnacyjnego według PN-EN ISO 3675 [14],
- skład frakcyjny oleju impregnacyjnego według PN-C-97055 [4],
- zawartość wody w oleju impregnacyjnym według PN-EN ISO 9029 [15],
- zawartość składników nierozpuszczalnych w toluenie lub benzenie według PN-C-97057 [5],
- zawartość benzo(a)piranu według PN-EN 1014-3 [8],
- zawartość fenoli ekstrahowanych według PN-EN 1014-4 [9],

- temperatura zapłonu oleju impregnacyjnego według PN-EN ISO 2719 [13],
- temperatura krystalizacji według PN-EN 13991 [12].

5.2.2. Analiza wyników badań laboratoryjnych oleju kreozotowego stosowanego w nasycalniach podkładów

W tablicy 2 przedstawiono zestawienie wyników badań oleju impregnacyjnego typu B i typu C, wykonanych przez Instytut Kolejnictwa na próbkach dostarczanych do nasycalni podkładów w latach 2008–2012 [2]. Z zestawienia wynika, że oba rodzaje olejów kreozotowych, tj. typu B i C spełniają wymagania normy PN-EN 13991 [12] z wyjątkiem badania składu frakcyjnego do temperatury 300°C dla oleju B w nasycalni 4 i dla oleju C w nasycalni 3. Charakteryzują się one właściwościami fizykochemicznymi zbliżonymi do siebie w zakresie takich parametrów jak:

- zawartość wody,
- zawartość składników nierozpuszczalnych w toluenie,
- temperatura zapłonu.

Podstawowe różnice między olejem kreozotowym typu B i C dotyczą:

1. Zawartości fenoli ekstrahowanych wodą, które są uznawane za jeden z najbardziej toksycznych składników oleju i są ograniczane ww. normą. W oleju gatunku C znajduje się większa zawartość fenoli ekstrahowanych wodą, tj. od 1,1% do 1,6% podczas gdy w oleju typu B jest go od 0,6% do 1,0%, co zmniejsza jego toksyczność.
2. Zawartości lotnych związków organicznych (LZO). Olej gatunku C w stosunku do gatunku B wykazuje niższą zawartość frakcji wrzących do 235°C i 300°C. Dzięki niskiej zawartości frakcji wrzących do 300°C (obniżenie lotności) olej typu C charakteryzuje się mniejszą uciążliwością zapachową w temperaturze otoczenia. Natomiast niskowrzące składniki występujące w oleju impregnacyjnym typu B powodują obniżenie jego lepkości i tym samym umożliwiają szybszą i głębszą penetrację w drewno.
3. Temperatury krystalizacji, która jest związana z zawartością LZO, ponieważ mniejsza zawartość LZO powoduje zwiększenie temperatury krystalizacji oleju typu C, co wiąże się z koniecznością podgrzewania zbiorników i rur w fazie jego magazynowania.
4. Gęstości i temperatury krystalizacji, które mogą mieć bezpośredni wpływ na proces impregnacji. Olej typu C, który charakteryzuje się wyższą gęstością i temperaturą krystalizacji niż olej typu B, może słabiej impregnować drewno.

Tablica 2
Wyniki badań próbek oleju impregncyjnego typu B i C dostarczanych do nasycalni w latach 2008-2012
 Table 2
The results of impregnating oil samples B and C delivered to wood treating plants in 2008-2012

Rodzaj badania	Nasycalnie												Wartość wymagana wg PN-EN 13991		Spełnia wymagania
	Nasycalnia 1*		Nasycalnia 2*		Nasycalnia 3*		Nasycalnia 4*		Nasycalnia 5*		Olej B	Olej C			
	Olej B	Olej C	Olej B	Olej C	Olej B	Olej C	Olej B	Olej C	GX-PLuS	Olej C					
Gęstość w 20°C; [g/cm ³]	1,058 ± 0,001	1,058 ± 0,001	1,052 ± 0,001	1,099 ± 0,001	1,058 ± 0,001	1,088 ± 0,001	1,058 ± 0,001	1,058 ± 0,001	1,120 ± 0,001	1,120 ± 0,001	1,120 ± 0,001	1,116 ± 0,001	1,020 ÷ 1,150	1,030 ÷ 1,170	Tak
Skład frakcyjny [%]															
do temp. 235°C	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	≤20	0	Tak
do temp. 300°C	50 ± 0,1	0 ± 0,1	50 ± 0,1	8 ± 0,1	52 ± 0,1	50 ± 0,1	50 ± 0,1	50 ± 0,1	10 ± 0,1	8 ± 0,1	10 ± 0,1	0 ± 0,1	40 ÷ 60	≤10	
do temp. 355°C	85 ± 0,1	67 ± 0,1	94 ± 0,1	90 ± 0,1	92 ± 0,1	85 ± 0,1	90 ± 0,1	90 ± 0,1	95 ± 0,1	72 ± 0,1	95 ± 0,1	69 ± 0,1	≥70	≥65	
Zawartość wody [%]	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,0	1 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1	≤1	≤1	Tak
Zawartość składników nierozpuszczalnych w toluenie [%]	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,20 ± 0,01	≤0,40	≤0,40	Tak
Zawartość benzo(a)piranu [ppm]	12	10	24	10	36	6	4	17	5,8	24	24	24	≤50	≤50	Tak
Zawartość fenoli ekstrahowanych wodą [%]	0,8	1,6	0,6	1,1	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,1	1,1	1,1	≤3	≤3	Tak
Temperatura zapłonu [°C]	>120	>120	>120	>120	>120	>120	>120	>120	>120	136	>120	>120	≥61	≥61	Tak
Temperatura krystalizacji [°C]	20 ± 1	39 ± 1	22 ± 1	48 ± 1	21 ± 1	39 ± 1	20 ± 1	48 ± 1	39 ± 1	35 ± 1	35 ± 1	35 ± 1	≤23	≤50	Tak

* Szczegółowe wyniki badań znajdują się w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji

Zawartość benzo(a)piranu nie jest stała dla danego gatunku oleju, ale jest uzależniona od dostawy i kształtuje się w podanym zakresie dla:

- oleju typu B: od 4 ppm do 36 ppm (średni wynik dostaw – 16 ppm),
- oleju typu C: od 6 ppm do 24 ppm (średni wynik dostaw – 13 ppm).

6. Aspekty ekologiczne i ekonomiczne stosowania oleju kreozotowego

Powszechne zastosowanie oleju kreozotowego jako środka ochrony drewna, stwarza potrzebę weryfikowania aktualnego stanowiska na temat wpływu tych preparatów, np. oleju kreozotowego na ludzi i środowisko. Ze względu na skład chemiczny, olej kreozotowy zakwalifikowano przez Ministra Zdrowia jako niebezpieczny. Składniki stwarzające zagrożenie, to według karty charakterystyki olej płuczkowy, ciężki olej antracenowy, fenol ekstrahowany wodą, benzo(a)piren, naftalen. Z tego względu drewno nasączone olejem kreozotowym nie może być stosowane w pomieszczeniach.

W skład środków ochrony drewna wchodzi różne związki chemiczne, które wykazują różny stopień szkodliwości i charakterystyczne oddziaływanie na organizmy [1]. Wśród składników oleju kreozotowego występują wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne WWA (w tym również benzo(a)piren), które charakteryzują się podobnymi właściwościami fizykochemicznymi. Większość WWA występuje w powietrzu w postaci par lub aerozoli. WWA znajdujące się w powietrzu są osadzone na pyłe. WWA występuje w środowisku w postaci wieloskładnikowych mieszanin [10]. Zawartość WWA (poza benzo(a)pirenem) nie jest określona w normach dotyczących wymagań technicznych dla oleju kreozotowego, jednak ich właściwości kancerogenne zostały stwierdzone i jest ich zasadniczo więcej we frakcjach olejów smołowych o wyższej temperaturze wrzenia [14].

Brak jest danych na temat ostrego działania toksycznego WWA, odnotowano natomiast przewlekłe ich działanie toksyczne na ludzi. Badania epidemiologiczne wskazują na istnienie związku między pracą w narażeniu na WWA a zwiększoną liczbą przypadków chorób nowotworowych. Ocena ta jest jednak trudna ze względu na brak danych dotyczących stężeń poszczególnych WWA, występujących w czasie narażenia. Badania toksyczności przeprowadzone na zwierzętach wykazały, że w wyniku narażenia na WWA może dojść do selektywnego uszkodzenia niektórych narządów i układów. Względna siła działania mutagennego poszczególnych WWA jest zróżnicowana. Benzo(a)piren jest stosowany w testach mutagenności jako pozytywny czynnik kontrolny. Związek jest kancerogennym i ma właściwości wywoływania mutacji. Najistotniejszym skutkiem oddziaływania WWA na organizm jest zdolność niektórych z nich do wywoływania

zmian nowotworowych. Olej kreozotowy sklasyfikowano ze względu na prawdopodobieństwo działania rakotwórczego za prawdopodobny kancerogen [18].

Środki ochrony drewna mogą oddziaływać także na roślinność. Reakcja roślin na fungicydy podczas pośredniego oddziaływania przez nasycone drewno jest słabo zauważalna. Wyniki badań wskazują, że większość zastosowanych fungicydów okazała się nieszkodliwa dla roślin. W większości wypadków stosowanie zaimpregnowanego drewna prawie nie powoduje zagrożenia dla roślin. Podczas testu kiełkowania roślin na skażonym podłożu, zastosowane fungicydy, z wyjątkiem oleju kreozotowego, okazały się fitotoksyczne. Jego oddziaływanie było ograniczone brakiem rozpuszczalności preparatu w wodzie, a przez to utrudnionym dyfundowaniem do nasion. Niemniej olej kreozotowy wywarł szkodliwy wpływ na rośliny i był obserwowany efekt hamowania kiełkowania.

Wybór rodzaju środków impregnacyjnych warunkują różne aspekty: ekologiczne, ekonomiczne, warunki technologiczne i względy praktyczne. Najbardziej kluczowe i wymagające przy ocenie możliwości i zasadności stosowania oleju kreozotowego są opinie z nasycalni i instytutów naukowo-badawczych. W ostatnich latach, także zarządzający infrastrukturą poszukują opłacalnej opcji zastąpienia podkładów zaimpregnowanych olejem kreozotowym w celu zmniejszenia negatywnych skutków stosowania oleju kreozotowego w podkładach drewnianych.

Obecnie, europejskie regulacje prawne, które są określone odpowiednimi dyrektywami i rozporządzeniami w zakresie ochrony środowiska, przewidują ścisłą kontrolę zastosowania oleju kreozotowego. Od 1 maja 2013 r. wszedł w życie zakaz powszechnego stosowania oleju kreozotowego, z ograniczeniami stosowania go w celach przemysłowych, m.in. w podkładach kolejowych. Jednak wszystkie państwa członkowskie nadal zachowują możliwość zezwalania na korzystanie z oleju kreozotowego w początkowym okresie 5 lat, tj. do 30 kwietnia 2018 r. po przedstawieniu nie później niż do dnia 31 lipca 2016 r. sprawozdania, w którym wykażą, że nie ma możliwości zastosowania alternatywnych rozwiązań i opiszą jak promowany jest ich rozwój. Podczas poszukiwania alternatywnych rozwiązań, oprócz aspektów ekologicznych (wpływ na środowisko, możliwość utylizacji) i ekonomicznych, należy wziąć pod uwagę podobne właściwości techniczne i funkcjonalne, a także możliwość użytkowania przez 30 lat całkowicie innych materiałów lub podkładów drewnianych z nowym środkiem impregnującym [24].

7. Podsumowanie

Na podstawie analizy literatury oraz wyników prac realizowanych w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcyjnych Instytutu Kolejnictwa można stwierdzić, że:

1. Dokonanie oceny, który rodzaj oleju lepiej impregnuje materiał drewniany jest trudne. Różnice w głębokości przesycaenia i ilości pochłoniętego oleju typu B i oleju typu C są prawdopodobnie związane nie tylko z ich właściwościami fizykochemicznymi, ale także z charakterem procesów technologicznych w ocenianych nasycalniach oraz miejscem pobierania próbek do oznaczenia głębokości przesycaenia.
2. Skuteczność grzybobójcza oleju typu C i oleju typu B jest porównywalna, ponieważ o właściwościach konserwujących w oleju kreozotowym decydują wysoko wrzące neutralne składniki, które znajdują się zarówno w preparacie typu B, jak i C. W związku z tym jest niezbędna weryfikacja właściwości grzybobójczych odpowiednimi badaniami zgodnie z normą PN-EN 599-1 [7].
3. Oleje typu B i C nie ulegają szybkiemu wypłukiwaniu z drewna, co świadczy o ich wystarczających właściwościach hydrofobowych dla materiałów drewnianych stosowanych do budowy nawierzchni kolejowej.
4. Olej kreozotowy typu C charakteryzuje się mniej intensywnym zapachem w stosunku do oleju typu B (mniej wydzielanych składników lotnych o przykrym, drażniącym zapachu). Obniżona intensywność zapachowa oleju kreozotowego typu C powinna być uwzględniana przy impregnacji drewnianych wyrobów przeznaczonych do stosowania na torowiskach częściowo zamkniętych.

Literatura

1. Kawczyński R.: *Nasycanie drewna środkami chemicznymi*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.
2. *Opinia nt. gatunków oleju kreozotowego*, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, październik, 2011.
3. *Opis patentowy PL 191467 Środek do Zabezpieczającej obróbki drewna oraz sposób zabezpieczającej obróbki drewna*, Zgłoszenie nr 345611 z dn. 02.07.1999 r., Zgłoszenie międzynarodowe nr WO00/2716 z dn. 20.01.2000, PCT Gazette nr 03/00.
4. PN-C-97055:2001: *Produkty węglpochodne. Destylacja normalna*.
5. PN-C-97057:1982: *Produkty węglpochodne. Oznaczenie składników nierozpuszczalnych w benzenie lub toluenie*.
6. PN-D-95014:1997: *Nawierzchnia kolejowa. Sosnowe, dębowe i bukowe materiały drzewne nawierzchni kolejowej nasycane olejem impregnacyjnym*.
7. PN-EN 599-1: *Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Skuteczność działania zapobiegawczych środków ochrony drewna oznaczona w badaniach biologicznych*.

8. PN-EN 1014-3:2010: *Olej kreozotowy i drewno nasycone olejem kreozotowym. Metody pobierania próbek i analizy. Oznaczenie zawartości benzo(a)piranu w oleju kreozotowym.*
9. PN-EN 1014-4:2010: *Środki ochrony drewna. Olej kreozotowy i drewno nasycone olejem kreozotowym. Metody pobierania próbek i analizy. Oznaczenie w oleju kreozotowym zawartości fenoli ekstrahowanych wodą.*
10. PN-EN 13145:2002: *Kolejnictwo. Tor. Podkłady i podrozdajdnice drewniane.*
11. PN-EN 13183-2:2004: *Wilgotność sztuki tarcicy. Część 2: Oznaczanie wilgotności za pomocą elektrycznego wilgotnościomierza oporowego.*
12. PN-EN 13991:2004: *Pochodne z pirolizy węgla. Oleje na bazie smoły węglowej: olej kreozotowy. Wymagania techniczne i metody badań.*
13. PN-EN ISO 2719:2007: *Przetwory naftowe. Oznaczanie temperatury zapłonu w tyglu otwartym metodą Marcussona.*
14. PN-EN ISO 3675:2004: *Ropa naftowa i ciekłe przetwory naftowe. Laboratoryjna oznaczanie gęstości. Metoda z areometrem.*
15. PN-EN ISO 9029:2005: *Oznaczanie zawartości wody metodą destylacyjną.*
16. Richardson B.A., Cox T.R.G.: *The future for chromium In wood preservation*, International Research Group on Wood Preservation. Doc. No IRG/WP3332, 1985.
17. Sapota A.: *Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – dokumentacja*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy nr 2(32)2002, Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB, Warszawa.
18. Skrzywan T.: *Nasycanie drewna*, Ars Technica, Miesięcznik poświęcony technice i nauce, Rok II, zeszyt 3–4, czerwiec 1923, s. 14–19, zeszyt 5–6, grudzień 1923, s. 73–78, Warszawa.
19. Ważny J.: *Aktywność środka ochrony drewna typu CCB w stosunku do grzybów niszczących drewno*, Folia Forestalia Polonica, Seria B, zeszyt 24, 1993, Warszawa.
20. Ważny J., Wytwer T., Czajnik M.: *Kompleksowy środek ochrony drewna i materiałów lignocelulozowych*, Zgłoszenie Patentowe 179179, 1975, Patent nr 105404, 1980.
21. Wątopek K.: *Zastosowanie mazi pogazowej w budowie nawierzchni dróg żwirowych*, Czasopismo Techniczne, rocznik XXX, nr 2, styczeń 1912, s. 17–20, Lwów.
22. Zarzyński P.: *Ocena skuteczności różnych metod aplikacji fungicydów systemicznych do drzew w celu ograniczenia rozkładu ich drewna przez grzyby patogeniczne*, Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Ligaria 4(2), 2005, s. 161–176, Warszawa.
23. Zięborak K., Pawlikowska M.D.: *Opis patentowy P.195770*, 1978.
24. *SUWOS. Sustainable Wooden Railway Sleepers*, International Union of Railways (UIC), Paris, January, 2013.

Impregnation Wooden Railway Sleepers Including Physical and Chemical Properties Used Wood Protection Agent

Summary

A Rüping method for impregnation of wooden railway sleepers and types of use of impregnating agents is described in this paper. The literature part also describes what is the quality control of wood treatment and evaluate the effectiveness of impregnating agent action. Then presents the methods and studies of wood sleepers and physicochemical properties of creosote oil. The main attention is put on the creosote oil as a preservation method of wooden railway sleepers taking into account standard's requirements and the results of the own investigations in the analysis of the literature and the results of the work done by the Laboratory of Materials and Structural Elements. In conclusion focused on the work done for creosote oil type B and type C. Both types of creosote oil were compared at an angle of the depth of impregnation of wood, antifungal, rinsing out from wood and odor nuisance to the environment.

Keywords: impregnation, wooden railway sleepers, wood protection agent, creosote oil

Пропитка деревянных железнодорожных шпал с учётом физико-химических свойств применяемых средств защиты древесины

Резюме

В статье описан метод Рюпинга, по которому ведётся пропитка деревянных железнодорожных шпал, а также типы применяемых пропиточных средств. В литературной части объяснено также в чём состоит контроль качества пропитки древесины и дана оценка эффективности воздействия пропиточного средства. Затем представлены методы и результаты исследований деревянных изделий и физико-химических свойств креозотного масла. При анализе литературы и результатов работ, выполняемых Лабораторией испытаний материалов и элементов конструкций, особенное внимание обращено на метод пропитки деревянных железнодорожных шпал креозотным маслом с точки зрения нормативных требований и собственных исследований. В заключении статьи обсуждены результаты работ, проводимых для изучения креозотного масла типа В и типа С. Оба типа масла сравнены в отношении глубины пропитки древесины, эффективности как фунгицида, вымывания из древесины и запаха неприятного для окружающей среды.

Ключевые слова: пропитка, деревянные железнодорожные шпалы, средства защиты древесины, креозотное масло