

Ograniczanie zanieczyszczania środowiska naturalnego i zużycia energii w procesach hamowania pociągu

Reducing environmental pollution and energy consumption in the process of train braking

W artykule, na przykładzie danych z kolei szwajcarskich, przedstawiono substancje uwalniane do środowiska naturalnego w procesach hamowania pojazdów trakcyjnych. Wskazano źródła tych zanieczyszczeń w ujęciu ilościowym.

W dalszej części opisano rozwiązania ograniczające zużycie energii i zanieczyszczanie środowiska w ciernych procesach hamowania pociągów oraz zastępujących je proekologicznych systemach hamowania.

The article uses data from Swiss railways as an example, to show the substances released into the environment in the process of rail vehicle braking. Sources of these pollutants have been indicated in terms of volume.

The following section describes solutions leading to energy-saving and pollution reduction for the process of friction-based braking in trains and replacing them with environmentally friendly braking systems.

1. Wprowadzenie

Sektor transportowy uznawany jest za jedno z głównych źródeł zanieczyszczania środowiska naturalnego. Na rysunku 1 pokazano szacowany roku poziom emisji CO₂ dla różnych środków transportu w 2007.

Od państw członkowskich wspólnoty europejskiej oczekuje się działań proekologicznych mających na celu: minimalizowanie zużycia energii oraz zmniejszenie emisji zanieczyszczeń. Opracowuje się również dokumenty prawne dotyczące nadzoru nad emisją i uwalnianiem zanieczyszczeń i odpadów [4].

Mimo, że transport kolejowy uważany jest jako najbardziej ekologiczny środek transportu, regularna eksploatacja taboru kolejowego związana jest z uwalnianiem do środowiska szeregu organicznych i nieorganicznych substancji [11, 12].

2. Substancje uwalniane do środowiska naturalnego w procesach hamowania

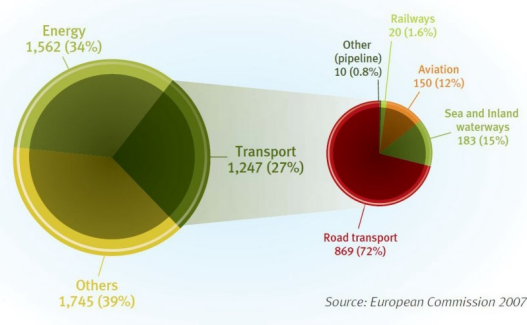
W Europie prowadzonych jest szereg badań pozyskujących dane dotyczące oddziaływania kolei na środowisko naturalne [2].

Skala emisji oraz zachowania się, uwalnianych do środowiska zanieczyszczeń, podczas regularnej eksploatacji na kolei, jest niewielka w stosunku do np. ruchu drogowego [18].

Zdobywana wiedza, dotycząca wpływu emitowanych zanieczyszczeń, w dalszej perspektywie, przyczynia się do skutecznej ochrony gleby oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

1. Introduction

The transport sector is recognized as one of the main sources of environmental pollution in the world. Figure 1 shows the estimated yearly emission of CO₂ for all the different transport modes, in the year 2007.



Rysunek 1. Poziom emisji CO₂ w mln ton przez różne środki transportu dla EU [8]

Figure 1. CO₂ emissions in millions of tons from various means of transport in the EU [8]

Member States of the European Union are expected to take environmental actions aimed at minimizing energy consumption and reducing emissions. Legal documents relating to the issues of oversight and release of pollutants and waste are also being drafted [4].

Despite the fact that rail transport is considered as the most environmentally friendly means of transport, the regular operation of rolling stock is related to

Emisja produktów zużycia z jednej strony to zużycie energii (produkcja materiałów), z drugiej to niekontrolowane zanieczyszczenie środowiska. Poszczególne zarządy kolejowe nie są zdolne do określenia losu uwalnianych substancji podczas eksploatacji pojazdów kolejowych i do oceny czy wielkości emisji szkodliwych substancji mieszczą się w standardach (normatywach) obejmujących ochronę wód i gleby. W literaturze można znaleźć prace podejmujące oszacowanie dla kolei szkodliwych emisji i obejmujące wzorce emisyjne zanieczyszczeń pochodzące z różnych źródeł np. dla kolei szwajcarskich (SBB) [3].

Obecne wtórne środki redukcji zanieczyszczeń jak systemy odwodnieniowe wzdłuż szlaków czy infiltracja są niepewne pod względem efektywności retencji zagrożenia. W kontekście braku istotnych danych dotyczących emisji zanieczyszczeń i ich dalszego losu, staje się jasne, że ocena wpływu kolei na środowisko nie może obecnie być w pełni ustalona. Niemniej jednym z głównych źródeł generowana emisji zanieczyszczeń eksploatacyjnych, w tym cząstek stałych, są procesy hamowania pociągów [1,13].

Na przykład SBB, w roku 2003 wykazało całkowite zużycie cierne klocków hamulcowych na poziomie 2390 t brutto. Z uwzględnieniem 20% recyklingu, szacuje się że łącznie 1912 t „materiału hamulcowego” zostało wyemitowane do środowiska (Tabela 1).

Większościowy udział przypisuje się pociągów towarowym (67%) ze względu na dominujące stosowanie żeliwnych klocków hamulcowych w kolejowym

the release of a number of organic and inorganic substances into the environment [11, 12].

2. The substances released into the environment in the process of vehicle braking

A series of studies gathering data on the impact of rail vehicles on the environment are being conducted in Europe [2].

The scale of rail emissions and the behavior of pollutants released into the environment during regular operation is small compared to road emissions for example [18].

The acquired knowledge about the impact of emitted pollutants on the environment, in the long term, contributes to the effective protection of the soil as well as the surface water and groundwater.

The emission of wear products is generated on the one hand by the consumption of energy (in the production of materials), and on the other by uncontrolled pollution. Individual railway managements are not able to determine the fate of the substances released during the operation of rail vehicles, and to assess whether the emissions of harmful substances fall within the norms, including the protection of water and soil. Research articles aiming to estimate the harmful emissions and pollutant emissions for rail transport, including emission patterns from various sources, can be found in the literature, e.g. for the Swiss Railway (SBB) [3].

The current secondary pollution reduction measures such as drainage systems along roads or infiltration systems are uncertain in terms of risk in retention effectiveness. In the context of the lack of relevant

Tabela 1. Składniki zużycia cierne dla różnych typów hamulca, szyn i kół na kolei SBB w 2003 [14]

Table 1. The components of wear process for different types of rail, brakes, and wheels on the rail SBB 2003 [14]

Source (material)	Abrasion (t/a)	Substance	Proportion (%)	Emission (t/a)	Tendency
Brakes (total)	1912				
Gray iron brakes	1670 (87%)	Iron	93.3	1558.1	↓
		Manganese	0.6	10.0	
		Chromium	0.15	2.5	
		Copper	0.1	1.7	
Composite	209 (11%)	Iron	44.9	94.0	↑
		Binder	23.1	48.0	
Iron sinter	33 (2%)	Iron	67.9	22.4	↓
		Copper	20.0	6.6	
		Boron	0.05	0.02	
		Tin	0.09	0.03	
		Antimony	0.01	0.003	
		Lead	0.01	0.003	
		Molybdenum	0.01	0.003	
Rails	475	Iron	97.0	460	↑
		Chromium	1.0	4.8	
		Manganese	1.0	4.8	
Wheels	124	Iron	96.0	120	↑
		Manganese	1.2	1.5	
		Chromium	0.3	0.4	
		Copper	0.3	0.4	
		Nickel	0.3	0.4	
		Molybdenum	0.08	0.1	
		Vanadium	0.05	0.06	

transportie towarów. Od 2005 roku SBB zaczął zastępować w taborze pasażerskim wstawki żeliwne wstawkami kompozytowymi. Dlatego obserwuje się istotny spadek masy emitowanych zanieczyszczeń przez wstawki żeliwne, jednocześnie ze wzrostem substancji pochodzących ze wstawek kompozytowych.

Styk pomiędzy kołami i szynami (napęd i hamowanie pociągów) powoduje średnio 120 ton ścieranego materiału z kół i 460 ton z szyn (tabela 1). Składnikiem kół i szyn jest żelazo (>96 %), a następnie mangan i chrom. W wyniku ścierania kół następuje emisja miedzi, niklu, molibdenu i wanadu. Znaczny wzrost przebytych kilometrów w ruchu kolejowym sprzyja powstawaniu bieżących strat w środowisku (Tabela 1). Dodatkowo linie energetyczne składają się w 99,8 % z miedzi i 0,2 % srebra [8]. Biorąc pod uwagę średni ruch pociągów na kolei SBB w 2003 uwolniono do środowiska 38 t miedzi i 80 kg srebra w postaci cząstek stałych.

Źródła uwalnianych pierwiastków do środowiska naturalnego podczas eksploatacji taboru głównie w wyniku procesów zużycia ciernego pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Źródła zużycia ciernego na kolei SBB w 2003 [14]

Table 2. Sources of friction wear on the SBB in 2003 [14]

Source of abrasion	Emission (t/a)	Proportion (%)
Brakes	1912	73
Rails	550	21
Wheels	124	5
Contact lines	38	1
Total	2624	100

W artykule przedstawiono rozwój układów hamulcowych, które mają zapewnić zmniejszenie zużycia energii i ograniczenie bezpośredniego zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez transport kolejowy.

Podstawowo zmniejszenie zużycia energii w procesach hamowania pociągów osiąga się poprzez: stosowanie w hamowaniu ciernym materiałów o wysokiej odporności na zużycie oraz beztarciowe rozpraszanie energii kinetycznej pojazdu z wykorzystaniem np. hamowania dynamicznego.

3. Procesy hamowania ciernego

Aktualnie podstawowym materiałem wykorzystywanym w produkcji wstawek hamulcowych dla kolejnictwa jest żeliwo.

Pierwotnie na wstawki hamulcowe stosowane jest żeliwo niskostopowe fosforowe P10 – to zmodyfikowane żeliwo szare, o zwiększonej do 1% zawartości fosforu. Skład chemiczny żeliwa przeznaczonego do wykonywania tych odlewów podaje Polska Norma [9].

data on emissions of pollutants and their fate, it becomes clear that the impact assessment of rail transport on the environment cannot be fully established currently. However, one of the major sources of emissions generated in exploitation, including particulates, are the processes of train braking [1,13].

For example, in the year 2003 the SBB showed a complete friction consumption of the brake pad at 2390 t gross. Taking into account 20% of recycling, it is estimated that a total of 1912 t of "brake material" is emitted into the environment (Table 1).

A majority share is attributed to freight trains (67%) due to the predominant use of cast iron brake pads in freight rail. Since 2005, SBB began to replace the cast iron brake pads in passenger rolling stock with composite brake pads. Thus a significant decrease in the mass of pollutants emitted by cast-iron brake pads is observed, along with an increase in substances derived from composite brake pads.

The contact between the wheels and rails (rail vehicle drive and brake) generates an average of 120 tons of abraded material from the wheels and 460 tons of material from the rails (Table 1). The main component of wheels and rails is iron (> 96%), followed by manganese and chromium. As a result of abrasion of the wheels the emission of copper, nickel, molybdenum and vanadium appears. A significant increase in mileage of rail vehicles promotes the increase of ongoing deterioration of the natural environment (Table 1). In addition, the power lines consist of 99.8% copper and 0.2% silver [8]. Taking into account the average traffic of trains on the SBB railway in 2003 some 38 t of copper and 80 kg of silver in particulate form have been released into the environment.

The sources of elements released into the environment during operation of rolling stock, mainly due to frictional wear processes, are shown in Table 2.

This paper presents the development of braking systems that are designed to reduce energy consumption and limiting the direct environmental pollution generated by rail transport.

The reduction of energy consumption in the process of train braking is most commonly achieved through: the use of materials with high resistance to friction wear for the process of friction braking, and friction-free dissipation of the kinetic energy of the vehicle, for example by using dynamic braking.

3. Processes of friction braking

Currently, the basic material used in the manufacture of brake blocks for railway is cast iron.

Originally, low alloy phosphorous cast iron P10 is used in brake blocks – a modified gray cast iron, with phosphorus content increased to 1%. The chemical composition of iron for the making of the cast is described by the Polish Standard [9].

Wstawki z żeliwa P10 charakteryzowała zwiększona trwałość (względem wcześniej stosowanego żeliwa szarego) ale jednocześnie duża intensywność iskrzenia. Niejednokrotnie iskrzenie wstawek było przyczyną pożarów. Generowany hałas, w szczególności przy mniejszych prędkościach był słyszalny jako przenikliwy pisk. Wstawki te posiadały niski i zmienny w funkcji prędkości współczynnik tarcia (0,08-0,4), który uniemożliwia uzyskanie przez hamowany pojazd dużych skuteczności hamowania. Szczególnie dla dużych prędkości jazdy.

Ich niska trwałość i konieczne częste wymiany jest źródłem pyłu, który przedostaje się w ten sposób do środowiska naturalnego.

Poprawę sytuacji w takim przypadku można by osiągnąć poprzez zastosowanie materiałów ciernych hamulca o wyraźnie większej odporności na ścieranie. Takimi materiałami są specjalnie modyfikowane żelwa i materiały kompozytowe (organiczne i ze spieków). Materiały te charakteryzują się kilkanaście razy większą odpornością na ścieranie w porównaniu z żelwem P10.

W modyfikowanym żelwie stosowanym do wstawek hamulcowych dla kolejnictwa, zwiększono zawartości fosforu do poziomu 3%. Doprowadziło to do zwiększenia w strukturze ilości eutektyki fosforowej o dużej mikrotwardości, która przy tej zawartości fosforu tworzy gęstą siatkę (Rysunek 2).

Szczególnie w wysokich temperaturach jest to elastyczna faza strukturalna, która ma decydujący wpływ na zmniejszenie zużycia i poprawę właściwości ciernych żeliwnych wstawek hamulcowych. Zaletą wstawek hamulcowych wykonanych z wysokofosforowego żeliwa P30 (względem stosowanych w pojazdach trakcyjnych P10) jest wyższa odporność na zużycie, dostatecznie duży i stabilny współczynnik tarcia oraz mniejsza tendencja do powstawania iskier.

Z uwagi możliwość iskrzenia i na przypadki wznieczonych pożarów wzdłuż szlaków kolejowych przez stosowanie żeliwnych wstawek hamulcowych z materiału P10, prowadzone są prace badawcze nad optymalizacją kształtu wstawek i bardziej ekologicznych technologii ich wytwarzania [6].

Niemniej dopiero wstawki z materiałów kompozytowych mogą całkowicie wyeliminować duże zużycie i iskrzenie w eksploatacji.

Już w ubiegłym wieku, w celu zmniejszenia oddziaływania wstawek hamulcowych na środowisko naturalne, Międzynarodowy Związek Kolei (UIC) zlecił Europejskiemu Instytutowi Badań Kolejnictwa (ERRI) stworzenie założeń technicznych dotyczących stosowania wstawek z tworzywa sztucznego w obszarze UIC. Jak się później okazało wstawki kompozytowe powodują w eksploatacji mniejszą poligonizację kół i przez to pojazdy w nie wyposażone emitują dużo niższy poziom hałasu. To stało się impulsem do masowego wdrażania wstawek kompozytowych do eks-

P10 cast iron inserts were characterized by increased durability (relative to the previously used gray cast iron), but also a high sparking intensity. The sparking of the brake blocks was often the cause of fires. The generated noise, particularly at lower speeds, was heard as a shrill squeal. These blocks have a low coefficient of friction (0,08-0,4), which is variable as a function of frequency, and which prevents the vehicle from achieving a high braking efficiency. Especially when driving at high-speeds.

Their poor durability and frequent need for replacement is a source of dust that is released in this way into the environment.

Thus an improvement could be made by replacing the brake material with one that has a clearly greater resistance to abrasion caused by friction. Such materials are specially modified types of cast iron and composite materials (organic and sintered). These materials are several times more resistant to abrasion compared to cast iron P10.

The modified cast iron used for the brake blocks for railway has its phosphorus content increased to 3%. This has led to an increase in the amount of eutectic structure of phosphorous with a high microhardness which, at that phosphorus content, forms a dense grid (Figure 2).



Rysunek 2. Mikrostruktura próbki żeliwa P30 – eutektyka fosforowa [5]

Figure 1. The microstructure of samples of cast iron P30 - eutectic phosphorus [5]

Especially at high temperatures it is a flexible structural phase, which has a decisive impact on reducing wear and improving the frictional properties of cast iron brake blocks. The advantage of brake blocks made of high in phosphorous cast iron P30 (when compared to P10 blocks used in rail vehicles) is their higher wear resistance, sufficiently high and stable coefficient of friction, and a reduced tendency for the formation of sparks.

Due to the possibility of sparking and the cases of fires being started along railway lines through the use of cast-iron brake blocks made out of P10, research on optimizing the shape of the blocks and greener technologies for their production is being conducted [6].

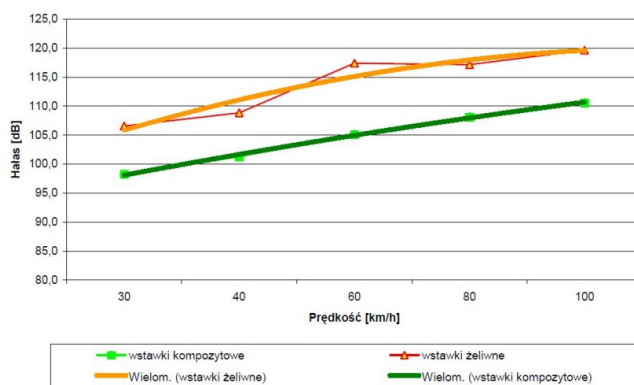
ploatacji. Dla nowo budowanych wagonów opracowano wstawki typu K, natomiast dla wagonów już eksploatowanych opracowano wstawki typu LL [16].

Wg aktualnie obowiązujących dokumentów normatywnych [16] wstawki kompozytowe (organiczne i ze spieków) nie mogą zawierać azbestu i pierwiastków ciężkich w stanie metalicznym (np. ołowiu, cynku) – oraz innych szkodliwych dla zdrowia związków. Nie mogą również w procesie eksploatacji pojazdów emitować do otoczenia żadnych szkodliwych dla ludzi i środowiska produktów zużycia.

Producenci wstawek kompozytowych, na etapie przygotowania składu materiału kompozytowego, dążą do uzyskania optymalnych własności użytkowych mając na uwadze zużycie wstawki, agresywność względem powierzchni tocznej kół i przebieg oraz stabilność współczynnika tarcia w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Firmy europejskie dostarczające okładziny cierne hamulca tarczowego i kompozytowe wstawki hamulca klockowego, w tym również polski Frenoplast, od wielu lat prowadzą badania nad opracowaniem hamulcowych materiałów ciernych spełniających stawiane im przez operatorów kolejowych wymagania. Uzyskane materiały kompozytowe coraz powszechniej znajdują zastosowanie w taborze kolejowym przyczyniając się powoli do poprawy stanu środowiska naturalnego.

Przyczynia się do tego również obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez pojazdy wyposażone w kompozytowe materiały cierne hamulca. Np. zastosowanie wstawek kompozytowych powoduje zmniejszenie poziomu hałasu pojazdu o kilka dB w porównaniu do pojazdu wyposażonego we wstawki żeliwne, co przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Średni poziom hałasu dla wstawek żeliwnych i kompozytowych podczas hamowania z różnych prędkości [15]

Figure 3. The average noise level for cast iron and composite brake blocks at different speeds [15]

4. Hamowanie dynamiczne pojazdów

Niezależnie od prowadzonych badań nad rozwojem układów hamulca ciernego doskonalone są, i coraz powszechniej stosowane, układy beztarciowego hamowania pojazdów wykorzystujących hamulec

However, only inserts made of composite materials can completely eliminate high wear and sparking during operation.

Already in the last century, the International Union of Railways (UIC) has commissioned the European Institute for Railway Research (ERRI) to create technical guidelines on the use of brake blocks made out of synthetic materials within the areas that were a part of UIC, in order to reduce the impact of brake blocks on the environment. As it turned out composite panels cause a decrease in high temperature recovery during operation and thus vehicles equipped with them emit much less noise. This was an incentive for mass deployment of composite brake blocks into operation. For newly built wagons K-blocks were developed, while for cars already in service LL-blocks were prepared as a replacement [16].

According to the current regulatory documents [16] composite blocks (organic and sintered) must not contain asbestos and heavy metals in their metallic state (e.g. Lead, zinc) – as well as any other harmful compounds. They also must not emit into the environment any products of consumption harmful to people and the environment in the process of normal operation of vehicles.

Already at the stage of preparing the composition of the composite material the manufacturers of composite blocks seek to achieve optimal functional properties; aiming to reduce the wear of the blocks, aggressiveness in relation to the running surface of the wheels, and mileage and stability of the coefficient of friction in different operating conditions.

European suppliers of disc brake lining and composite brake blocks, including the Polish company Freno-plast, have been conducting research for many years on the development of brake friction materials that meet the requirements posed on them by the rail operators. The resulting composite materials are increasingly being used in rolling stock slowly contributing to a better environment.

It also contributes to the reduction of noise emitted by vehicles fitted with composite brake friction materials. For example, the use of composite blocks reduces the noise level of the vehicle by several dB in comparison to a vehicle equipped with a cast-iron block, as shown in Figure 3.

4. Vehicle dynamic braking

Regardless of the ongoing research activities in the development of friction brake systems, frictionless braking systems for vehicles that use electrodynamic brakes, hydrodynamic brakes, eddy current brakes and aerodynamics are being improved, and used increasingly more often.

In terms of environmental protection they provide a viable alternative to the friction brake (disc or block type). They are characterized by a lack of emissions and reduced energy consumption.

elektrodynamiczny, hydrodynamiczny, hamulce na prądy wirowe oraz aerodynamiczne.

W aspekcie ochrony środowiska naturalnego stanowią one realną alternatywę dla hamulca ciernego (tarczowego lub klockowego). Wyróżnia je brak emisji zanieczyszczeń i ograniczone zużycie energii.

Obecnie europejskie normatywy nakazują wyposażanie zarówno nowych jak i modernizowanych zespołów trakcyjnych EMU/DMU w hamulce dynamiczne, odpowiednio w hamulec elektrodynamiczny lub hydrodynamiczny, które mają pełnić funkcję podstawowego hamulca eksploatacyjnego [10].

W elektrycznych pojazdach trakcyjnych (EMU), wyposażonych w elektryczne silniki trakcyjne, z napędem rozłożonym wzdłuż całego składu pociągu, powszechnie stosowany jest hamulec elektrodynamiczny.

W przypadku hamulca elektrodynamicznego energia kinetyczna hamowanego pojazdu zamieniana jest w energię elektryczną, którą później wykorzystuje się do napędu (rozruchu) lub zamienia się ją bezpośrednio na ciepło – w zasadzie bez procesów zużyciowych. Wyróżnia się dwa rodzaje hamulca elektrodynamicznego: reostatyczne (oporowe) i rekuperacyjne (odzyskowe).

Przy hamowaniu oporowym moc hamowania wytracana jest na opornikach, gdzie wydziela się w postaci energii cieplnej. W rezultacie ciepło bezpowrotnie oddawane jest do otoczenia i w bilansie energetycznym traktowane jest jako strata.

Natomiast przy hamowaniu odzyskowym moc hamowania nie jest bezpowrotnie tracona, lecz energia hamowania jest odzyskiwana i ponownie wykorzystana przez:

- zasobniki energii (np. gromadzenie energii w superkondensatorach lub akumulatorach do celów napędowych),
- inny pojazd będący w pobliżu pojazdu wytracającego moc hamowania,
- podstawę energetyczną (zwrot energii do sieci energetycznej).

W nowoczesnych pojazdach trakcyjnych podstawowo realizowane jest hamowanie odzyskowe przy czym w przypadku braku możliwości oddania energii, ze względu na bezpieczeństwo, pojazdy te zawsze są wyposażone w opornik hamowania, w którym nadwyżka generowanej w czasie hamowania energii zostaje zamieniona w ciepło. Na rysunku 4 pokazano przemiany energii zachodzące w czasie eksploatacji EMU.

Hamulec hydrodynamiczny najczęściej spotykany jest w lekkich pojazdach szynowych, typu DMU, z napędem spalinowym, napędzanych przekładnią hydrauliczną.

Układy hamulców dynamicznych znajdują zastosowanie przede wszystkim w pojazdach trakcyjnych,

Currently, European norms require equipping both new and modernized traction units EMU/DMU in dynamic brakes, using electrodynamic and hydrodynamic brakes respectively, which are to function as a basic service brake [10].

In electric traction vehicles (EMU), equipped with electric traction motors with the drive distributed along the entire train set, the electrodynamic brake is commonly used.

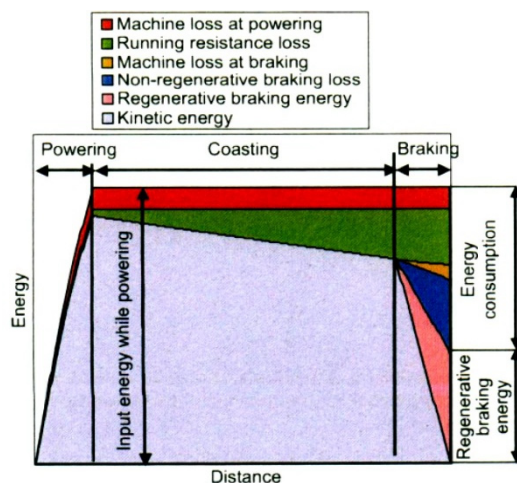
In the case of electrodynamic brake the kinetic energy of vehicle braking is converted into electrical energy, which is then used to drive (start) the vehicle or turned directly into heat - with virtually no wear processes. There are two kinds of electrodynamic brakes: rheostatic (resistive) and recuperation (regenerative).

During resistance braking the braking power is dissipated on the resistors, where it is released in the form of heat. As a result, heat is irretrievably dissipated to the environment and the energy balance treats it as a loss.

On the other hand the braking power in regenerative braking is not irretrievably lost, but is recovered and reused by:

- energy storage system (e.g. storing the energy in supercapacitors or batteries of the drive system),
- another vehicle that is nearby the braking vehicle,
- traction substation (returning the energy back into the power grid).

In modern traction vehicles regenerative braking is normally realized while in the case of inability to use or store up the braking energy these vehicles are always equipped with a braking resistor, in which surplus of the energy generated during braking is converted into heat for safety reasons. Figure 4 shows the conversion of energy occurring during EMU operation.



Rysunek 4. Przemiany energii podczas eksploatacji EMU [17]
Figure 4. Energy conversion during EMU operation [17]

które zaczynają dominować nie tylko w ruchu lokalnym, ale również w ruchu dalekobieżnym.

Największe korzyści w zakresie zużycia energii i ograniczenie bezpośredniego zanieczyszczenia środowiska naturalnego osiąga się w wyniku stosowania hamulców dynamicznych w ruchu lokalnym (miejskim i podmiejskim), gdzie częstotliwość hamowania jest bardzo duża.

Innym rodzajem beztarciowego hamulca są układy hamulca dynamicznego oparte na prądach wirowych. Układy te współpracują najczęściej bezpośrednio z szynami kolejowymi. Energia hamowania pojazdu zamieniana na ciepło przejmowana jest przez szyny. Ten typ hamulca stosowany będzie przede wszystkim w pojazdach dużych prędkości.

5. Podsumowanie

Obecnie czynione są wszelkie starania by ograniczać emisję szkodliwych dla środowiska substancji i minimalizować zużycie energii. Regulacje parlamentu europejskiego oraz stowarzyszenia kolejowego UIC prowadzą szereg projektów mających na celu zmniejszenie oddziaływania na środowisko naturalne taboru kolejowego.

Prace badawczo-rozwojowe w najbliższym czasie skupione będą nad doskonaleniem elementów i urządzeń odpowiedzialnych za zmniejszenie zużycia w procesach hamowania jak również w zakresie zmniejszenia zużycia energii. W tej dziedzinie nie tylko konieczne będzie stosowanie beztarciowych układów hamowania i układów odzyskiwania energii ale w szczególności urządzeń do jej gromadzenia i ponownego użycia. Wiele oczekuje się od zaawansowanych systemów elektrodynamicznych z wysokosprawnym odzyskiwaniem energii i systemów hybrydowych.

W najbliższym czasie należy spodziewać się upowszechnienia tych systemów, jak również innych niekonwencjonalnych systemów hamulców np. hamulców aerodynamicznych czy na prądy wirowe, które nie oddziałują negatywnie na środowisko zapewnią zharmonizowany rozwój.

Wydaje się, że ograniczenie zanieczyszczenia środowiska w zakresie stosowanych technologii hamowania pociągów, może dać wymierne korzyści.

Bibliografia

- [1] Bregy P., *Emissionen von Verbundstoff-Bremsklotzsohlen (Emissions of composite-brakes), Report for the Swiss Federal Railways SBB, BahnUmwelt-Center, Bern, Switzerland, 2004.*
- [2] Burkhardt M., Rossia L., Bollera M., *Diffuse release of environmental hazards by railways, Desalination 226 (2008) 106–113.*

Hydrodynamic brakes are most commonly found in light-rail vehicles of the DMU type, with a combustion engine drive and hydraulic transmission.

Dynamic brake systems are used primarily in traction vehicles which are beginning to dominate not only in local but also in long-distance traffic.

The greatest benefits in terms of energy consumption and limiting the direct environmental pollution is achieved through the use of dynamic brakes in local traffic (urban and suburban), where the braking frequency is very high.

Another type of frictionless dynamic brake systems are the ones based on eddy currents. These systems work most often by directly using the railway tracks. Vehicle braking energy is converted into heat which is then absorbed by the tracks. This type of a brake will be used primarily in high-speed vehicles.

5. Conclusions

Currently all efforts are made to restrict the emission of environmentally harmful substances and minimize energy consumption. The regulations of the European Parliament and of the UIC association run a number of projects aimed at reducing the environmental impact of rolling stock.

Research and development in the near future will be focused on improving components and devices responsible for reducing the wear caused by braking processes as well as for reducing energy consumption. In this pursuit not only the frictionless braking systems and energy recovery systems will be necessary, but particularly devices for energy collection and reuse. Much is expected from advanced electrodynamic systems with high-efficiency energy recovery and hybrid systems.

These systems are expected to spread in the near future, along with other non-conventional brake systems, e.g. air brakes and eddy current brakes, that do not interact negatively on the environment will ensure a harmonized development.

It seems that the reduction of pollution through the field of applied technology in train braking, can produce tangible benefits.

- [3] Burkhardt M., Rossi L., Chèvre N., Boller M., Steidle L., Abrecht J., Gächter F., Knabl S. and Kuppelwieser H., *Gewässerschutz an Bahnanlagen – Emittierte Stoffe im Normalbetrieb der SBB sowie Grundlagen zu deren Umweltverhalten (Water protection at railroads – emitted substances from regular operation of SBB and fundamentals of their environmental behavior), Report of the Eawag, Duebendorf, Switzerland, 2005.*
- [4] Dyrektywa 2000/60/WE.

- [5] Madej W., Gazda A., „Badanie termofizycznych właściwości wysokofosforowego żeliwa P30 stosowanego na nowego typu wstawki hamulcowe dla kolejnictwa”, *Odlewnictwo Współczesne* 4/2009, Instytut Odlewnictwa, Kraków.
- [6] Madej W., Pysz S., Izdebska-Szanda I., Miklaszewski J., Zdończyk T., *Ekologiczna i materiałoozczędna technologia wytwarzania wstawek hamulcowych o stabilnych parametrach jakościowych. Cz.1. Modernizacja technologii z zastosowaniem symulacji komputerowej. Prace Instytutu Odlewnictwa Vol. LIV nr 2, Kraków 2014.*
- [7] Kaluba M. (2000). *Badania wstawek hamulcowych. Pojazdy Szynowe*, 3(3), 16? 23.
- [8] Krohn O., Ledbury M., Schwarz H., *Railways and the environment, Belgium, Brussels, 2009.*
- [9] PN-92/K-88151 *Tabor kolejowy – Obsady, wstawki i kliny klocków hamulcowych – Ogólne wymagania i badania.*
- [10] PN-EN 16185-1 *Kolejnictwo. Systemy hamulcowe wieloczołowych zespołów trakcyjnych. Część 1: Wymagania i definicje.*
- [11] Osborne M. and Montague M., *The potential for water pollution from railways, Report CIRIA C643, CIRIA, London, UK, 2005.*
- [12] SBB, *Gleisabwässer und Gewässerschutz (Runoff from railway tracks and water protection), Report of Swiss Federal Railways SBB, Bern, Switzerland, 1993.*
- [13] SBB, *Unterlagen zur Untersuchung über PM10 (Documents on PM10 investigations), Report of Swiss Federal Railways SBB AG, BahnUmwelt-Center, Bern, Switzerland, 2001.*
- [14] SBB, *Environmental Report 2002/2003, Report of Swiss Federal Railways SBB, BahnUmwelt-Center, Bern, Switzerland, 1999.*
- [15] Sitarz M., Helka A., Piec P., Zajac G., *Badania eksploatacyjne żeliwnych i kompozytowych wstawek hamulcowych.*
- [16] UIC 541-4 *Brakes – Brakes with composite brake blocks. General conditions for certification of composite brake blocks leaflet.*
- [17] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, *“Best Practices and Strategies for Improving Rail Energy Efficiency”, Final Report, Washington, USA, 2014.*
- [18] Zysset A., Hugli C. and Pfammatter R., *Wegleitung – Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen (Technical guidance document – water protection by drainage systems at transportation routes), Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern, Switzerland, 2002.*