

ZESZYTY NAUKOWE WSEI
SERIA:
TRANSPORT I INFORMATYKA

3(1/2013)

ZESZYTY NAUKOWE
WYŻSZEJ SZKOŁY EKONOMII I INNOWACJI W LUBLINIE
SERIA: TRANSPORT I INFORMATYKA

Rada naukowa:

prof. dr hab. inż. Zdzisław Chłopek, prof. Tatiana Corejova,
prof. dr hab. inż. Igor Kabashkin, prof. zw. dr hab. Wiesław Kamiński,
prof. dr hab. inż. Grzegorz Koralewski, prof. dr hab. inż. Stefan Liscak,
dr inż. Yarolaw Ludchenko, prof. dr inż. Aleksander Medvedevs,
prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Niewczas, prof. dr hab. inż. Andrzej Sobiesiak,
prof. zw. dr hab. inż. Maciej Sobieszczański, prof. zw. dr hab. inż. Marek Stabrowski,
prof. dr inż. David Vališ

Redakcja:

dr inż. Józef Stokłosa (Redaktor Naczelny), mgr Joanna Sidor-Walczak (Sekretarz Redakcji),
mgr Marek Szczodrak (Redaktor Techniczny)

Redaktorzy tematyczni:

prof. dr hab. inż. Tadeusz Cisowski (Logistyka i systemy transportowe),
prof. dr hab. inż. Krzysztof Olejnik (Techniczne środki transportu),
prof. dr hab. inż. Jan Kukielka (Infrastruktura transportu),
prof. dr hab. Przemysław Stpicyński (Informatyka),
prof. dr hab. Grzegorz Wójcik (Informatyka)

Recenzenci:

dr inż. Józef Stokłosa, dr hab. inż. Zofia Józwiak, prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Niewczas,
dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz, dr hab. inż. Paweł Drożdziel,
prof. dr hab. inż. Henryk Komsta, dr hab. inż. Tomasz Nowakowski

Redaktorzy prowadzący:

Marek Szczodrak, Anna Konieczna, Paulina Kamińska

© Copyright by Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe

Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowanie i rozpowszechnianie całości
lub fragmentów niniejszej pracy bez zgody wydawcy zabronione.

Printed in Poland

Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe

Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji

20-209 Lublin, ul. Projektowa 4

tel.: + 48 81 749 17 77, fax: + 48 81 749 32 13

www.wsei.lublin.pl

ISSN: 2084-8005

Spis treści

Jan Wrona, Rafał Wrona

- Obszar niewłaściwej widoczności wokół pojazdu zagrożeniem bezpieczeństwa ruchu drogowego
Traffic hazards related to vehicle insufficient all-around visibility5

Marek Stabrowski

- Praktyczne problemy projektowania aplikacji wielowątkowych w standardzie posix
Practical problems of multithreaded application design using POSIX standard13

David Valis

- Selected mathematical functions used for oil field data information mining
Wybrane funkcje matematyczne stosowane do analizy stanu obiektów technicznych w oparciu o badanie oleju silnikowego23

Grzegorz Koralewski

- Wpływ sterowania układem napędowym autobusu miejskiego na zużycie paliwa
Influence of controlling a city bus driving system on fuel consumption.35

Jakub Krawczyk

- Modyfikacja technologii tłoczenia obudowy łożyska
Modification of stamping technology of the bearing case47

Jan Wrona, Rafał Wrona

- Cybernetyczny model start mechanicznych silnika spalinowego
Effects of the i.C. Engine wear on its internal mechanical losses59

Marek Stabrowski

- LAPACK efficiency improvement through redesign in c/c++ style
Poprawa efektywności pakietu LAPACK poprzez przeprojektowanie w stylu C/C++ ... 67

Zdzisław Chłopek, Leszek Piaseczny

- Modelowanie emisji cząstek stałych PM10 w miastach portowych
Modelling of Particulate matter pm10 emission in port cities77

Jan Wrona, Rafał Wrona

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie,
Politechnika Lubelska

Obszar niewłaściwej widoczności wokół pojazdu zagrożeniem bezpieczeństwa ruchu drogowego

Traffic hazards related to vehicle insufficient all-around visibility

Streszczenie

Opracowanie dotyczy analizy wpływu wyposażenia pojazdów na bezpieczeństwo ruchu drogowego. W artykule ujęto problem widoczności wokół pojazdu z pozycji oczu kierowcy jako istotny czynnik generujący zagrożenie drogowe. Na rzeczywistym przykładzie wypadku drogowego ze skutkiem śmiertelnym, określono nieprawidłowe zachowanie się uczestników zdarzenia. Dokonano również analizy i oceny obowiązujących przepisów, które dotyczą wyposażenia pojazdów w lustra, umożliwiające rozpoznanie innych uczestników ruchu z pozycji oczu kierującego samochodem ciężarowym.

Summary

The analysis of the impact of vehicle visibility features on traffic safety is the subject of this study. The study covers how vital the traffic hazards related to the quality of the view from driver's eyes position are. Using the real example of a car accident with fatality, the inadequate behaviors of accident partakers were identified. The analysis and assessment of current regulation specifying the requirements related to car equipment such as mirrors, that are securing the seeing of other road users from the position of truck driver's eyes, were carried out.

Słowa kluczowe: ruch drogowy, widoczność wokół pojazdu, zagrożenie, wypadek drogowy

Keywords: traffic, vehicle all-around visibility, hazard, car accident

1. Wstęp

Wyposażenie pojazdów objęte jest stanem prawnym, tj. Prawem o ruchu drogowym i rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. Nr 32, poz. 262 z późniejszymi zmianami) [4,5]. Dostosowanie przepisów krajowych do warunków Unii Europejskiej (wdrożenie dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/97/WE i 2007/38/WE), doprowadziło do opublikowania rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 4 maja 2009 r. w którym zostały zmienione zapisy w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia ujęte w paragrafie 11 ustęp 1. Szczegółowe warunki dotyczące wyposażenia pojazdów samochodowych w lusterka zamieszczone są w Załączniku do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 4 maja 2009 r. (poz. 639). Liczba i klasa oraz rozmieszczenie lusterek na pojeździe ujęta jest w paragrafie 2 w/w Załącznika, rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 4 maja 2009 r. Z zapisów tych wynika, że pojazd kategorii N2 > 7,5 t i kategorii N3 powinien być wyposażony w następujące lusterka zewnętrzne:

- główne klasy II obowiązkowe: 1 po stronie kierowcy i 1 po stronie pasażera,
- szerokokątne klasy IV obowiązkowe: 1 po stronie kierowcy i 1 po stronie pasażera,
- bliskiego widzenia klasy V obowiązkowe: 1 po stronie pasażera i dopuszczalne 1 po stronie kierowcy (z ograniczeniami),
- przednie klasy VI obowiązkowe: 1 przednie lustro (z wyjątkami i ograniczeniami). Zgodnie z dyrektywą UE Państwa Członkowskie z dniem 26 stycznia 2007 r. zakażą sprzedaży, rejestracji lub wprowadzenia do użytkowania samochodów kategorii N2 i N3, nie wyposażonych w lusterka wymienione wyżej. W Polsce powyższe przepisy w obowiązują od 4 czerwca 2009 roku i dotyczą pojazdów rejestrowanych po raz pierwszy.

W niniejszym artykule analizowany jest przykład zdarzenia drogowego z udziałem pieszego przechodzącego przez jezdnię przed ciągnikiem samochodowym marki Scania, sprzęgniętym z naczepą marki Schwarzmuller załadowanej ładunkiem o masie 27500 kg. Uczestniczący w zdarzeniu pojazd wyprodukowany był w 2004 r. i wyposażony był w wymagane przepisami lusterka tj. jedno duże lustro od strony kierowcy i trzy lusterka zewnętrzne prawe, które są widoczne na rys. 1.

Jak nie trudno zauważyć ciągnik samochodowy nie miał na wyposażeniu lusterka przedniego, które dotyczyło wyposażenia pojazdów rejestrowanych w Polsce, po raz pierwszy po 4 czerwca 2009 r. Na wstępie należy podnieść fakt, że pojazd biorący udział w analizowanym zdarzeniu, poddany był badaniom technicznym, zaś opiniujący uznał, że pojazd nie posiadał stosownych lusterek, co skutkowało przyczynieniem się kierującego do zaistnienia wypadku. Mając na uwadze powyższe, dokonano analizy całości materiału dowodowego oraz bazując na

literaturze fachowej [1,2,3] przeprowadzono rekonstrukcję przebiegu zdarzenia, którego skutkiem były nie przeżyciowe obrażenia pieszego.

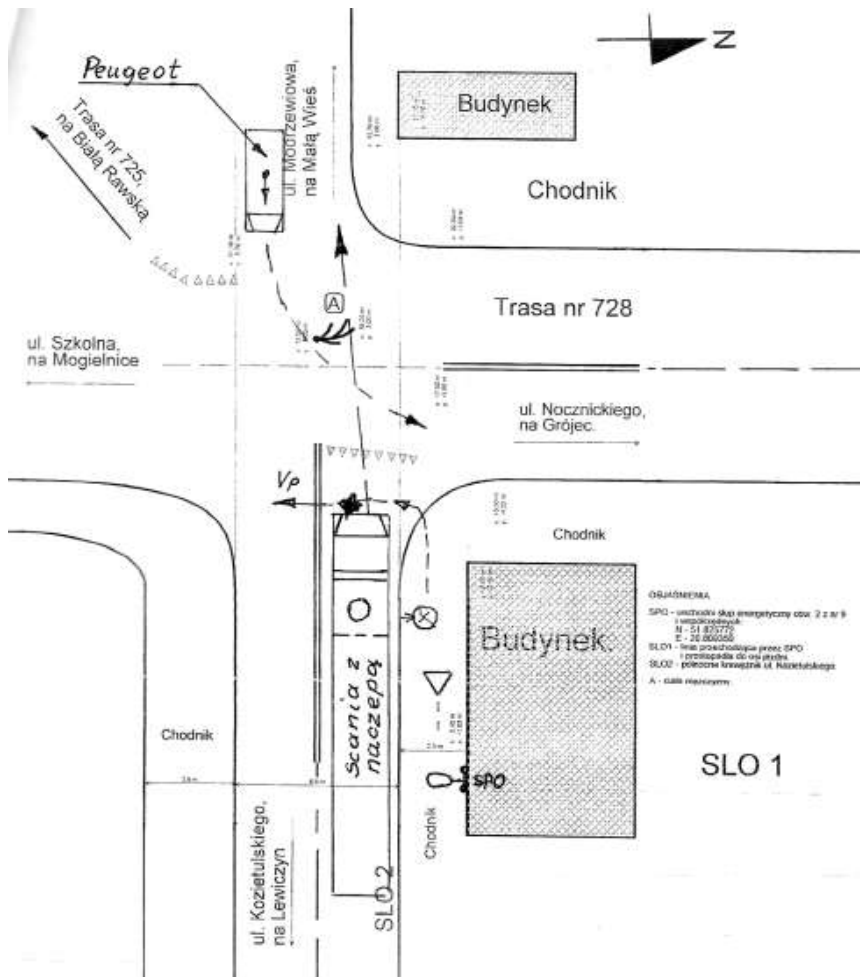


Rys. 1. Wyposażenie pojazdu w lusterka

2. Okoliczności zaistniałego wypadku

Do wypadku doszło w listopadzie 2012 roku w warunkach dziennych około godziny 11³⁰, na obszarze zabudowanym o dopuszczalnej prędkości jazdy 50 km/h. Zdarzenie miało miejsce na skrzyżowaniu dróg, których jezdnie nawierzchni asfaltowej były mokre, czyste i gładkie. Na chwilę przed zaistnieniem wypadku z drogi podporządkowanej dojechał do skrzyżowania kierujący pojazdem członowym składającym się z ciągnika Scania i naczepy Schwarzmüller. Kierujący ciągnikiem samochodowym zamierzał wjechać na skrzyżowanie z drogą z pierwszeństwem przejazdu z zamiarem jazdy na wprost. Oczekując na możliwość wjazdu na skrzyżowanie, kierujący w/w pojazdem członowym rozpoznał właściwą chwilę i ruszył do przodu. Podczas kontynuacji jazdy kierujący ciągnikiem samochodowym otrzymał sygnały od innego uczestnika ruchu, że potrącił pieszego. Okazało się, że pojazd członowy przejechał kołami lewej strony pojazdu po pieszym, który wszedł przed ruszający pojazd z chodnika, usytuowanego po prawej stronie jezdni, patrząc zgodnie ze zwrotem wektora prędkości pojazdu członowego. Sytuację zderzeniową ilustruje niżej załączony rys. 2.

Jak wynika z krótkiej relacji przebiegu zdarzenia, kierujący pojazdem nie rozpoznał pieszego, zarówno w chwili wejścia na jezdnię jak i w czasie przechodzenia pieszego przed pojazdem (przeszedł przed pojazdem odcinek drogi o długości około 2,0 m). Powyższa sytuacja wymaga analizy zarówno pod kątem obowiązującego prawa o ruchu drogowym jak i niezbędnego wyposażenia samochodu ciężarowego w lusterka, umożliwiające obserwację przestrzeni wokół pojazdu. W tym celu autorzy niniejszego opracowania przeprowadzili eksperyment z udziałem pojazdu uczestniczącego w wypadku. Eksperyment był tym bardziej konieczny, że ekspert badający pojazd po wypadku zauważył zamontowany sprzęt (skrzynka z nawigacją) na podszybiu przednim kabiny kierowcy, który mógł utrudnić rozpoznanie pieszego z pozycji oczu kierującego.

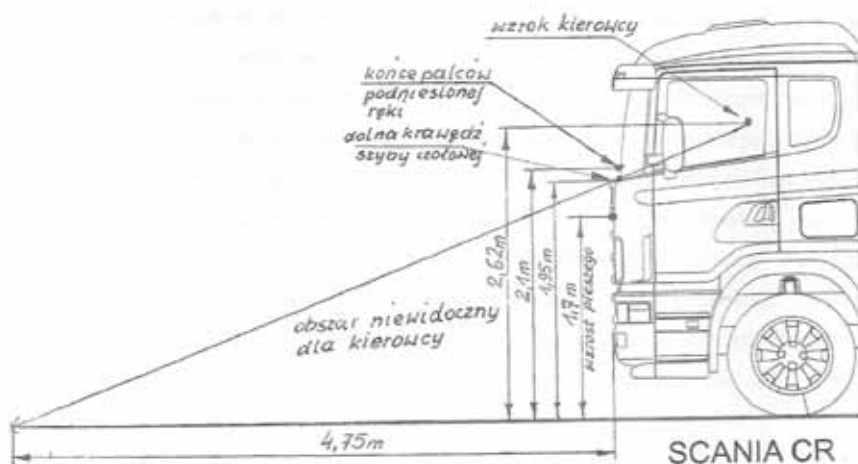


Rys. 2. Szkic miejsca zdarzenia oraz sytuacja zdarzeniowa

W toku eksperymentu wykorzystano mężczyznę (pozoranta) o wzroście 170 cm, tj. wzrostu, jaki posiadał pieszy, który zmarł na miejscu zdarzenia. Eksperyment poprzedzono pomiarami statycznymi na płaskiej nawierzchni placu, a wyniki zostały zilustrowane na rys. 3.

Z przebiegu badań eksperymentalnych został wykonany film, z którego niektóre ujęcia zostały zaprezentowane na rys. 4.

W toku eksperymentu dokonano oceny widoczności wokół pojazdu z pozycji oczu kierowcy w sposób bezpośredni (z zewnątrz pojazdu), jak i widoczności otoczenia pojazdu w lusterkach jakie posiadał samochód Scania w chwili zaistnienia wypadku. Wyselekcjonowane zdjęcia uzyskane podczas eksperymentu zilustrowano na rys. 5.



Rys. 3. Wyniki pomiarów ciągnika siodłowego marki Scania



Rys. 4. Przechodzenie pozoranta przed przodem pojazdu z zewnątrz i z pozycji oczu kierowcy

Podczas eksperymentu dokonano wybudowania skrzynki i innych przedmiotów ograniczających widoczność do przodu z pozycji oczu kierującego samochodem. Nadto dokonano badań podobnych pojazdów na terenie dealera firmy Scania w Lublinie w celu oceny widoczności przestrzeni wokół pojazdów. Wyniki tych badań pokrywają się z przeprowadzonymi wyżej tj. badaniami pojazdu uczestniczącego w wypadku. W tym miejscu należy zauważyć, że w samochodach Scania zabudowane są różne typy kabin, o różnej widoczności. Niemniej mając na uwadze obciążone siodło ciągnika, załadowaną naczepą w chwili zdarzenia, sytuacja ta nie wpłynęła istotnie na uzyskane wyniki badań. Także podczas eksperymentu regulowane było położenie fotela kierowcy zarówno w pionie jak i w poziomie w celu oceny tej regulacji na uzyskane wyniki. Uzyskiwane różnice pomiarów mieściły się w granicach błędu pomiarowego i nie uzasadniały zmiany otrzymanych wniosków



Rys. 5. Widoczność pozoranta z pozycji oczu kierowcy oraz jego obecność w lusterku bocznym

3. Ocena wyników i wnioski końcowe

Wyniki przeprowadzonych analiz i badań mają odpowiedzieć na podstawowe pytanie odnośnie przyczyny zaistniałego wypadku. Wcześniejsze ekspertyzy wskazywały na błędy popełnione przez kierowcę samochodem Scania. Natomiast jak wynika z aktualnie przeprowadzonej rekonstrukcji przebiegu zdarzenia, nieprawidłowe zachowanie się pieszego stanowiło o zaistnieniu analizowanego wypadku. Przepisy ruchu drogowego nie zabraniały pieszemu przechodzenia przez jezdnię na skrzyżowaniu, jednakże pieszy miał zabronione wchodzenie bezpośrednio przed jadący pojazd, czego przepisy ruchu drogowego zabraniają także na wyznaczonym przejściu dla pieszych. Można więc sformułować wniosek, że o zaistnieniu analizowanego zdarzenia decydowało nieprawidłowe zachowanie się pieszego.

Złożonym problemem jest natomiast ocena taktyki i techniki jazdy kierowcy samochodem Scania, którego zachowanie się, według wcześniejszych opinii, przyczyniało go do zaistniałego wypadku. W świetle przeprowadzonego eksperymentu oraz stanu prawnego dotyczącego wyposażenia samochodu Scania w lusterka, można jednoznacznie uznać, że w zaistniałej sytuacji drogowej, wytworzonej przez pieszego, kierowca nie miał realnych możliwości rozpoznania pieszego przekraczającego jezdnię przed ruszającym pojazdem, zatem nie mógł uniknąć wypadku. Można powyższą tezę wzmocnić analizą czasowo-przestrzenną. Otóż pieszy do chwili uderzenia go przez czołową powierzchnię nadwozia samochodu Scania przebył odcinek drogi o długości około 2,0 m. Zatem pieszy idąc z prędkością zawartą pomiędzy 0,83 do 1,0 m/s (Wypadki drogowe Vademecum biegłego sądowego)[3], wytwarzał zagrożenie w czasie $t_p = 2,0$ do 2,4 s. Z uwagi na brak określonej lokalizacji toru ruchu pieszego oraz miejsca zatrzymania się samochodu Scania przed skrzyżowaniem, trudno jest dokładnie ocenić prędkość samochodu w chwili uderzenia w pieszego, która na podstawie doświadczeń mogła

wynosić kilka kilometrów na godzinę. Niemniej o zaistnieniu analizowanego wypadku decydowało jednoznacznie nieprawidłowe zachowanie się pieszego.

Powyżej analizowany wypadek ma istotne znaczenie praktyczne, ponieważ dotyczy wskazania sprawcy zdarzenia, określonego wcześniej jako kierującego samochodem Scania.

Bibliografia

1. Kończykowski W.: Odtwarzanie i analiza wypadku drogowego, Paryż-Warszawa 1993 r.
2. Wrona J. i Wrona R.: Wyprzedzanie jako szczególnie niebezpieczny manewr ruchu drogowego, Autobusy 2012 r.
3. Wypadki drogowe Vademecum biegłego sądowego IES Kraków 2010 r.
4. Prawo o ruchu drogowym (Tekst ujednolicony, Dz. U. nr 207 z 8 grudnia 2009 r.).
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury (Dz. Ustaw nr 32 z 2002 r, poz. 262 z późniejszymi zmianami).

Marek Stabrowski

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

Praktyczne problemy projektowania aplikacji wielowątkowych w standardzie POSIX

Practical problems of multithreaded application design using POSIX standard

Streszczenie

W artykule przedstawiono krótko podstawowe koncepcje tworzenia aplikacji wielowątkowych w standardzie POSIX. Przedstawiono dwa praktyczne przykłady aplikacji z sekcjami krytycznymi i problemy poprawnego przetwarzania takich sekcji. Przyspieszenie wynikające z dekompozycji na wiele wątków zilustrowano przykładem mnożenia macierzy.

Summary

This paper describes concisely basic methods and concepts of building multithreaded applications using POSIX standard. Two practical application examples with critical sections are presented. Correct handling of critical sections is analyzed and described. Acceleration due to multithreading is illustrated with the example of matrix multiplication.

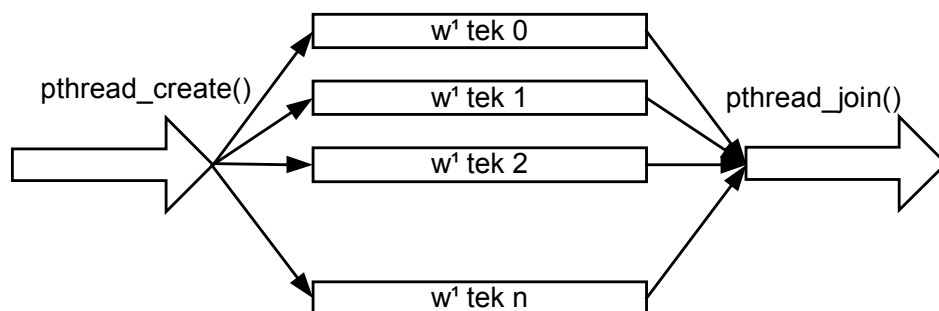
Słowa kluczowe: wątki POSIX, sekcje krytyczne, muteksy

Keywords: POSIX threads, critical sections, mutexes

1. Aplikacje wielowątkowe i standard POSIX

Aplikacje wielowątkowe są coraz atrakcyjniejsze w związku z faktem iż tanie procesory wielordzeniowe stały się już dawno standardem także w świecie komputerów osobistych. Zaletą aplikacji wielowątkowych jest prostota komunikacji pomiędzy wątkami – wątki współdzielą tę samą przestrzeń adresową, a także niewielki narzut administracyjny operacji tworzenia i łączenia wątków. Istnieje kilka narzędzi wspomagających tworzenie aplikacji wielowątkowych, takich jak zestawy funkcji bibliotecznych na stosunkowo niskim poziomie, czy przyjazne dla użytkownika systemy poleceń wysokopoziomowego interfejsu programistycznego [1, 2, 3]. W tym artykule zostaną przedstawione wybrane przykłady wykorzystania biblioteki wątków w standardzie POSIX, by pokazać, że mimo pozorów, używanie tej biblioteki nie nastręcza poważniejszych trudności.

Aplikacja wielowątkowa dzieli przetwarzanie informacji na kilka/wiele niezależnych (oczywiście jeśli taka niezależność ma miejsce) bloków/wątków przetwarzanych równoległe, najlepiej przez niezależne procesory/rdzenie procesora (rys. 1).



Rys. 1. Ogólny schemat aplikacji wielowątkowej

Utworzenie wątków wg standardu POSIX wymaga, w programie opracowanym w języku C/C++, wywołania funkcji bibliotecznej

```
int pthread_create(pthread_t *thread,
    const pthread_attr_t *attr,
    void *(*start_routine) (void *), void *arg);
```

Trzecim argumentem tej funkcji jest funkcja wątkowa (realizowana przez poszczególne wątki), a czwartym – wskaźnik do argumentów funkcji wątkowej. Koncepcja funkcji wątkowej tylko pozornie jest złożona. Rozważmy prosty, przykład sumowania liczb zawartych w dużej tablicy. Funkcja wątkowa sumuje część elementów tej tablicy, przy czym jako argumenty otrzymuje adres tablicy, indeks

pierwszego sumowanego elementu, indeks ostatniego, a oblicza/zwraca sumę swojego segmentu. Argumenty te powinny być zgrupowane w strukturę.

Po zakończeniu przetwarzania informacji przez poszczególne wątki mogą być one połączone w pojedynczy wątek, czyli ciąg instrukcji przetwarzany sekwencyjnie, za pomocą funkcji bibliotecznej

```
int pthread_join(pthread_t thread, void **retval);
```

Jak widać koncepcja wątków w standardzie POSIX, mimo pozorów i konieczności pewnych modyfikacji programu, jest dość przejrzysta.

2. Prosty przykład sekcji krytycznej i muteksów

Przedstawiony dalej prosty program pokazuje w działaniu aplikację z dwoma wątkami współzawodniczącymi o dostęp do tego samego zasobu – do standardowego strumienia wyjścia. Program ten jest skorygowaną transpozycją programu rozwidlającego się w dwa procesy [4], przy czym procesy zastąpiono wątkami, semaforów muteksami oraz usunięto drobne błędy podziału wyprowadzanego na wyjście napisu. Synchronizacja wątków lub inaczej skoordynowanie ich dostępu do strumienia wyjściowego polega na zablokowaniu dostępu do tego strumienia, gdy zaczyna z niego korzystać jeden z wątków. Dostęp do strumienia wyjściowego jest odblokowywany, gdy wątek ten zakończy operacje wejścia-wyjścia i wtedy dostęp do tego strumienia uzyskuje drugi wątek, blokując dostęp innych wątków do tego strumienia.

Ciąg operacji wejścia-wyjścia w każdym z tych wątków, nie podlegający przerywaniu jest tak zwaną sekcją krytyczną. Zablokowanie jej przerywania jest realizowane poprzez wywołanie funkcji `pthread_mutex_lock()`, która „zapala czerwone światło” na semaforze wątkowym (muteks – od ang. mutual exclusion) – tutaj zrealizowanym jako zmienna `mutexmess`. Prototyp tej funkcji ma postać

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
```

Dualna funkcja odblokowująca semafor wątkowy, czyli „zapalająca zielone światło” ma prototyp

```
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

Poniżej przedstawiono funkcję `OutMess()` realizowaną przez wątki przykładowego programu. Funkcja ta oczekuje właściwie trzech argumentów, ale ponieważ zgodnie ze standardem POSIX funkcji wątkowych, można do takiej funkcji przekazać tylko jeden argument, argumenty te zostały zgrupowane w strukturę `OutParameters` i tym jedynym argumentem jest wskaźnik do tej struktury. Sekcją

krytyczną jest pętla for, wypisująca w poszczególnych wątkach połowę (lub prawie połowę) pewnego napisu. By sprowokować system operacyjny do przełączania wątków, w przypadku rezygnacji obudowania sekcji krytycznej za pomocą muteksu, po wyprowadzeniu pojedynczego znaku wywołano funkcję `sleep()` usypiającą na krótko bieżący wątek.

```
#define          NUM_THREADS 2
#define          USE_MUTEXES

using namespace std;
/* Parametry dla funkcji OutChars zgrupowane w strukturę.
*/
struct OutParameters
{
    /* Numer wątku. */
    int no_thread;
    /* Długość całego napisu. */
    int length;
    /* Wskaźnik do napisu. */
    const char *message;
};
/* Mutex - zmienna globalna. */
pthread_mutex_t mutexmess;

void *OutMess(void *arguments)
{
    int i0;    const char *StringPtr;
    /* Rzutowanie ze standardowego typu void
        do aktualnego typu argumentów. */
    struct OutParameters *ptr =
        (struct OutParameters *) arguments;
    int odd = (ptr->length)&1;
    StringPtr = ptr->message;
    ptr->length /= NUM_THREADS;
    if (ptr->no_thread==0)
    {
        i0 = 0;
    }
    else
    {
        i0 = ptr->length; ptr->length += odd;
    }
}
```



```

#ifdef    USE_MUTEXES
    pthread_mutex_lock (&mutexmess);
#endif
    for (int i=0; i < ptr->length; i++)
    {
        cout << *(StringPtr+i0+i);
        cout.flush();
        sleep(1);
    }
#ifdef    USE_MUTEXES
    pthread_mutex_unlock (&mutexmess);
#endif

} /*----- end of OutMess -----
-*/

```

Program ten, w przypadku użycia muteksów, a więc wtedy, gdy zdefiniowane jest makro `USE_MUTEXES`, wypisuje poprawnie cały napis przekazany do obu wątków, na przykład

```
Hello world!
```

Jeśli makro `USE_MUTEXES` nie jest zdefiniowane, to jest nie użyto muteksów, wyjście tego dwuwątkowego programu może mieć postać

```
Hweolrllod !
```

Jednakże po usunięciu wywołania funkcji `sleep()`, usypiającej na krótko bieżący wątek, na wielu platformach programowo-sprzętowych, cały napis wypisywany jest poprawnie. Oczywiście należy to traktować jako szczęśliwy przypadek. Tylko zastosowanie semafora wątkowego gwarantuje poprawne wypisanie obu części napisu.

3. Wielowątkowe obliczanie iloczynu skalarnego

Kolejny przykład ma charakter zdecydowanie bardziej użyteczny – pokazuje wielowątkowe obliczanie iloczynu skalarnego dwóch wektorów. Przykład ten został zaczerpnięty (wprowadzono jedynie drugorzędne modyfikacje) z dostępnego w Internecie podręcznika [1] opracowanego w Lawrence Livermore National Laboratory.

Podobnie jak poprzednio poniżej przedstawiono funkcję wątkową `dotprod()`, to jest funkcję realizowaną przez poszczególne wątki. Mnożone wektory składają się z $4 \cdot 10^6$ liczb typu `double` i podzielone są na cztery segmenty. Wewnątrz każdego z wątków obliczany jest iloczyn skalarny pojedynczego segmentu zapisywa-

ny, w lokalnej dla danego segmentu, zmiennej `mysum`. Iloczyn skalarny całości obu wektorów jest składową zmienną `sum` struktury `dotstr`. Operacja obliczania tej zmiennej, to znaczy sumowania zmiennych `mysum` poszczególnych wątków, jest tu sekcją krytyczną i została obudowana operacjami muteksowej blokady i odblokowywania.

```
#define    NUM_THREADS 4
#define    VECLEN      1000000
#define    USE_MUTEXES

/* Obliczanie iloczynu skalarnego dwóch wektorów. */
typedef struct
{
    double*a;
    double*b;
    doublesum;
    int    veclen;
} DOTDATA;

/* Zmienne globalne i mutex. */
DOTDATA dotstr;
pthread_mutex_t mutexsum;

void *dotprod(void * arg)
{
    /* Lokalne zmienne. */
    int i, start, end, len;
    long offset;
    double mysum, *x, *y;
    offset = (long)arg;
    len = dotstr.veclen;
    start = offset*len;
    end = start + len;
    x = dotstr.a;
    y = dotstr.b;
    /* Obliczenie iloczynu skalarnego i zapisanie go w lo-
    kalnej zmiennej wątku. */
    mysum = 0;
    for (i=start; i < end; i++)
        mysum += (x[i] * y[i]);
    /* Zablokowanie muteksu przed aktualizacja wartosci
    we wspoldzielonej strukturze.*/
```

```

#ifdef    USE_MUTEXES
    pthread_mutex_lock (&mutexsum);
#endif
    dotstr.sum += mysum;
#ifdef    USE_MUTEXES
    pthread_mutex_unlock (&mutexsum);
#endif
    pthread_exit ((void *) 0);
} /*----- koniec dotprod -----
--*/

```

Rezultaty eksperymentów z tym programem mogą początkowo zaskakiwać. Otóż po rezygnacji z muteksu blokującego sekcję krytyczną, to znaczy po usunięciu makra `USE_MUTEXES`, obliczenia iloczynu skalarnego są nadal poprawne. Wielokrotne powtarzanie obliczeń, czy dodanie funkcji usypiającej wątek, nie zmienia sytuacji, to znaczy iloczyn skalarny obliczany jest poprawnie.

Sytuacja ulega zasadniczej zmianie po wprowadzeniu pokazanych poniżej modyfikacji. Jak widać w poszczególnych wątkach nie kumuluje się częściowych iloczynów w lokalnej dla danego wątku zmiennej `mysum`, tylko dodaje te iloczyny do zmiennej `dotstr.sum`, czyli do globalnego, całosciowego iloczynu.

```

    for (i=start; i < end; i++)
    {
#ifdef    USE_MUTEXES
    pthread_mutex_lock (&mutexsum);

#endif

        dotstr.sum += (x[i] * y[i]);

#ifdef    USE_MUTEXES
        pthread_mutex_unlock (&mutexsum);

#endif
    }

```

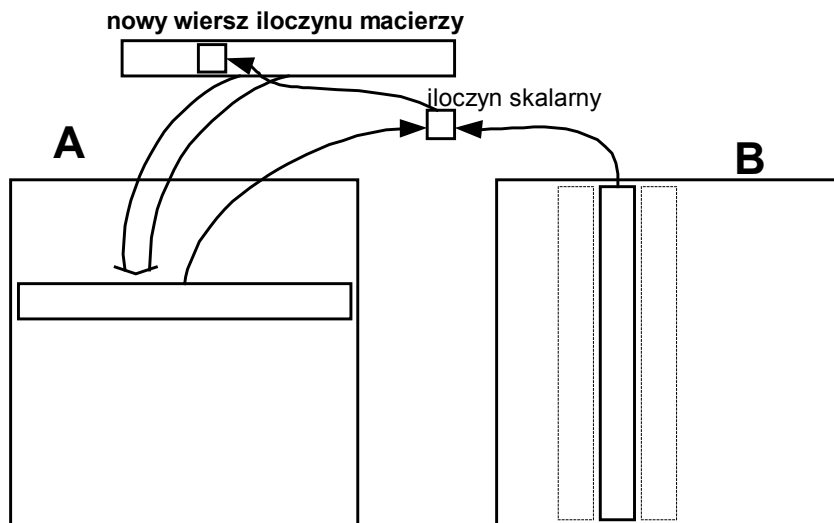
Gdy w zmodyfikowanym programie użyta jest blokada muteksowa, obliczania iloczynu skalarnego prowadzi do poprawnych rezultatów. Po rezygnacji z blokady muteksowej, rezultaty działania programu mają charakter przypadkowy – w kolejnych próbach uruchomienia programu uzyskuje się różne wyniki, odbiegające od wartości poprawnej. Wyjaśnienie jest dość proste. W oryginalnym programie sekcja krytyczna wykonywana jest tylko cztery razy (cztery wątki). W zmodyfikowanym programie sekcja krytyczna jest wykonywana cztery miliony razy, a więc jest wówczas aż nadto okazji do jej przerywania w miejscu krytycznym. Podsumowując, nie należy jednak wysnuwać stąd pochopnego wniosku, że w przypadku pewnych sekcji krytycznych blokada muteksowa jest zbędna.

4. Mnożenie macierzy

Operację mnożenia macierzy można podzielić na praktycznie autonomiczne wątki w sposób zupełnie naturalny. Rozważmy wyznaczanie iloczynu dwóch macierzy kwadratowych

$$C = A \cdot B \quad (1)$$

Najprostszy sposób wyodrębniania poszczególnych wątków można rozpocząć od podziału macierzy A na kilka bloków wierszowych (blok to kilka, do kilku tysięcy wierszy). Dalej w obrębie każdego z wątków wyznacza się elementy poszczególnych bloków wierszowych macierzy C, mnożąc odpowiednie bloki wierszowe macierzy A (tj. prostokątne podmacierze) przez całą macierz B. Obliczenia w poszczególnych wątkach są całkowicie niezależne.



W implementacji tego algorytmu [5] zdecydowano się, w celu ograniczenia zapotrzebowania na pamięć operacyjną, na implementację typu „in place”, czy raczej „almost in place”. Zrezygnowano z tworzenia dodatkowej macierzy C, zastępując elementami macierzy iloczynu elementy macierzy A. Szczegóły tej implementacji przedstawiono na rys. 2. W tej wersji algorytmu wyznacza się elementy iloczynu dla kolejnych wierszy macierzy A, obliczając iloczyny skalarne danego wiersza A i wszystkich kolumn macierzy B. Elementy wiersza iloczynu przechowywane są w pomocniczym wektorze wierszowym (rys. 2), a po jego całkowitym wypełnieniu przemieszcza się je w miejsce w pełni już wykorzystanego wiersza macierzy A.

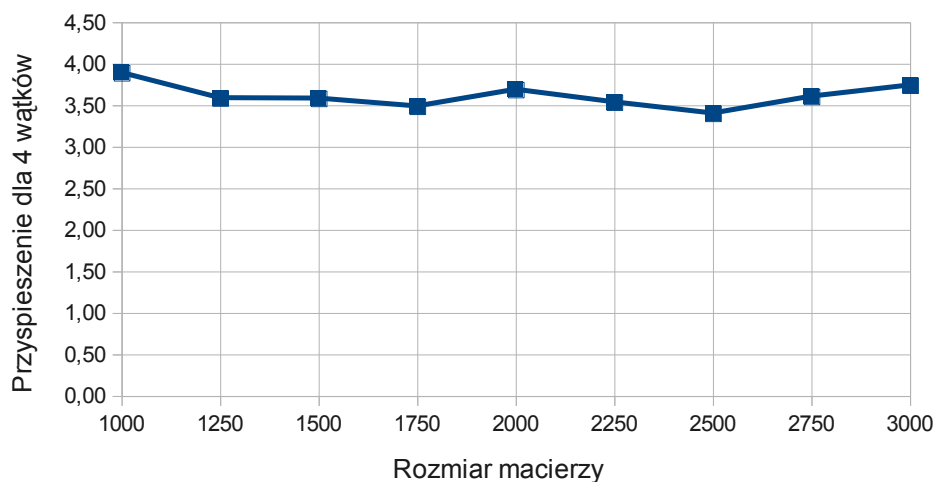
Poszczególne wątki obliczają elementy bloków wierszy macierzy iloczynu, a jako informacje wejściowe wykorzystują bloki wierszy macierzy A oraz całość macierzy B. Wielowątkowa implementacja tego algorytmu jest dość oczywista, ale trudno tu przedstawić zwięźle wszystkie jej szczegóły. Rezultaty zrównoleglania obliczeń iloczynu macierzy na platformie procesora czterordzeniowego przedstawiono na rys. 3. Czas realizacji obliczeń zmierzono za pomocą funkcji

```
clock_t times(struct tms *buffer);
```

Funkcja ta jest nader użyteczna w pomiarach czasów procesów – użytkownika i systemowego – zwłaszcza w otoczeniu wieloużytkownikowym.

Algorytm mnożenia macierzy poddaje się bardzo dobrze zrównoleglaniu i dla badanego zakresu rozmiarów macierzy współczynnik przyspieszenia obliczeń był praktycznie niemal równy liczbie rdzeni/procesorów.

Rys. 3. Przyspieszenie obliczeń w czterowątkowej wersji mnożenia macierzy w stosunku do wersji jednowątkowej



5. Uwagi i wnioski

W artykule zbadano i przetestowano dwa interesujące przykłady przetwarzania sekcji krytycznych w aplikacjach wielowątkowych. Wykazano, że zastosowanie muteksów, tj. semaforów wątkowych, gwarantuje poprawne, czyli niepodzielne, wykonywanie operacji wewnątrz sekcji krytycznych.

Korzyści wynikające z dekompozycji realnej aplikacji na kilka wątków dobrze ilustruje przykład mnożenia macierzy. Osiągnięto tu przyspieszenie obliczeń nie-

mał równe liczbie procesorów. Należy jednak realistycznie zauważyć, że osiągnęte przyspieszenia zależą od możliwości zrównoleglania algorytmu.

Literatura

- [1] BARNEY B., Introduction to Parallel Computing. Lawrence Livermore National Laboratory – podręcznik dostępny w portalu https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/.
- [2] BUTENHOF D. R., Programming with POSIX Threads. Addison-Wesley, Boston 2007.
- [3] CHANDRA R., KOHR D., MAYDAN D., DAGUM L. i in., Parallel Programming in OpenMP. Elsevier, Oxford 2000.
- [4] FUSCO J., Linux, niezbędny programista. Prentice Hall/Helion, Gliwice 2009.
- [5] STABROWSKI M. M., Komputery z procesorami dwurdzeniowymi jako platforma aplikacji wielowątkowych. W: Miłosz M., Muryjas P. (red.): Informatyka Stosowana. Eksploatacja, ss. 25-32. Polskie Towarzystwo Informatyczne, Katowice 2007.

David Valis

University of Defence, Brno, Czech Republic

Selected mathematical functions used for oil field data information mining

Wybrane funkcje matematyczne stosowane do analizy stanu obiektów technicznych w oparciu o badanie oleju silnikowego

Summary

The paper deals with application of selected analytical methods in order to analyse field data from heavy off-road military vehicles. The information from the engine oil are interpreted in form of polluting particles like particles from wear process (e.g. Fe, Pb, Cu, etc.) and particles from oil deterioration itself (like Mn, Si, Zn, etc.). These particles can give us information both about system state and about oil state. We have reasonable set of oil data from field operation available. Based on the data we assume being able to determine the system condition and propose some changes (e.g. in residual operation life, in maintenance modifications in the intervals, in mission planning, etc.). Selected methods like regression analysis and fuzzy inference system are used for the data assessment.

Keywords: Field data assessment, off-line diagnostics, inputs to maintenance optimization, tribo-diagnostics, regression analysis, fuzzy logic, residual life estimation

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie wybranych metod analitycznych do oceny stanu technicznego ciężkich wojskowych pojazdów terenowych. Przedstawiono sposoby i metody interpretacji zawartości pierwiastków (np. Fe, Pb, Cu) w przepracowanym oleju silnikowym. Autorzy uważają, że cząstki te niosą informację o stanie systemu, w którym pracuje olej oraz o samym oleju. Bazując na wynikach analizy oleju istnieje możliwość oceny stanu technicznego systemu mechanicznego oraz wyznaczenie czasów przeglądów i działań prewencyjnych.

Słowa kluczowe: wprowadzenie do optymalizacji obsługiwanego, analiza regresyjna, logika rozmyta, szacowanie cyklu życia obiektów technicznych

1. Introduction

The growing dependability and operation safety requirements for modern equipment together with the increasing complexity and continuous attempts to reduce operation and maintenance costs might be satisfied among others by the consistent use of modern diagnostic systems. The main task of object technical state diagnostics is not only to find out incurred failures, but also to prevent from the failure occurrence with the help of sensible detection and changes localization in the object structure and in its behaviour changes. Many various approaches have been published on system diagnostics and CBM (Condition Based Maintenance).

A tribotechnical system (TTS), friction in it, wear and lubrication, and especially the outcomes of it are the subjects of our major concern. We would like to analyse the outcomes from technical diagnostics of TTS. There exists wide range of data from the TTS which are not analysed further. We find this is a pity. Our main objective is to extract maximum information from the diagnostic of TTS in order to gain tools for optimising: maintenance, cost-benefit processes, operation and mission planning. The authors will apply selected mathematical tools to get some inputs into previously mentioned areas. Regarding the tribotechnical system, the basic information about tribological process, operating and loss variables are provided [1-3].

Owing to the TTS we have got a lot of diagnostic oil data. In view of tribo-diagnostics this data is considered to be the final outcome. This data can tell us a lot about lubricants / life fluids quality itself as well as about system condition. Such data are very valuable. System operation, taking the oil samples and the outcomes themselves, are very fuzzy therefore we use approaches from the fuzzy logic theory. The procedure and results presented below are based on standard mathematical principles – a regression function and a regression analysis and fuzzy logic. From both presumptions we can expect reasonable costs savings. As from the military point of view we would like to determine remaining residual life to be able to perform a mission. Following the regression analysis it is possible among others to assess the operating history of an observed vehicle.

2. Objects of diagnostics and methods

The assumed objects of diagnostics in our case the medium lorry T810 engines have not been ready yet in terms of design to use the ON-LINE system, though in practice similar possibilities for other applications have already existed. It results from the information stated above that we are still supposed to use OFF-LINE engine diagnostics system when sampling lubrication fluid at certain intervals, and using known and optimised special tribodiagnostic methods [4]. In our case we use the results and information from atomic emission spectrometry. Following

this analysis we can obtain the information about the presence of the elements of a specific kind and the amount of elements. When evaluating data, the information is transformed many times and provides only estimated reality which might be different from reality itself. If the vagueness in classes distribution is not given by a stochastic character of measured characteristics but by the fact that the exact line among states classes does not exist, it will be later on good to use fuzzy set theory and adequate multi-criteria fuzzy logic. However, we cannot identify their real origin – e.g. as a result of fatigue, cutting or sliding. Therefore in our further research we try to identify where the elements might come from. We base our assumptions on idea to increase the potential for maintenance optimisation inputs and cost benefit analysis inputs.

3. Oil field data assessment and mathematical model

Having enough statistically important set field data obtained from the diagnosed objects. It fulfils the basic assumption that we might be capable to solve this problem successfully. Since the data sets are very extensive, we are not going to introduce them here except for a part/example of plumbum particles representing the sample of T810 – it is presented in Table 1. We deal with dozens of samples taken and analysed at different types of observed engines. In certain aspects we consider the engine from an infantry fighting vehicle to be a reference object, because the event of a failure type has occurred in it. All tribodiagnostic processes related to the failure occurrence have been recorded. We assume having potential for system residual life estimation based on the field data course. The both approaches based on regression and FIS (Fuzzy Inference System) are presented below.

Table 1. Input data of Pb particles

Sample/Mh	Pb particles (ppm)	Sample/Mh	Pb particles (ppm)
1/0	4.34	26/233	5.77
2/8	5.11	27/244	5.27
3/11	5.62	28/255	4.35
4/22	4.92	29/259	4.17
5/26	4.58	30/269	3.71
6/35	5.14	31/271	4.98
7/46	4.52	32/283	4.77
8/57	5.28	33/294	4.34
9/64	5.23	34/305	4.73
10/72	5.72	35/316	4.95
11/84	4.62	36/327	1.67
12/95	5.46	37/331	5.54
13/106	4.33	38/341	2.17
14/109	5.05	39/351	1.90
15/119	5.70	40/363	1.94
16/136	5.84	41/374	2.20
17/146	5.10	42/383	4.34
18/153	5.42	43/395	5.48
19/164	5.67	44/402	1.97
20/175	5.14	45/416	2.29
21/179	4.84	46/427	3.73
22/188	5.57	47/438	3.45
23/200	6.22	48/445	4.89
24/211	5.08	49/453	1.80
25/222	7.00	50/464	2.03

3.1. Utilization of Regression Model

In this paper we present the final outcomes of regression functions utilization to try to describe the data precisely. We concentrate on the Pb particles only and regarding the one vehicle engine type (T810). Therefore dependencies like linear, parabolic and base function – square root plus confidence intervals in all instances will be applied. Exploring and analysing variable dependencies, the values of which are obtained when performing an experiment, is considered to be an important statistical task. In view of their random character, a random vector $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_k)$ represents independent variables and a dependent variable is represented by a random variable Y .

When describing and examining the dependence of Y on $\mathbf{X}$, we use a regression analysis, and this dependence is expressed by the following regression function:

$$y = \varphi(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = E(Y | \mathbf{X} = \mathbf{x}), \quad (1)$$

where $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_k)$ is vector of numerical variables, y is a dependent variable, $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)$ is vector of regression coefficients β_j .

For our data we will look for a regression function in suitable form – we exclude constant form. We will apply the models as e.g. linear regression model:

$$y = \sum_{j=1}^m \beta_j f_j(\mathbf{x}), \quad (2)$$

where $f_j(\mathbf{x})$ are well-known functions where $\beta_1, \dots, \beta_m$ are not involved.

For the data we will select gradually the following regression functions:

$m=2, f_1(x)=1, f_2(x)=x$, regression function: $y=\beta_1+\beta_2x$

$m=3, f_1(x)=1, f_2(x)=x, f_3(x)=x^2$, regression function: $y=\beta_1+\beta_2x+\beta_3x^2$

$m=4, f_1(x)=1, f_2(x)=x, f_3(x)=x^2, f_4(x)=x^3$, regression function: $y=\beta_1+\beta_2x+\beta_3x^2+\beta_4x^3$

The coefficient of determination (R^2) will show its suitability for approximation / data spacing with a relevant regression function. With the coefficient getting bigger, the regression analysis reflects the assessed data better. The form of the coefficient of determination calculation is as follows:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{\min}^*}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n(\bar{y})^2}, \text{ where } S_{\min}^* = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^m b_j f_{ji} \right)^2. \quad (3)$$

where $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, b_j is point estimation of β_j and $f_{ji} = f_j(x_i)$. The outcomes from the regression analysis for group of vehicles of the same type are presented below in figures 1-3.

Fig. 1. Linear dependence of Pb particles course (for group of vehicles) on operating time in Mh

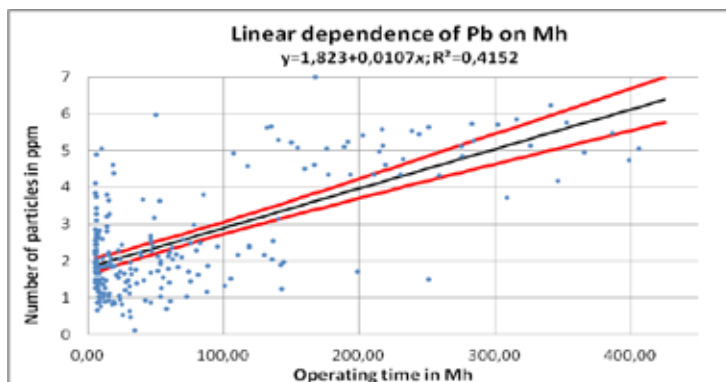


Fig. 2. Quadratic dependence of Pb particles course (for group of vehicles) on operating time in Mh

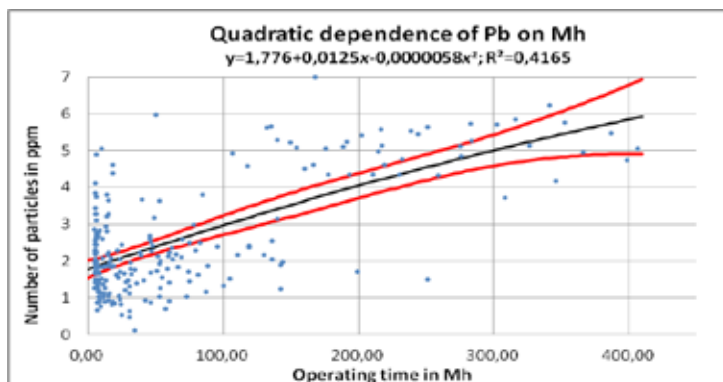
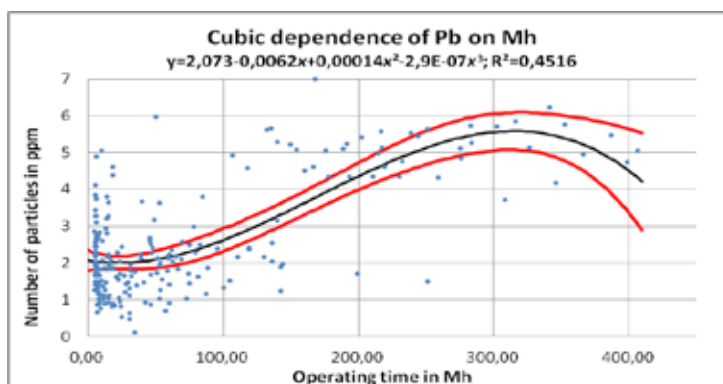


Fig. 3. Cubic dependence of Pb particles course (for group of vehicles) on operating time in Mh



3.2. Utilisation Of Fuzzy Inference System (FIS) and Comparison with Regression Approach

A Fuzzy Inference System (FIS) is based on the terms *fuzzy set* and *fuzzy relation* which were introduced by Lotfi A. Zadeh in 1965. The fuzzy set is one of the possible generalizations of the term set. The fuzzy set is a pair (U, μ_A) where U is a universal set and $\mu_A: U \rightarrow \langle 0,1 \rangle$ is a membership function assigning the elements from U to fuzzy set A . The membership is marked with $\mu_A(x)$.

Nowadays one of the most widely used applications is a Fuzzy Inference System – FIS (once used as a term “fuzzy regulator”). Two basic types of the FIS are used, and they are Mamdani and Sugeno [5, 6]. Each FIS consists of input and output variables and the FIS rules. For each FIS we specify:

- the number of input and output variables,
- for each input and output the number of predefined values (linguistics values) in the form of fuzzy sets,
- FIS rules described by predefined values.

We do not often expect a fuzzy set to be the FIS output, but we wish to get a single value $z_0 \in Z$, i.e. we want to defuzzify the FIS output. The centroid method is one of the most frequently used defuzzication methods. The FIS specified this way is called *Mamdani FIS* [5].

If we do not know how the process works (i.e. the FIS rules cannot be set), but the sufficient amount of input and output data is available, we can use the modification of Mamdani-FIS Sugeno (Takagi-Sugeno FIS) [5].

When looking for the FIS correlation between output values and input ones as for an unknown process, the method used a lot more frequently is a Sugeno FIS method which is in fact a Mamdani FIS modification. In order to find a relevant FIS, we use the data that serves as a background for the input and output values of the process. In most cases these values are a subset of real numbers, and therefore the inputs and outputs are in a numerical form. The input variables are similar to Mamdani FIS. The output variables Z_j are in constant or linear forms.

$$Z_j = \alpha_j \text{ or } Z_j = \alpha_j + \beta_{1,j}x_1 + \beta_{2,j}x_2 + \dots + \beta_{n,j}x_n, \quad (4)$$

where $\alpha_j, \beta_{i,j}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, k$ are suitable constants, k is the number of rules in the FIS model, and n -tuple $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ consists of n input variables to the FIS (model). Sugeno FIS output is the values weighted average Z_j , where the weight is obtained by comparing the input $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ with predefined input values [6].

To find a suitable Sugeno FIS, which describes the selected data, it is appropriate to divide the data into tuning and checking data. We find the FIS that corresponds to the tuning data best. The tuning part of data is divided into smaller parts, and predefined input (output) values and the rules describing relationship between relevant inputs and outputs are assigned to each part. There are two basic ways of dividing the data:

- dividing the area (which includes turning data) into smaller parts. A fuzzy set is assigned to each part, and their combination is used for creating rules.
- applying clustering methods to find clusters in data. One rule is made for each cluster.

After selecting the number of fuzzy sets (linguistics values) and rules, we search for appropriate parameters $(\alpha_j, \beta_{i,j})$ using output variables Z_j . These parameters were found through a neural network. The tuning itself results in setting parameters for the FIS to describe assigned tuning data as well as possible. The accuracy is verified by calculating the output values from the test data by the FIS, and then they will be

compared with the original output of the test data. The design, tuning and selection of the FIS were performed in MATLAB (Version 5.3) – FuzzyToolbox.

We concentrated on quadratic and base function courses only – as presented above – when looking for correlation with the fuzzy models results. The outcomes are presented in figures 4 and 5.

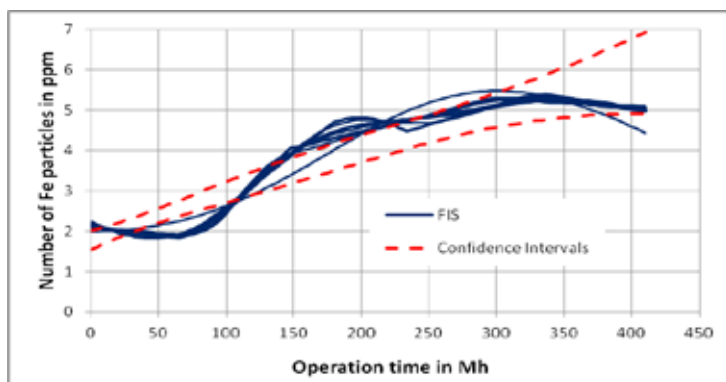


Fig. 4. Comparison of quadratic Pb course and fuzzy model

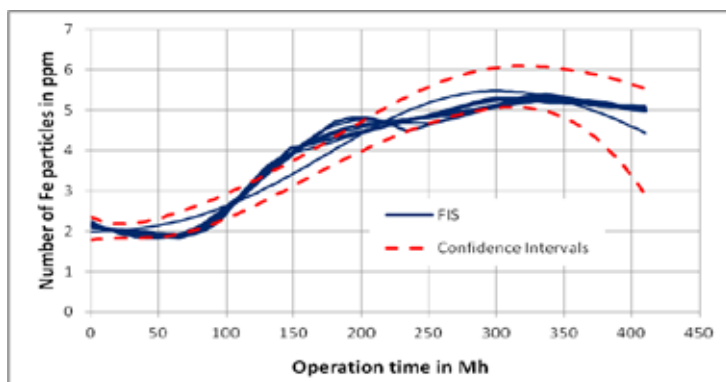


Fig. 5. Comparison of cubic function Pb course and fuzzy model

4. Summary

It is remarkable that the Pb particles generation based on oil field data might have both quadratic and more likely cubic/polynomial function course. This correlation outcome is based on the analysis performed above and with using the regression and fuzzy approach. The fuzzy approach has proved that polynomial/cubic course suits better which is also indicated by coefficient of determination R^2 .

The authors hope for having broadened the possibilities of extracting and utilization of pieces of information from TTS diagnostics – and respective interesting elements indicators. Although the regression analysis and FIS are common mathematical tools they have never been properly applied for analysis of TTS oil data. Whereas the potential of the TTS oil data is actually incredible valuable. The authors describe just small portion of the capabilities. Application of FIS supports our idea of describing some data generation course by selected regression forms. The authors present capabilities of the analysis results which play significant role as inputs e.g. for the system residual life estimation (RLE), maintenance optimisation, mission planning, etc. Some inspirational proposals for further development are mentioned e.g. in [7-17]. Using the TTS oil data from reference engine it is found that RLE might be determined for the other similar units. This approach will be further extended and developed into more precise RLE approaches.

Conclusion

In this paper we were looking for dependencies among measured values using statistical and fuzzy methods. While have applied two quite specific approaches therefore the comparison of acquired results is reasonable. At the beginning we did not know the exact theoretical background of the possible dependence of Pb particles occurrence on operating time. We were looking for this dependence using suitable approximate methods. The regression analysis and the Fuzzy Inference System serve as starting methods. When dealing with the regression analysis, it is necessary to choose a regression analysis form in advance. If the regression analysis form cannot be deduced theoretically, it is necessary to select relevant regression functions and then compare them with the measured data. In the case of fuzzy methods we did not have to select the form of an expected function, but determine the form and the amount of language values. They are important to set the Fuzzy Inference System. For different forms and amount of language values we obtain different dependence forms and shapes. It follows from the other results of other sets of field data obtained from different vehicle types that when combining properly both methods, we can find out that the dependence of measured data correspond with a real process. When dealing with the assessed data, it is advisable to use the FIS first, and then, following the form of a found dependence, select a relevant regression function. Despite taking a different analytical approach when applying single methods, the results are very similar to each other (see e.g. figures 4 and 5). It can be then assumed that the processed dependencies can be used for describing expected development under real operating conditions. The obtained results will be used for further research, e.g. the optimizing of maintenance procedures, mission planning, or the estimation of residual operating units, etc.

Acknowledgements

This paper has been prepared with the great support of the Project for Institutional Development of K-202 University of Defence, Brno and the research project no. 3, „Management Support of Small and Middle-Sized Firms Using Mathematical Methods” of Academy Sting, Business College in Brno.

References

1. Gesellschaft für Tribologie e.V. GfT Arbeitsblatt 7: Tribologie-Verschleiß, Reibung, Definitionen, Begriffe, Prüfung (GfT, Moers), 2002. In German.
2. Czichos H., Habig K-H.: Tribologie-Handbuch; Reibung und Verschleiß, 2nd edition. Weisbaden: Vieweg. (2003), In German.
3. Koucky M., Valis D.: Suitable approach for non-traditional determination of system health and prognostics. *Zeszyty naukowe*, Styczen-Marzec, Vol.1, No 159, p. 123-134. ISSN 1731-8157, (2011).
4. Lippay J.: Tribological diagnostics of heavy of road lorries Tatra 815 engines which operate with OA-M6 ADS II oil. Inauguration Thesis, Brno: Military Academy, (1991), In Czech.
5. Mamdani E. H.: Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 26, No. 12, 1182-1191, (1977)
6. Sugeno M.: Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co., (1985).
7. Vališ D., Koucký M., Žák L.: On approaches for non-direct determination of system deterioration. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 14, no. 1, p. 33-41. ISSN 1507-2711. (2012)
8. Quigley J., Walls L.: Trading reliability targets within a supply chain using Shapley's values. *Reliability Engineering and System Safety*, 92 (10), 1448-1457 (2007)
9. Revie M., Bedford T., Walls L.: Supporting Reliability Decisions During Defence Procurement Using a Bayes Linear Methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 58(4), 662-673 (2011)
10. Rak J., Pietrucha K.: Risk in drinking water quality control. *Przemysł chemiczny*. 87 (5), 554-556 (2008)
11. Stodola P., Jamrichova Z., Stodola, J.: Modelling of Erosion Effects on Coating of Military Vehicles Components. *Transactions of Famena*. 36(3), 33-44 (2012)
12. Stodola J., Stodola P.: Tribology's Contribution to Efficient Maintenance of Military Engines. In: *ICMT'09. Oprox, Brno* (2009)

13. Stodola J., Stodola P.: Mechanical System Wear and Degradation Process Modelling. Transactions of Famena. 34(4), 19-32 (2010)
14. Stodola J., Stodola P.: Operation Reliability and Diagnostics of Mechanical Systems. Transactions of Famena. 33(1), 47-56 (2009)
15. Jodejko-Pietruczuk A., Mlynczak M., Zajac M.: Assessment of economical lifetime of heavy-duty machines, Case study. Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications VOLS 1-3, ISBN 978-0-415-55509-08, pp. 531-534, Taylor and Francis Group, London (2010).
16. Bartlett L. M., Hurdle E. E., Kelly E. M.: Intergrated System Fault Diagnostics Utilising Diagraph and Fault Tree-based Approaches. Reliability Engineering and System Safety, 94(9), 1371-1380 (2009).
17. Edleston O. S. S. T., Bartlett L. M.: A Tabu search algorithm applied to the staffing roster problem of Leicestershire police force. Journal of the Operational Research Society, 63(4), 489-496 (2012).

Grzegorz Koralewski

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

Wpływ sterowania układem napędowym autobusu miejskiego na zużycie paliwa

Influence of controlling a city bus driving system on fuel consumption

Streszczenie

W artykule przedstawiono symulacyjne badania porównawcze wpływu sterowania układem napędowym autobusu miejskiego na zużycie paliwa. Dla autobusu z mechaniczną skrzynką biegów eksploatowanego w ruchu miejskim zarejestrowano rzeczywiste chwile zmiany przełożeń w układzie napędowym. Jednocześnie analitycznie wyznaczono algorytmy sterowania tej skrzynki biegów optymalne ze względu na zużycie paliwa jednak przy zachowaniu żądanych własności trakcyjnych autobusu. Oba rodzaje sterowania zrealizowano podczas komputerowej symulacji ruchu autobusu w fazie rozpędzania. Analiza porównawcza wykazuje mniejsze zużycie paliwa przy realizacji optymalnych algorytmów sterowania z uwagi na eliminację subiektywnego wpływu kierowcy na pracę układu napędowego autobusu w złożonych warunkach ruchu.

Słowa kluczowe: chwile zmiany biegów, rozpędzanie autobusu, symulacje komputerowe, optymalne algorytmy sterowania, zużycie paliwa.

Summary

In this paper presented are simulative, comparative studies on the influence of a city bus driving system on the fuel consumption. In a bus with a mechanical gearbox, driven under urban traffic, recorded were real-time moments of changing gears. On the other hand, controlling algorithms have been developed for that gearbox, which are optimal from the viewpoint of fuel consumption, yet preserving the demanded dynamic properties of the bus. The two ways of controlling were tested by a computer simulation of bus accelerating. A comparative analysis indicates lower fuel consumption in case of the optimal controlling algorithms. It is probably due to elimination of the subjective influence of a driver onto functioning of a bus driving system under complex traffic conditions.

Keywords: gear-shift moments, bus acceleration, computer simulation, optimal control algorithms, fuel consumption.

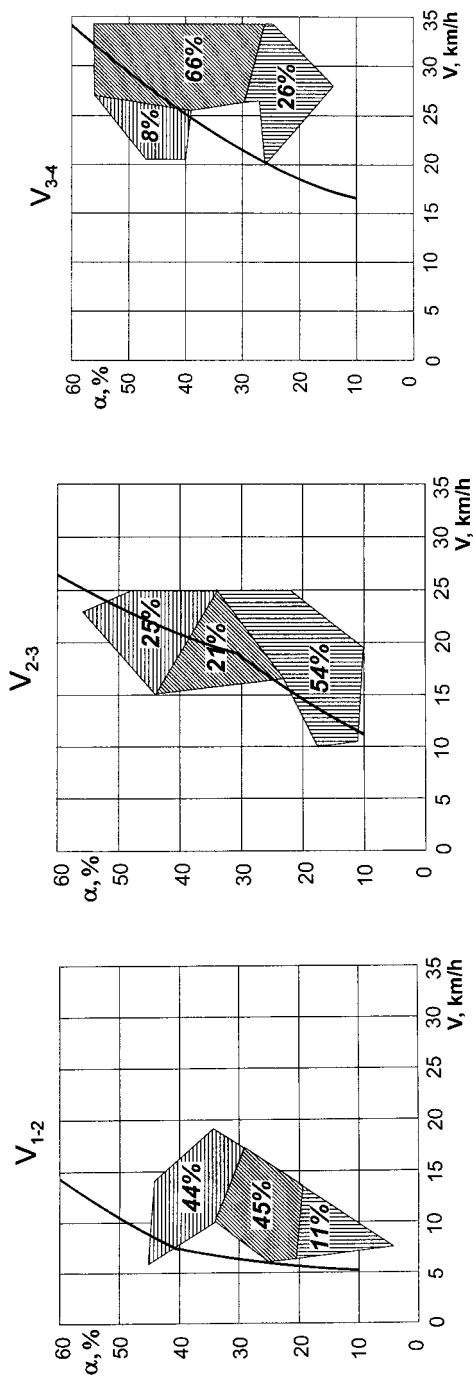
1. Wstęp

Jednym z najważniejszych wskaźników oceny jakości ruchu samochodu, także i autobusu miejskiego, jest zużycie paliwa przez silnik spalinowy. Bywa ono wykorzystywane jako kryterium energetyczne przy projektowaniu bądź optymalizacji układów napędowych pojazdów samochodowych. Powszechnie stosowane wskaźniki jak charakterystyka zużycia paliwa w funkcji ustalonych prędkości jazdy, czy kontrolne zużycie paliwa dla różnych stałych prędkości jazdy są wyznaczone dla ściśle ustalonych warunków badań określonych przepisami prawnymi [8]. Dotyczy to zarówno warunków drogowych, atmosferycznych, technicznego przygotowania autobusu, jego obciążenia jak i realizowanego przez samochód profilu prędkości ruchu łącznie z określeniem włączonego biegu w układzie napędowym. Nawet ocena zużycia paliwa w warunkach nieustalonych podczas symulacji jazdy miejskiej w tzw. cyklu europejskim (ECE 15) zawiera zdeterminowany profil jazdy samochodu ze wskazaniem włączonego biegu w układzie napędowym i z określonymi chwilami przełączeń biegów. Podobne procedury zawierają także testy jezdne stosowane w USA i Japonii [7]. Tak wyznaczane wskaźniki zużycia paliwa mogą być wykorzystywane w badaniach porównawczych jednak tylko dla takich samych, niezmiennych warunków badań.

Podczas rzeczywistej eksploatacji autobusu miejskiego wariacjom w bardzo szerokim zakresie podlegają wszystkie czynniki eksploatacyjne. Zarówno takie czynniki jak pełna masa autobusu czy rodzaj i stan techniczny drogi i związane z tym opory ruchu jak też gęstość ruchu ulicznego czy konieczność częstych postojów wymuszonych np. sytuacją drogową (przystanki miejskie, skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną, „korek” uliczny) determinują realizowany przez kierowcę profil prędkości ruchu autobusu. I dlatego zasadniczy wpływ na rzeczywiste eksploatacyjne zużycie paliwa mają z jednej strony wymienione czynniki eksploatacyjne a z drugiej, nie mniej ważny, sposób sterowania przez kierowcę układem napędowym autobusu kiedy to realizuje się wybór zakresu pracy silnika spalinowego, adekwatnego do występujących oporów ruchu autobusu. Kryterium jakości tego ruchu, mierzone zużyciem paliwa, w znacznej mierze zależne jest od kwalifikacji kierowcy, jego doświadczenia i ograniczeń obiektywnych wynikających ze złożoności sytuacji drogowych.

2. Badania eksperymentalne

Obiekt badań stanowił autobus miejski o masie 10500 kg (w trakcie badań) z silnikiem o zapłonie samoczynnym o pojemności skokowej 6,871 dm³ i maksymalnej mocy 169 kW przy 2400 obr/min oraz maksymalnym momencie obrotowym 850 Nm przy 1300-1500 obr/min, wyposażony w mechaniczną skrzynkę przekładniową o następujących przełożeniach biegów: $i_1 = 5,810$; $i_2 = 2,898$; $i_3 = 1,992$; $i_4 = 1,438$; $i_5 = 1,000$. Przełożenie przekładni głównej wynosiło: $i_0 = 5,860$.



Rys. 1. Mapa rozkładu chwil zmiany biegów dla faz rozpędzania autobusu eksploatowanego w ruchu miejskim.

Mając na uwadze fakt, że sterowanie układem napędowym autobusu (zmiana biegów wraz z towarzyszącym temu procesowi sterowaniem silnikiem) jest najbardziej wyeksponowane w złożonych warunkach ruchu, np. podczas jazdy miejskiej, projektując eksperyment zdecydowano się na przeprowadzenie jazd testowych w warunkach jazdy miejskiej, kiedy badany autobus poruszał się w strumieniu innych pojazdów. Trasy przejazdów i ich długość zostały dobrane z uwzględnieniem zastosowania metodologii tego typu badań w odniesieniu do autobusów miejskich [3, 6], tak aby zapewnić dostateczną reprezentatywność typowych sytuacji drogowych współczesnego miasta. Aby jak najbardziej przybliżyć się do rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdu trasy jazd poprowadzono ulicami o zróżnicowanej płynności ruchu ulicznego. Przebiegały one zarówno obwodnicami wielopasmowymi, jak i wąskimi ulicami w centrum miasta z dużą liczbą skrzyżowań i punktów sygnalizacji świetlnej.

Badania prowadzono z udziałem trzech różnych kierowców z których dwóch posiadało dostatecznie duże doświadczenie w prowadzeniu autobusów (18-22 lata), przy czym jeden z nich posiadał skłonności do jazdy „dynamicznej”, a trzeci miał niewielki staż w prowadzeniu autobusu – bezpośrednio przed badaniami uzyskał uprawnienia do prowadzenia autobusu. Osiągnięto w ten sposób pewne zróżnicowanie pod względem reakcji psychomotorycznych kierowców. Pozwoliło to na uwzględnienie specyfiki prowadzenia autobusu przez różne osoby, a więc np. jazda bardziej „dynamiczna”, czy też zdecydowanie spokojna – z minimalną liczbą gwałtownych przyspieszeń i hamowań. Z uwagi na fakt, że każdy kierowca posiadał wykształcenie kierunkowe w zakresie mechaniki pojazdów samochodowych można uznać ich kwalifikacje zawodowe jako wysokie. Długość przejeżdżanych przez każdego kierowcę tras miejskich wynosiła ok. 60÷80 km, a w sumie w czasie wszystkich testów przejechano ok. 250 km. Jazdy testowe realizowano w porze letniej, w zasadzie w okresach średniej intensywności ruchu miejskiego. Jazdy w godzinach „szczytu” stanowiły ok. 25 % łącznego czasu wszystkich badań.

Podczas badań rejestrowano w sposób ciągły następujące parametry ruchu autobusu:

- położenie organu sterującego dawką paliwa α , mierzone w % jego maksymalnego wychylenia;
- prędkość obrotową wału korbowego silnika n_e ;
- czas ruchu t ;
- prędkość ruchu autobusu V ;
- przejeżdżaną drogę S ;
- wartość bezwzględną zużycia paliwa Q ;
- włączony bieg mechanicznej skrzynki przekładniowej i_i .

Analiza energochłonności poszczególnych faz ruchu autobusu, a także cykli jezdnych i w następstwie zużycia paliwa, prowadzi do konstatacji, że największe zapotrzebowanie na energię (i paliwo) ma miejsce podczas rozpędzania autobusu. Ta konstatacja pokrywa się także z innymi badaniami [9]. Dlatego też rejestracja powyższych parametrów po obróbce statystycznej i graficznej pozwoliła na sporządzenie statystycznego rozkładu chwil zmiany biegów dla faz rozpędzania autobusu, jako najbardziej energochłonnych faz ruchu. Mapę statystycznego ich rozkładu sporządzoną we współrzędnych prędkości ruchu V i stopnia wychYLENIA organu sterowania dawką paliwa α przedstawia rysunek 1.

Analizując rozkład chwil zmiany biegów dla faz rozpędzania autobusu należy zauważyć duże ich rozproszenie. Można zauważyć zarówno duży rozrzut wartości stopnia wychYLENIA organu sterowania dawką paliwa α zarejestrowanych dla wydzielonej prędkości ruchu przy której realizuje się przełączanie biegów jak i duże różnice prędkości dla stałej pozycji stopnia wychYLENIA organu sterowania dawką paliwa α . Należy tu podkreślić, że wszyscy kierowcy posiadali wysokie kwalifikacje, a większość z nich duże doświadczenie w prowadzeniu autobusu. Tak znaczne rozproszenie chwil zmiany biegów jest w pełni wytłumaczalne złożonością ruchu miejskiego i koniecznością koncentracji uwagi kierowców na bezpiecznym prowadzeniu autobusu.

3. Badania symulacyjne

Zaobserwowany w toku badań eksperymentalnych znaczny rozrzut rzeczywistych chwil zmiany przełożeń mechanicznej skrzynki biegów autobusu eksploatowanego w ruchu miejskim dał podstawę do oceny efektywności sterowania układem napędowym. Dla przeprowadzenia symulacyjnych badań porównawczych uprzednio wyznaczono optymalne linie sterowania przełączaniem biegów podczas rozpędzania autobusu. Są one naniesione na mapę rozkładu rzeczywistych chwil zmiany biegów w postaci linii ciągłych (rys. 1) w obszarze wykorzystywanych w ruchu miejskim współrzędnych fazowych (V , α).

Procedura poszukiwania optymalnych linii sterowania mechanicznej skrzynki biegów podczas rozpędzania autobusu sprowadza się do znalezienia, dla stałych położenia organu sterowania dawką paliwa α , takich wartości prędkości ruchu sa-

mochodu V_p , przy których należy dokonywać zmiany przełożeń – przełączania biegów z niższych na wyższe – zapewniających uzyskanie ekstremum funkcjonu jakości procesu rozpędzania:

$$J_Q = \sum_{i=1}^n \int_{V_0}^{V_i} \frac{(g_e N_e)_i}{a_i(v)} dv = \sum_{i=1}^n \left[\int_{V_0}^{V_p} \frac{(g_e N_e)_i}{a_i(v)} dv + \int_{V_p}^{V_i} \frac{(g_e N_e)_{i+1}}{a_{i+1}(v)} dv \right] \rightarrow \min \quad 1)$$

gdzie:

J_Q – funkcjonal jakości procesu rozpędzania autobusu do zadanej prędkości końcowej V_k przy minimalizacji zużycia paliwa Q ,

a – przyspieszenie autobusu,

v – chwilowa wartość prędkości ruchu,

V_0, V_k – początkowa i końcowa prędkości rozpędzania,

V_p – prędkość ruchu, przy której realizowane jest przełączanie biegów,

i, n – odpowiednio, indeks i liczba biegów przekładni mechanicznej,

g_e – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik,

N_e – efektywna moc silnika.

Wychodząc ze znanych w teorii ruchu samochodu zależności [10] po zastosowaniu metodyki opracowanej w pracach [1, 2, 5] warunek istnienia ekstremum funkcjonu (1) sprowadzi się do spełnienia zależności:

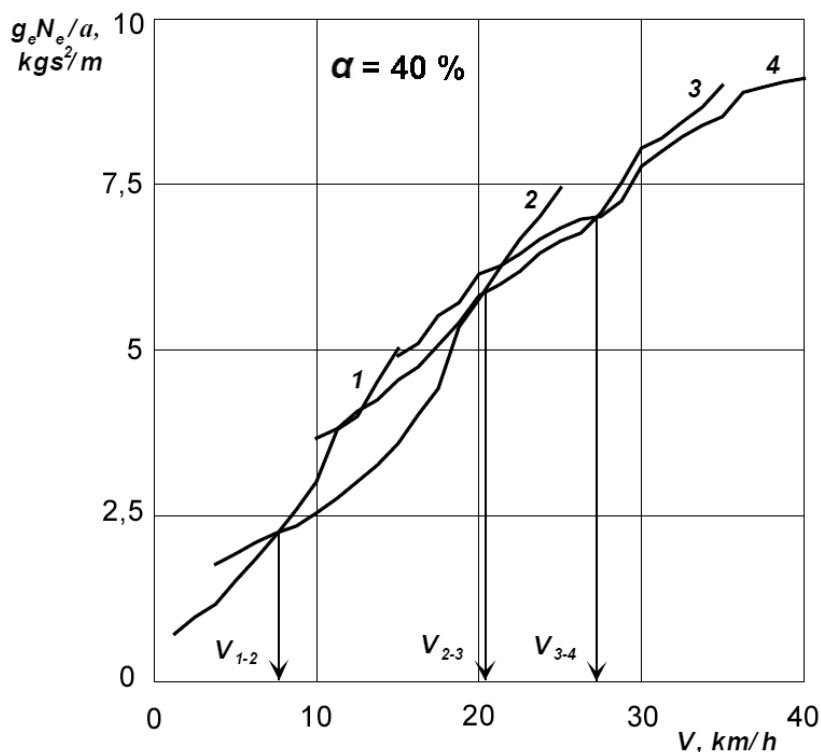
$$\frac{(g_e N_e)_i}{a_i(V_p)} = \frac{(g_e N_e)_{i+1}}{a_{i+1}(V_p)} \quad (2)$$

tj. optymalne „ekonomiczne” chwile przełączania biegów będą określone punktami przecięcia krzywych wskaźników postaci $\frac{g_e N_e}{a}$ w funkcji prędkości ruchu

pojazdu na sąsiednich biegach przekładni. Sposób takiego postępowania ilustruje rysunek 2 gdzie pokazano przebieg „ekonomicznych” wskaźników jakości ruchu autobusu wyznaczonych podczas symulacji komputerowych.

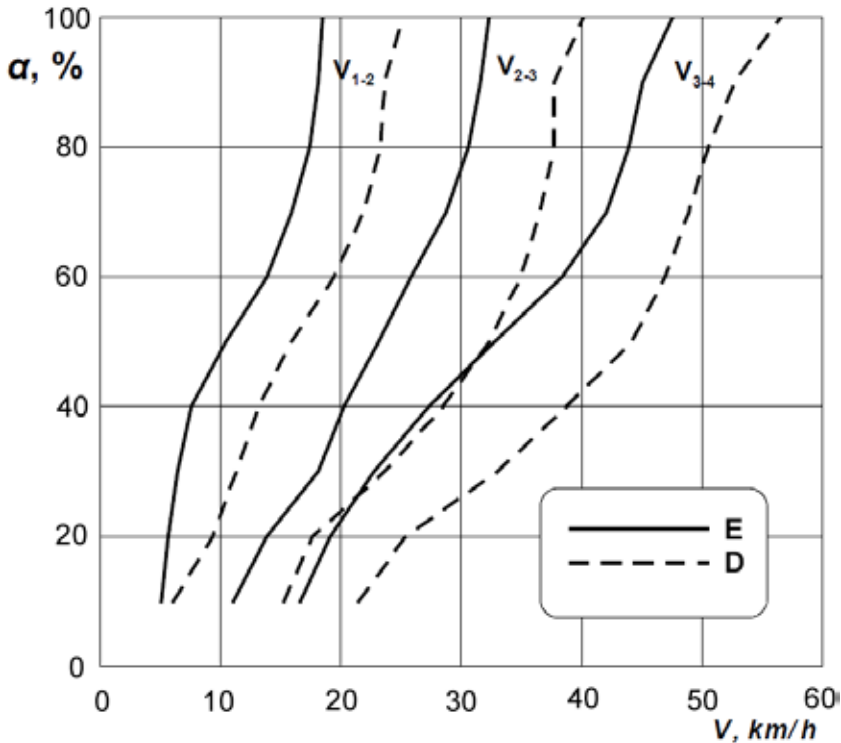
Zastosowanie, w procesie poszukiwań optymalnych chwil zmiany biegów, kryterium będącego stosunkiem czasowego zużycia paliwa $(g_e N_e)$ do przyspieszenia autobusu (a) jest podyktowane z jednej strony specyfiką procesu rozpędzania, a z drugiej, koniecznością zachowania odpowiednich własności dynamicznych autobusu. Minimalizacja zużycia paliwa będzie realizowana na drodze zmniejszenia $g_e N_e(v)$ (co jest oczywiste) i zwiększania $a(v)$. Wzrost przyspieszenia autobusu decyduje o czasie rozpędzania do zadanej prędkości końcowej, a zatem i o czasie pracy silnika. Ta właściwość procesu rozpędzania autobusu warunkuje w wielu przypadkach dominację składowej dynamicznej (przyspieszenia) w formowaniu się zużycia paliwa. Jeżeli jednak jako wskaźnik optymalności przyję-

te zostanie zużycie paliwa odniesione do jednostki przejechanej drogi – tak, jak to przyjmuje się dla ruchu ustalonego i cyklicznego – to otrzymane zalecenia są zupełnie nie do przyjęcia dla realizacji w procesie rozpędzania z uwagi na niedopuszczalne pogorszenie się dynamiki i paliwowej ekonomiczności rozpędzania. Rozpędzanie jest natomiast podstawowym stanem pracy dla układu napędowego.



Rys. 2. Wyznaczanie optymalnych ze względu na zużycie paliwa chwil zmiany biegów podczas rozpędzania autobusu. 1,2,3,4 – kolejne biegi

Określone w taki sposób, na drodze symulacji komputerowych, optymalne linie sterowania skrzynką przekładniową w całym zakresie mocy silnika przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Optymalne linie sterowania mechanicznej skrzynki biegów przy rozpędzaniu autobusu: E – jazda ekonomiczna, D – jazda dynamiczna

Na tym samym rysunku zamieszczono linie sterowania tej skrzynki biegów optymalne ze względu na dynamikę rozpędzania tj. kiedy proces ruchu autobusu opisany jest funkcjonałem jakości:

$$J_T = \sum_{i=1}^n \int_{V_0}^{V_k} \frac{1}{a_i(v)} dv = \sum_{i=1}^n \left(\int_{V_0}^{V_p} \frac{1}{a_i(v)} dv + \int_{V_p}^{V_k} \frac{1}{a_{i+1}(v)} dv \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

gdzie:

J_T – funkcjonal jakości procesu rozpędzania autobusu do zadanej prędkości końcowej V_k przy minimalizacji czasu rozpędzania T .

W tym przypadku warunkiem zapewniającym ekstremum funkcjonału (3) będzie realizacja przełączeń biegów przy prędkości V_p dla której zachodzi zrównanie przyspieszeń autobusu na biegach sąsiednich przekładni tj.:

$$a_i(V_p) = a_{i+1}(V_p) \quad (4)$$

4. Ocena efektywności sterowania układem napędowym autobusu

Dla oceny efektywności rodzaju sterowania układem napędowym autobusu w fazie rozpędzania przeprowadzono badania porównawcze za pomocą komputerowych symulacji procesu rozpędzania. W tym celu do programu komputerowych obliczeń wskaźników jakości ruchu autobusu (zużycie paliwa Q , czas rozpędzania do zadanej prędkości końcowej T , przyspieszenie a , przejechana droga S) dla tych samych położen organu sterowania dawką paliwa α podstawiano prędkości ($V_{1-2}, V_{2-3}, V_{3-4}$) przy których były realizowane przełączenia biegów podczas badań eksperymentalnych, zgodnie z rys. 1. Z drugiej strony, przy obliczaniu wskaźników jakości procesu rozpędzania autobusu, dla tych samych warunków ruchu przełączenia biegów realizowano przy prędkościach zgodnych z wyznaczonymi optymalnymi liniami sterowania przekładni (linie E, rys. 3). Końcowa prędkość rozpędzania była ograniczona do $V_k = 50 \text{ km/h}$, tj. maksymalnej dla ruchu miejskiego.

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynika, że zużycie paliwa w każdym z porównywanych wariantów rozpędzania autobusu jest mniejsze w przypadku zastosowania optymalnych algorytmów sterowania przekładnią wyznaczonych analitycznie niż dla określonych na drodze eksperymentalnej. Zmniejszenie zużycia paliwa dla osiągnięcia zadanej końcowej prędkości rozpędzania $V_k = 50 \text{ km/h}$ dla oddzielnych porównywanych wariantów dochodzi nawet do 14,8 %, a średnio rzędu 5,6 % przy nieznacznym tylko pogorszeniu się dynamiki rozpędzania – średnio rzędu 3,1 %.

Analogiczne badania porównawcze przeprowadzone dla sterowania „dynamicznego” przekładni (linia sterowania D, rys. 3) wskazują na wyraźną poprawę dynamiki rozpędzania – średnio o około 12,5 % w stosunku do sterowania zarejestrowanego w badaniach eksperymentalnych jednak przy zdecydowanym pogorszeniu się wskaźników zużycia paliwa – średnio o około 9,9 %.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania symulacyjne dają podstawę do konstatacji, że zastosowanie wyznaczonych optymalnych algorytmów sterowania przekładni, zilustrowanych liniami sterowania E (rys. 3), sprzyja polepszeniu własności paliwowych autobusu. Ich realizacja możliwa jest tylko przy wykorzystaniu przekładni

automatycznych w układzie napędowym autobusu, które dają możliwości sterowania optymalnego, według zadanego kryterium jakości ruchu autobusu, uniezależniając jakość sterowania od subiektywnego wpływu kierowcy. Jeżeli natomiast pożądana będzie jazda „dynamiczna” autobusu, można wybrać opcję sterowania realizowaną według kryterium (4) zilustrowanego linią sterowania **D** (rys. 3).

Obecnie autobusy miejskie mają na wyposażeniu standardowym automatyczne przekładnie hydromechaniczne. Jednakże z uwagi na sposób produkcji współczesnych autobusów – kompilacja gotowego wyrobu z podzespołów i elementów produkowanych przez inne wyspecjalizowane w danej dziedzinie firmy motoryzacyjne – oprogramowanie sterowników przekładni automatycznych często nie spełnia wymogów sterowania optymalnego. Dlatego wydaje się uzasadnionym przeprowadzenie syntezy algorytmów sterowania układem napędowym oddzielnie dla każdego konkretnego typu autobusu miejskiego.

Zastosowanie przekładni automatycznych w układzie napędowym autobusu daje także możliwości uwzględnienia zmienności czynników eksploatacyjnych w kształtowaniu optymalnych algorytmów sterowania. Tego rodzaju sterowanie adaptacyjne [4], zakładające w swej istocie uwzględnianie wariacji takich czynników eksploatacyjnych jak pełna masa autobusu, opory ruchu związane z typem i stanem technicznym drogi, stopień obciążenia silnika itp. polega na zastosowaniu sterowników komputerowych przetwarzających sygnały informacyjne o warunkach ruchu w sygnały sterujące elementami przekładni. Połączenie takiej strategii sterowania przekładnią z adaptacyjnym sterowaniem procesami roboczymi silnika spalinowego odpowiada obserwowanym na świecie tendencjom [7] do kompleksowej automatyzacji napędu samochodu stawiając ten problem na jakościowo nowym poziomie.

Bibliografia

1. Brandt. H.: Einsatz von Simulationsmethoden bei Dauererprobungen von Automatikgetrieben. Automobil – Industrie, 1992, p. 289-295.
2. Brandt. H.: Einsatz von Simulationsmethoden bei Dauererprobungen von Automatikgetrieben. Automobil – Industrie, 1992, p. 197-202.
3. Koller H.-D.: Motor-Lastkollektive und Betriebszustands-Kollektive von Lkw, Omnibuss und Pkw im Fahrbetrieb. – Deutsche Kraftfahrforschung und Straßenverkehrstechnik, H. 225, Berlin 1992, p. 3-57.
4. Koralewski G., Algorytm adaptacyjnego sterowania samochodowych przekładni hydromechanicznych. Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych. Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN Oddział w Krakowie, Zeszyt 12, Kraków 1997, s. 99-105.

5. Koralewski G.: Synthesis of algorithms for automatic hydro-mechanical transmission control in city buses. FISITA 2010. International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport, 06-09 October 2010, Minsk, Belarus, p. 73-82.
6. Krajnyk L., Pielechatyj R., Szurko R., Garmatij R.: Eksploatacyjonnyje režimy raboty siłowego priwoda gorodskich awtobusow s gidromechanicznej pie-riedzaczej. Awtomobilnaja promyslnost', nr 7, Moskwa 1993, p. 15-17.
7. Merkisz J., Mazurek St.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 2007, 603 s.
8. Orzełowski S.: Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów. WNT, Warszawa 1995, 516 s.
9. Siłka W.: Energochłonność ruchu samochodu. WNT, Warszawa 1997, 144 s.
10. Siłka W.: Teoria ruchu samochodu. WNT, Warszawa 2002, 330 s.

Jakub Krawczyk

Politechnika Wrocławska

Modyfikacja technologii tłoczenia obudowy łożyska

Modification of stamping technology of the bearing case

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę i modyfikację technologii tłoczenia obudowy łożyska, która pękała podczas tłoczenia. Przeprowadzono próby jednoosiowego rozciągania w celu wyznaczenia danych materiałowych do symulacji MES. Na podstawie modelowania matematycznego zaproponowano modyfikacje technologii pozwalające uniknąć pęknięcia.

Summary

This paper presents the analysis and modification of stamping technology of the bearing case, which was cracking during stamping. Uniaxial tensile tests were conducted to determine the material data to the FEM simulations. Based on mathematical modeling, a modification of technology was proposed to avoid cracking.

Słowa kluczowe: tłoczenie, transport, Metoda Elementów Skończonych, powiększanie otworu, obudowa łożyska

Keywords: stamping, transport, Finite Element Modeling, hole expansion test, bearing case

1. Wstęp

Technologia tłoczenia jest szeroko wykorzystywaną technologią wytwarzania elementów ze stali w różnych gałęziach przemysłu, a szczególnie w motoryzacji [1,2]. Tą technologię stosuje się wytwarzając elementy karoserii, jak i części konstrukcyjne pojazdów.

Globalna konkurencja oraz rosnące wymagania dotyczące zużycia paliwa i bezpieczeństwa uczestników ruchu wymagają nowych rozwiązań technicznych i technologicznych. To powoduje, że prowadzone są prace nad procesami kształtowania, ich optymalizacją i poprawą efektywności [3,4]. W ten nurt wpisuje się zastępowanie konstrukcyjnych elementów wykonywanych tradycyjnie przez cięższe elementy wytwarzane technologią tłoczenia z blach, których przykładem może być obudowa łożyska.

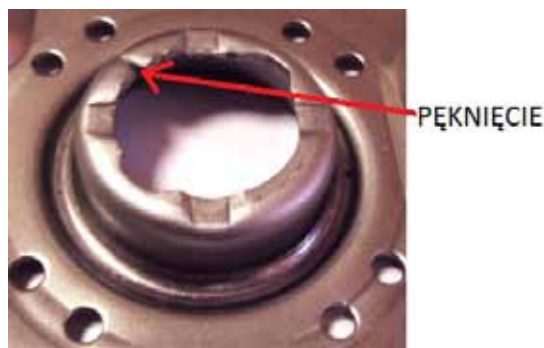
Celem podjętych badań była analiza istniejącego procesu wytwarzania utwierdzenia pod łożysko, które ulegało pękaniu podczas wytłaczania oraz zaproponowanie modyfikacji istniejącej technologii, by zapobiec pękaniu.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań była obudowa łożyska z blachy typu DC04 o grubości 2 mm, która pierwotnie była wykonywana w sześciu operacjach: tłoczenie, wykrawanie otworu, dwie operacje przetłaczania, kalibrowanie oraz wykrawanie na gotowo wewnętrznej części otworu (rys. 1). Podczas ostatniej operacji przetłaczania obudowa pękała na krawędzi uprzednio wykrojonego otworu (rys. 2), co wskazuje na zbyt duże odkształcenia w tej części wytłoczki.



Rys. 1. Widok blachy po kolejnych operacjach wytwarzania.

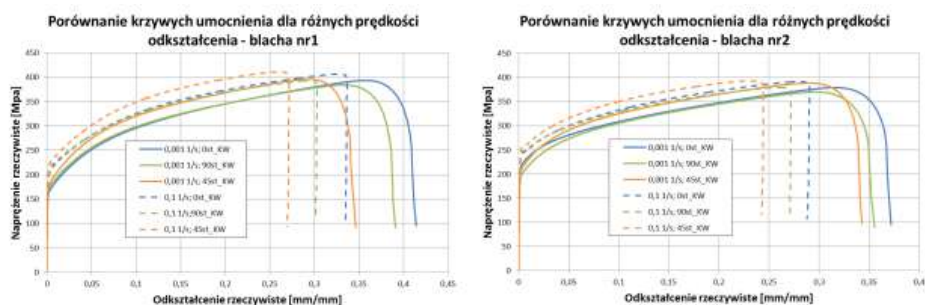


Rys. 2. Utwierdzenie pod łożysko z widocznym pęknięciem

Żeby zmniejszyć odkształcenia w tym obszarze i sprawić żeby ich rozkład był bardziej jednorodny na całej powierzchni wytłoczki, trzeba było przeanalizować proces wytłaczania. W tym celu przeprowadzono badania wytrzymałościowe i technologiczne oraz zamodelowano proces za pomocą MES.

3. Badania wytrzymałościowe

Dla wyznaczenia niezbędnych do modelowania krzywych umocnienia oraz współczynników anizotropii badanej blachy przeprowadzono próby jednoosiowego rozciągania dla blach z dwóch partii przy dwóch prędkościach odkształcenia: 0,001 1/s oraz 0,1 1/s. Próby wykonano na maszynie ZWICK wyposażonej w dwa ekstensometry – wzłużny i poprzeczny, umożliwiające wyznaczenie krzywych umocnienia (rys. 3) oraz współczynnika anizotropii normalnej dla badanej blachy.



Rys. 2. Krzywe umocnienia badanych blach

Wyniki badań wytrzymałościowych wykazały, iż dostarczona blacha wykazuje się dużą anizotropią płaską właściwości mechanicznych (tabela 1). Charakterystyczne dla badanej blachy były znacznie gorsze właściwości w kierunku 45° do kierunku walcowania, czego nie wykrywają standardowe testy.

Tab. 1. Parametry wytrzymałościowe stali DC04

	Blacha nr 1						Blacha nr 2					
	prędkość odkształcenia 0.001 1/s			prędkość odkształcenia 0.1 1/s			prędkość odkształcenia 0.001 1/s			prędkość odkształcenia 0.1 1/s		
Orientacja	0°	90°	45°	0°	90°	45°	0°	90°	45°	0°	90°	45°
$R_{0.2}$ [MPa]	165	175	180	207	213	219	205	202	210	240	243	253
R_m [MPa]	283	283	301	304	305	324	285	283	299	306	301	320
A [%]	52	48	40	45	33	38	46	45	42	38	35	28
$R_{0.2}/R_m$	0,58	0,62	0,60	0,68	0,70	0,68	0,72	0,71	0,70	0,78	0,81	0,79
Wsp. aniz. norm. 15%	2,72	3,04	1,54	2,60	2,92	1,49	2,89	3,80	1,85	2,79	3,80	1,84

Z tabeli powyżej wynika, iż:

- umowne granice plastyczności $R_{0.2}$ dla blach z dwóch różnych kręgów różnią się (blacha nr 2 ma tą granicę wyższą o 10%-20%),
- współczynnik, który mówi o umocnieniu $R_{0.2}/R_m$ oraz współczynniki anizotropii normalnej dla 15% wydłużenia różnią się,
- krzywe umocnienia próbek wyciętych pod kątem 45° względem kierunku walcowania mają odmienny charakter od pozostałych próbek wyciętych pod kątem 0° i 90°, a mianowicie ich poziom naprężeń jest o ok. 5%-8% wyższy, natomiast zmniejszają się ich wydłużenia całkowite,
- próbki wycięte pod kątem 45° względem kierunku walcowania wykazuje mniejsze wydłużenia (A) od pozostałych, więc można sądzić, że jeżeli blacha ulegnie pęknięciu podczas wytłaczania, to pęknięcie będzie najprawdopodobniej przebiegać w tym kierunku.

W celu potwierdzenia tezy, mówiącej, że jeżeli blacha ulegnie pęknięciu podczas wytłaczania, to pęknięcie będzie najprawdopodobniej przebiegać pod kątem 45° do kierunku walcowania oraz określenia wartości odkształceń na krawędzi uprzednio wykonanego otworu, wykonano próby powiększania otworu (hole expansion test). Polegają one na wtłaczaniu stempla o zakończeniu kulistym, płaskim lub stożkowym w próbkę, w której wykonany był uprzednio otwór o średnicy 10mm, aż do pojawienia się pęknięcia. Badania przeprowadzono na próbkach kwadratowych z blachy o wymiarach 100 mm x 100 mm, w których wykonano otwory za pomocą wiercenia. Dla każdego kształtu stempla wykonano po 3 próby, dla blach z obu kręgów. Wszystkie pęknięcia przebiegały pod kątem 45° względem kierunku walcowania, co potwierdziło tezę, że w tym kierunku blacha ma najgor-

sze właściwości wytrzymałościowe. Następnie obliczono współczynniki ε_{KWI} , żeby dowiedzieć się o ile powiększył się otwór, względem średnicy początkowej.

$$\varepsilon_{KWI} = \frac{d_{sr} - d_p}{d_p} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$$d_{sr} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2},$$

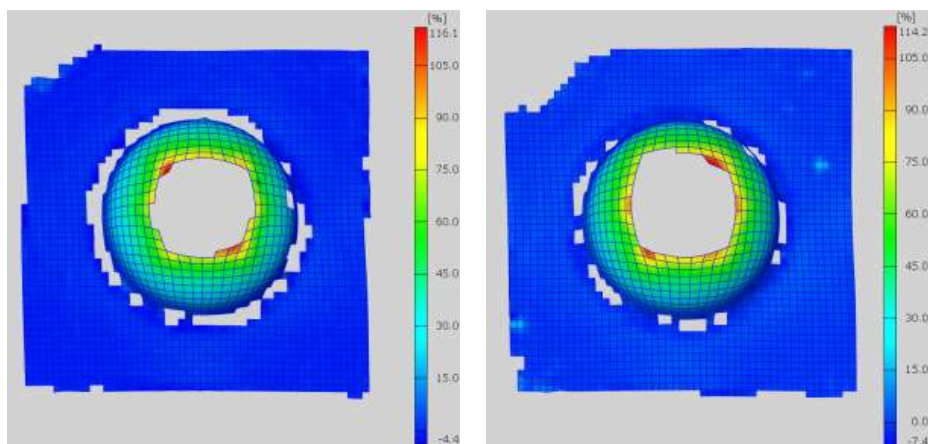
d_p – wyjściowa średnica otworu (10 mm)

$d_{\max}, d_{\min}$ – odpowiednio: maksymalna i minimalna średnica otworu

Tab. 2. Wyniki prób powiększania otworu.

	Blacha nr 1			Blacha nr 2		
	stempel płaski	stempel kulisty	stempel stożkowy	stempel płaski	stempel kulisty	stempel stożkowy
d_{sr} [mm]	25,8	32,2	36,7	24,7	32,2	35,5
ε_{KWI} [%]	158,3	221,7	267,3	146,7	222,3	255,0

Na 6 próbek nałożono siatkę koordynacyjną, by po tłoczeniu zbadać rozkład odkształceń, za pomocą systemu ARGUS wyposażonego w kamerę 5 MPix. Niestety odkształcenia w pobliżu otworu udało się zbadać jedynie na próbkach odkształconych stemplem o płaskim zakończeniu (rys. 4), ponieważ odkształcenia uzyskane przy użyciu pozostałych stempli były za duże do zmierzenia (siatka uległa nadmiernej deformacji).



Rys. 3. Rozkład odkształceń głównych (ϵ_1) na próbkach z blach pochodzących z dwóch kręgów, odkształcanych stemplem płaskim

Chociaż nie udało się określić wielkości odkształceń plastycznych bezpośrednio na krawędzi wykrojonego uprzednio otworu, to można przypuszczać, że ich wartości mieszczą się w przedziale 120%-160%.

4. Symulacja numeryczna

Żeby przeanalizować istniejący proces oraz lepiej zrozumieć jego mechanikę, zbudowano symulację numeryczną czterech początkowych operacji wytwarzania obudowy łożyska, przy użyciu pakietu obliczeniowego Msc.Marc. Model 3D składał się z czterech operacji, ponieważ pęknięcie na krawędzi otworu występowało zazwyczaj w czwartej operacji (przetłaczanie). Do obliczeń przyjęto $\frac{1}{4}$ modelu, dla skrócenia czasu obliczeń. Blacha została podzielona na 1920 elementów czterowęzłowych typu shell, a narzędziami były powierzchnie nieodkształcalne. Obliczenia początkowo prowadzono według dwóch kryteriów plastyczności: von Misesa i Hilla 48. Kryterium plastyczności von Misesa zawiera krzywe umocnienia wyznaczone dla dwóch różnych prędkości odkształcenia: 0,001 1/s oraz 0,1 1/s, ale nie zawiera danych o anizotropii blachy (która dla przebadanej blachy typu DC04 jest bardzo duża), które uwzględnia kryterium plastyczności Hilla 48.

Po przeanalizowaniu procesów tłoczenia wg tych dwóch kryteriów plastyczności (z narzędziami o oryginalnej geometrii i wymiarach) uznano, że bardziej trafnym modelem, jest model wykorzystujący kryterium plastyczności Hilla 48. Proces liczony wg kryterium Hilla 48 lepiej oddawał rzeczywistość, ponieważ anizotropia blachy ma bardzo duży wpływ na przebieg procesu tłoczenia, a grubość blachy w tym procesie lepiej koreluje ze zmierzoną grubością blachy niż w pro-

cesie liczonym wg kryterium von Misesa (tabela 3). Model liczony wg kryterium plastyczności Hilla 48 został dalej użyty w obliczeniach.

Tab. 3. Grubości blachy po czterech operacjach wytwarzania dla dwóch kryteriów plastyczności oraz zmierzona grubość blachy

Von Mises	Hill 48	Zmierzona
0,796 mm	1,068 mm	1,090 mm

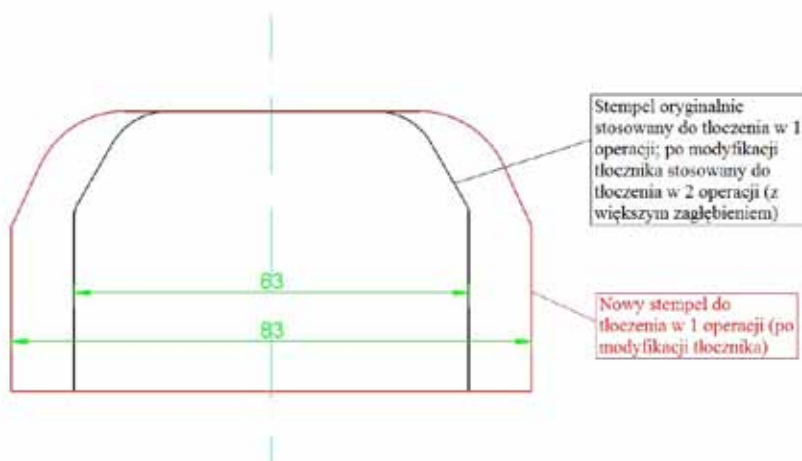
Wyniki symulacji MES porównano z wynikami pomiarów na rzeczywistych wytłóczkach. Wykazano bardzo dobrą zgodność modelu z procesem rzeczywistym.

Żeby zapobiec pękaniu na krawędzi otworu, należy zmniejszyć odkształcenia w tym obszarze i sprawić żeby ich rozkład był bardziej jednorodny na całej powierzchni wytłóczki. W celu bardziej równomiernego rozłożenia odkształceń i odkształcania materiału na większej powierzchni, przeprowadzono szereg symulacji numerycznych z różnymi geometriami stempli oraz z różnymi głębokościami tłoczenia w poszczególnych operacjach. Wyniki tych symulacji ujawniły, że deformacja w pierwszej operacji tłoczenia ma kluczowy wpływ na rozkład odkształceń na gotowym wyrobie. Zbudowano więc model z dołożoną jedną operacją na samym początku procesu tłoczenia (tłocznik miał jedno niewykorzystane miejsce na dodatkową stację) oraz zwiększoną głębokością tłoczenia przed pierwszym wykrawaniem otworu (zagłębienie 1 stempla w istniejącym procesie – 16 mm). Wykrawanie odbywa się teraz po 2 operacjach tłoczenia.

Po analizie wyników wielu wariantów symulacji numerycznych, wybrano dwa, których wyniki były najlepsze.

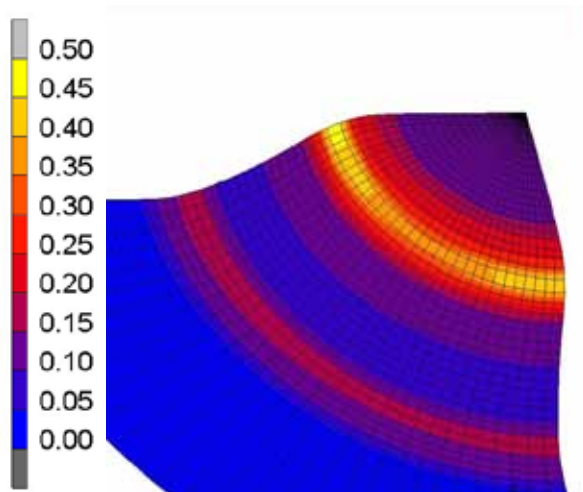
I wariant – dołożona pierwsza operacja tłoczenia stemplem o większej średnicy (rys. 4); zagłębienie stempla 1-17 mm, zagłębienie stempla 2-18 mm (oryginalnie 16 mm).

II wariant – dołożona pierwsza operacja tłoczenia stemplem o większej średnicy (rys. 4); zagłębienie stempla 1-18mm, zagłębienie stempla 2-19mm (oryginalnie 16mm).



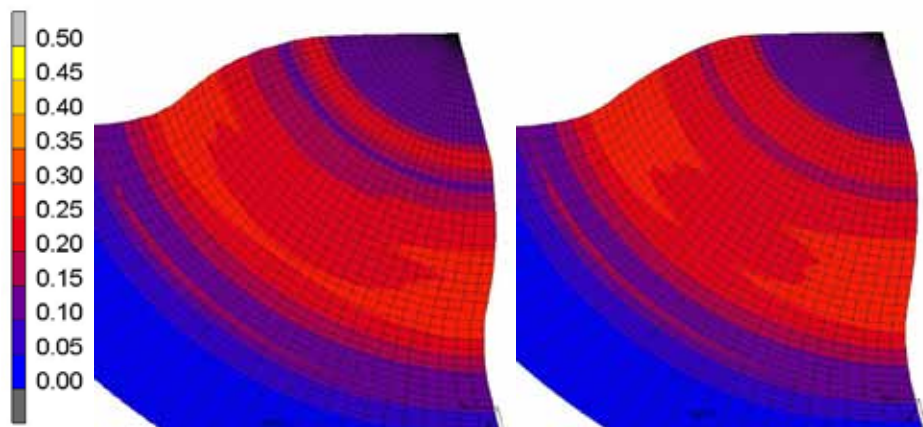
Rys. 4. Ogólny widok stempli stosowanych do tłoczenia utwardzenia pod łożysko przed pierwszym wykrawaniem otworu

Jak już wcześniej wspomniano, deformacja w pierwszej operacji tłoczenia ma kluczowy wpływ na rozkład odkształceń na gotowym wyrobie. Rozkłady głównych odkształceń względnych (ϵ_1) ujawniły, iż w istniejącym procesie występuje koncentracja odkształceń na promieniu stempla po pierwszej operacji tłoczenia (rys. 5).



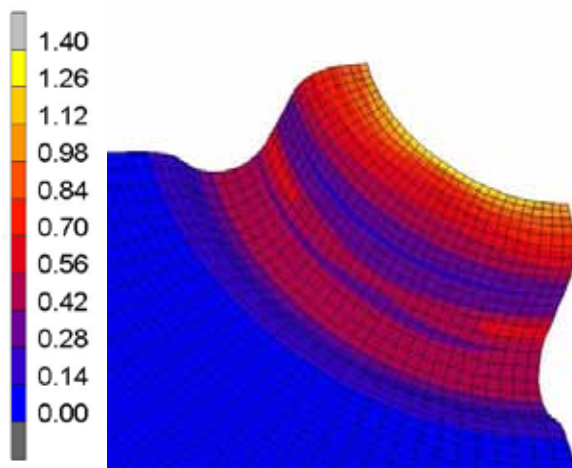
Rys. 5. Rozkład głównych odkształceń względnych (ϵ_1) po pierwszej operacji tłoczenia (istniejący proces)

Gdy wprowadzimy dodatkową operację tłoczenia i zwiększymy głębokość tłoczenia w 1 i 2 operacji, odkształcenia ϵ_1 nie ulegają koncentracji, a ich wartości są mniejsze (rys. 6).

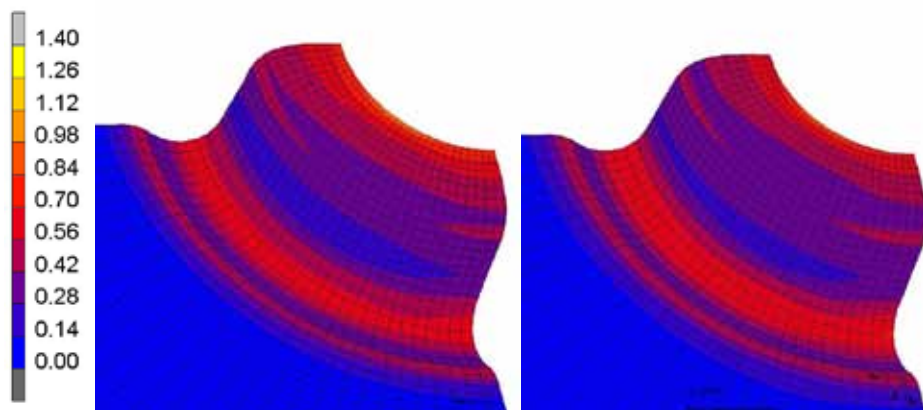


Rys. 6. Rozkład głównych odkształceń względnych (ϵ_1) po dwóch pierwszych operacjach tłoczenia (od lewej odpowiednio I i II wariant)

Porównując rozkłady odkształceń po czterech operacjach wytwarzania obudowy łożyska, można zauważyć, że po wprowadzeniu modyfikacji do technologii tłoczenia, zmniejszyły się wartości głównych odkształceń względnych (ϵ_1) na krawędzi uprzednio wykrojonego otworu (rys. 7-8). Wartości liczbowe najważniejszych wyników symulacji MES zamieszczono w tab. 4.



Rys. 7. Rozkład głównych odkształceń względnych (ϵ_1) po czterech operacjach wytwarzania (istniejący proces)



Rys. 8. Rozkład głównych odkształceń względnych (ϵ_1) po czterech operacjach wytwarzania (od lewej odpowiednio I i II wariant)

Tab. 4. Wartości liczbowe najważniejszych wyników symulacji MES

	Istniejący proces	I Wariant	II Wariant
Główne odkształcenia względne (ϵ_1) na krawędzi wykrojonego otworu	1,404 mm/mm	1,052 mm/mm	0,942 mm/mm
Grubość blachy na krawędzi wykrojonego otworu	1,068 mm	1,157 mm	1,187 mm
Wielkość otworu – kierunek osi X	15,061 mm	12,663 mm	11,964 mm
Wielkość otworu – kierunek osi Y	14,947 mm	12,573 mm	11,916 mm

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że modyfikacje parametrów tłoczenia oraz geometrii narzędzi poskutkowały zmniejszeniem odkształceń oraz pocienienia na krawędzi otworu. Udało się zmniejszyć średnicę otworu, który w ostatniej operacji był wykrawany na gotowo (tabela 4), a sposobem płynięcia materiału można w dużej mierze sterować wartością zagłębienia 1 i 2 stempla.

Przedsiębiorstwu wykonującemu element zaproponowano zmianę technologii polegającą na dołożeniu jednej operacji tłoczenia na początku procesu oraz zmniejszono głębokość tłoczenia przed pierwszym wykrawaniem.

Bibliografia

- [1] Bhadeshia H. K. D. H.: Steels for bearings. Progress in Materials Science 57 (2012) pp. 268-435.
- [2] Golatowski T.: Projektowanie procesów tłoczenia i tłoczników: wybrane zagadnienia. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1981.
- [3] Gronostajski Z.: Badania stosowane w zaawansowanych procesach kształtowania plastycznego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [4] Sińczak J.: Podstawy procesów przeróbki plastycznej. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2010.



Praca współfinansowana ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Jan Wrona, Rafał Wrona

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie,
Politechnika Lubelska

Cybernetyczny model start mechanicznych silnika spalinowego

Effects of the i.C. Engine wear on its internal mechanical losses

Streszczenie

W opracowaniu sformułowano matematyczny model oporów mechanicznych tłokowego silnika spalinowego, który uwzględnia parametry konstrukcyjne i eksploatacyjne silnika wraz z osprzętem. Wstępna weryfikacja opracowanego modelu wskazuje na poprawność przyjętych zależności, zaś uzyskane wyniki zachęcają do analizy strat mechanicznych zwłaszcza w zakresie częściowych obciążeń silnika i sugerują możliwość poprawy sprawności ogólnej silnika spalinowego poprzez zmniejszenie oporów mechanicznych.

Summary

The paper presents effects of the exploitation I. C. engine wear on its internal mechanical losses balance. The influence of geometric modifications in the frictional associations as well as assembly plays of the chosen kinematic pairs which strongly affect mechanical losses was analyzed. Specific elements of the losses and total values were shown as functions of the variable parameters. Results complemented by some experimental data create useful background for designers and users of the I. C. engines.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, straty mechaniczne

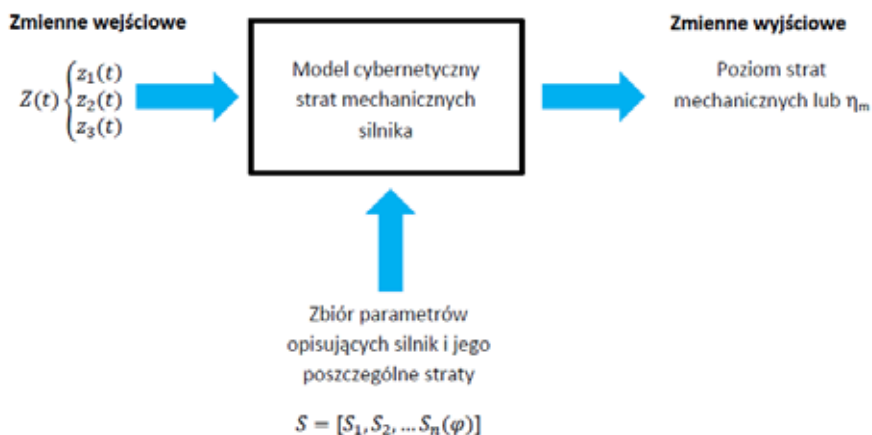
Keywords: I. C. engine, mechanical losses

1. Wstęp

Model jest realnie istniejącym lub wyobraźalnym obrazem, który zastępuje badany obiekt naturalny na przykład silnik spalinowy. Obraz ten odzwierciedla budowę oraz wybrane rzeczywiste lub hipotetyczne własności badanego obiektu technicznego. Model zastępuje oryginał i jest wykorzystywany do wyjaśnienia bądź przewidywania zachowania się oryginału w sposób adekwatny z punktu widzenia celowości realizowanych badań. W literaturze wyodrębniane są modele strukturalne i funkcjonalne lub materialne. Model materialny jest tworzony w celu wykonania badań z istniejących obiektów technicznych o określonym przeznaczeniu użytkowym z zachowaniem fizycznej tożsamości z oryginałem. Podczas wprowadzania wybranych własności, procesów i związków, generują się informacje poszukiwane przez badacza, które po zakończeniu badań mogą być wykorzystywane zgodnie z przeznaczeniem. Zazwyczaj obrany model może być opisany w sposób sformalizowany, w którym ustala się skład, strukturę, elementy wejściowe i reguły przekształcenia tak, aby otrzymać zapis ilościowy obiektu naturalnego [4]. W opracowaniu zostały zamodelowane w sposób ilościowy poszczególne składniki strat mechanicznych silnika spalinowego, w celu ich zbilansowania oraz oceny wpływu wybranych parametrów eksploatacyjnych na poziom strat mechanicznych.

2. Materialny model strat mechanicznych silnika spalinowego

Zasady modelowania matematycznego wprowadzają zmienne zależne od czasu lub obrotów wału korbowego silnika spalinowego. Wyodrębnia się model statyczny lub dynamiczny ciągły (funkcje są określane w każdej chwili). W każdym z w/w modeli określa się: zmienne wejściowe (kontrolowane) inaczej sytuacyjne, decyzyjne np. prędkość obrotowa wału korbowego silnika, stan termiczny silnika, określony przez temperaturę oleju i czynnika chłodzącego oraz obciążenie silnika, zmienne wyjściowe określone, jako reakcja modelu na cel badań i zmienne pomocnicze, które opisują zależności pośrednie wpływu zmiennych wejściowych na składniki strat mechanicznych. Zalicza się do nich między innymi cechy konstrukcyjne silnika spalinowego. Schemat blokowy określonego w opracowaniu modelu strat mechanicznych został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Cybernetyczny model strat mechanicznych [2]

Według kryterium matematycznego zmienne opisujące model dzielimy na dwie grupy:

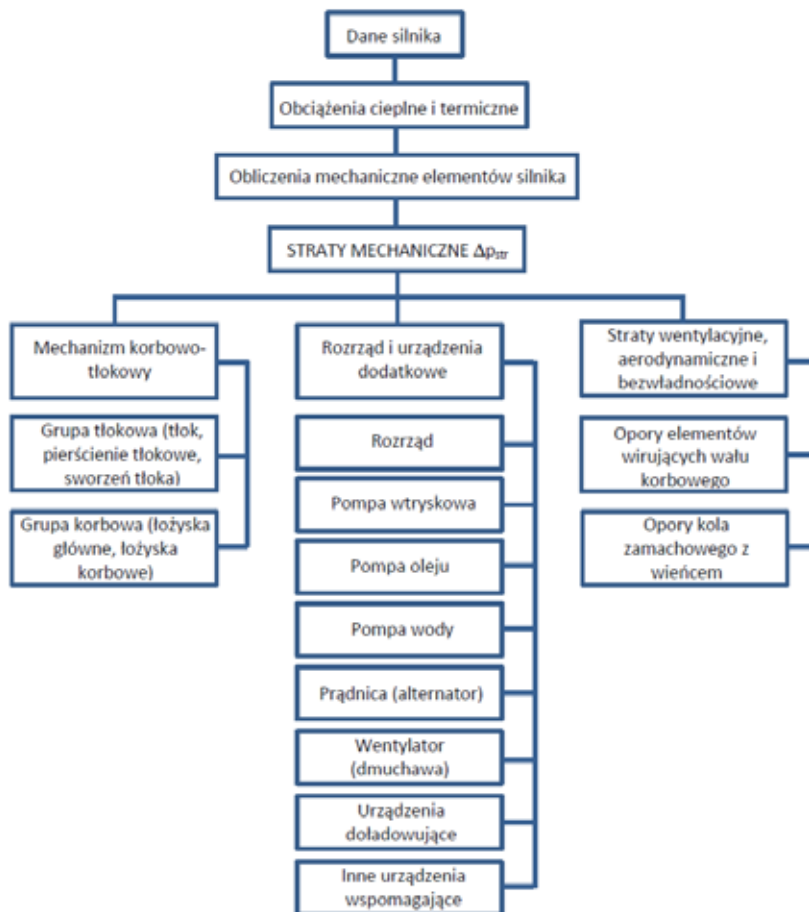
1. Funkcje czasu $Z(t)$ zmienne niezależne reprezentuje wielkość o ustalonej nazwie i reprezentuje zmienne wejścia i wyjścia, które mają bezpośredni wpływ na zachowanie się badanego modelu, tworzą wektor $Z(t) = [z_1(t), z_2(t), z_3(t)]^T$ dla danych: $z_1(t)$ jest prędkością obrotową wału korbowego silnika, $z_2(t)$ jest obciążeniem silnika, a $z_3(t)$ reprezentuje stan termiczny silnika. Zmienne $Z(t)$ są zdeterminowane i zadane z zewnątrz [4].
2. Parametry $S(\varphi)$ to wielkości odgrywające szczególną rolę w sformułowanym opisie modelu i pozostają stałe (zbiór parametrów opisujących silnik spalinyowy oraz jego strukturę), które reprezentuje wektor $S = [S_1 S_2 \dots S_n] \varphi$, dla φ , które jest skończonym ciągiem indeksów. Przyjmując, że istnieje operator $\Psi(t)$, dla którego zmienne oraz parametry opisujące składniki strat mechanicznych można zapisać w postaci wektorów, otrzymamy ogólną postać modelu matematycznego w postaci zmodyfikowanej jak niżej (1).

$$\Psi(t) \left[Z(t), \frac{d_2(t)}{dt}, \frac{d_2(t)}{dt^2}, S, t \right] = 0 \quad (1)$$

Powyższe wyrażenie jest ogólną różniczkowaną postacią zapisu modelu matematycznego, który jest odzwierciedleniem modelu fizycznego badanego systemu strat silnika spalinowego.

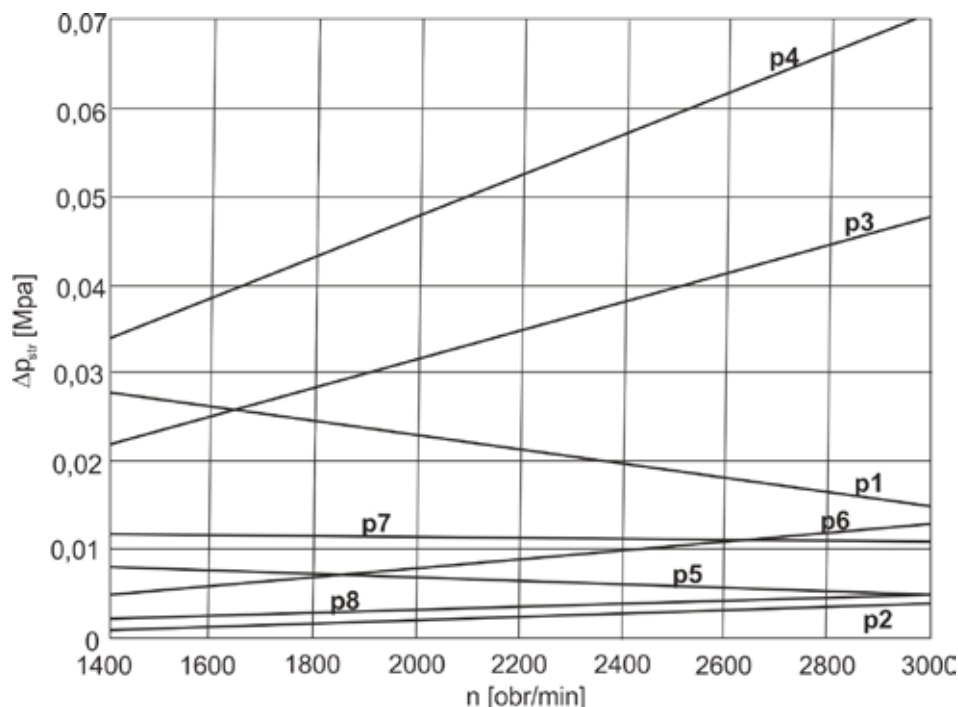
3. Obliczenia i wyniki badań teoretycznych

Wstępna analiza bilansu strat mechanicznych silnika spalinowego została zaprezentowana w materiałach Konferencyjnych „Transport 2012”, jaka odbyła się 7-8 maja 2012 r. w Kazimierzu Dolnym [2]. Zilustrowany w wyżej wymienionych materiałach bilans strat mechanicznych wskazuje miejsca powstawania poszczególnych składników strat, które są określone na drodze analitycznej, a które zostały wprowadzone do algorytmu obliczeń całkowitych strat mechanicznych silnika spalinowego. Poziom indywidualnych strat w parach ciernych silnika lub potrzebnych do napędu osprzętu silnikowego bazuje na metodzie Bishopa oraz na opracowaniach innych autorów [1, 3], które wzorami matematycznymi opisują poszczególne składniki strat mechanicznych silnika. W określeniu strat związanych z napędem osprzętu silnikowego wykorzystano także inne zależności przytaczane w literaturze silnikowej. Z uwagi na rozbudowaną procedurę obliczania składowych strat mechanicznych, wykorzystano program komputerowej analizy wpływu parametrów zmiennych tj. prędkości obrotowej wału korbowego, obciążenia i stanu termicznego silnika na poziom sumarycznych strat mechanicznych silnika spalinowego. Zastosowany algorytm obliczeń i zilustrowany niżej na rys. 2 pozwolił na analityczną ocenę poziomu strat mechanicznych, na bazie silników typu 1CA90 i 4C90 produkcji WSW Andrychów.



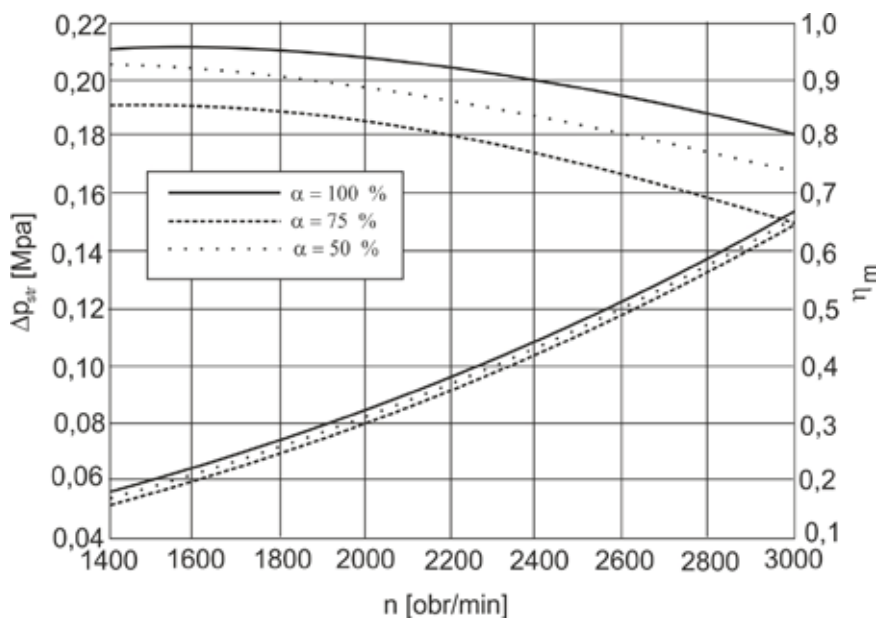
Rys. 2. Algorytm obliczeń strat mechanicznych

Niektóre wyniki przeprowadzonych obliczeń komputerowych przedstawiono na rys. 3, 4 i 5.

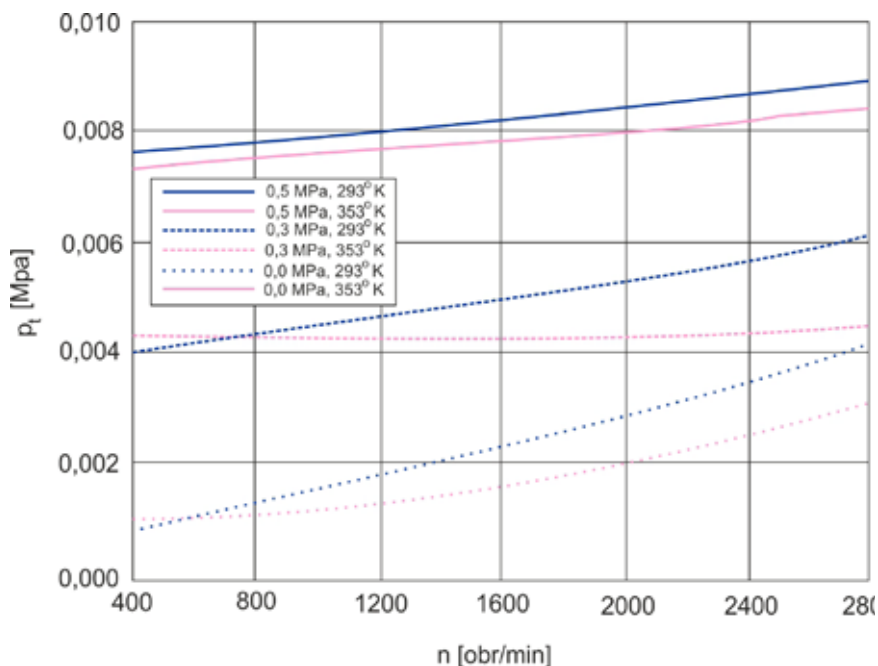


Rys. 3. Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego na składniki strat mechanicznych silnika 1CA90

p1 – opory tarcia pierścieni o gładź cylindra, **p2** – wpływ ciśnienia czynnika na tarcie pierścieni, **p3** – opory tarcia tłoka o gładź cylindra, **p4** – opor w łożyskach wału korbowego, **p5** – opory mechaniczne rozrządu, **p6** – opory osprzętu silnika, **p7** – opory pompowania i przedmuchów, **p8** – straty dławienia w przewodach



Rys. 4. Straty mechaniczne i sprawność mechaniczna w zależności od obciążenia i prędkości obrotowej wału korbowego silnika 4C90



Rys. 5. Opory napędu pompy oleju dla różnych ciśnień i temperatur czynnika smarującego

4. Wnioski

- Decydujący wpływ na bilans strat mechanicznych mają opory w mechanizmie korbowo-tłokowym.
- Obliczenia sumarycznych strat mechanicznych analizowanych silników wskazują na znaczne pogorszenie się ich sprawności mechanicznej podczas pracy z częściowymi obciążeniami.
- Trend rozwojowy silników spalinowych zmierzający w kierunku zastąpienia mechanicznego napędu osprzętu silnikowego napędem elektrycznym sprzyja zwiększeniu sprawności mechanicznej.
- Zaprezentowana wersja modelu strat mechanicznych może być wykorzystana do dalszych badań innych wersji silników spalinowych i wymaga weryfikacji eksperymentalnej.

Bibliografia

1. Kenneth J. Patton, Ronald G. Nitschke and John B. Heywood: Development and Evaluation of a Friction Model for Spark-Ignition Engines. Sloan Automotive Laboratory Massachusetts Institute of Technology, Copyright 1989 Society of Automotive Engineers, Inc.
2. Wrona J. Wrona R.: Straty mechaniczne tłokowych silników spalinowych, Materiały Konferencyjne „Transport 2012” Kazimierz Dolny 7-8 maja 2012 r.
3. Sobolewski W.: Opory mechaniczne silnika. Technika Motoryzacyjna nr 2/1982 r.
4. Żółtowski B. i Niziński St.: Modelowanie procesów eksploatacji. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2010 r.

Marek Stabrowski

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

LAPACK efficiency improvement through redesign in c/c++ style

Poprawa efektywności pakietu LAPACK poprzez przeprojektowanie w stylu C/C++

Summary

Two new versions of banded linear equations solver have been developed with extensive usage of new mechanisms available in C/C++ language. They include dynamic memory allocation and pointers. Both solvers have been compared on Intel – Solaris10 platform with DGBSV solver from high-quality LAPACK package. New solvers reduce processing time by 15%-30% in the case of doubly dynamic memory management or even by 50% for singly dynamic management. Loop unrolling has been investigated and no stable performance improvement has been observed.

Keywords: LAPACK, banded linear equations, C language style

Streszczenie

Opracowano dwie nowe wersje programu rozwiązywania pasmowych układów równań liniowych z wykorzystaniem nowych mechanizmów dostępnych w języku C/C++. Obejmują one dynamiczną alokację pamięci i wskaźniki. Na platformie Intel-Solaris10 porównano oba programy z programem DGDSV ze znanego świetnego pakietu LAPACK. Przedstawione tu nowe programy redukują czas przetwarzania o 15%-30% w przypadku podwójnie dynamicznej alokacji pamięci, a nawet o 50% w przypadku pojedynczej dynamiczności. Zbadano rozwijanie pętli, ale nie uzyskano stabilnej zadowalającej poprawy przetwarzania.

Keywords: pakiet LAPACK, pasmowe układy równań liniowych, język C/C++

1. Linear algebra package LAPACK and C/C++ language

Linear algebra package LAPACK, introduced around 1992, has gained reputation of the best performer in its field [1, 2, 7]. LAPACK efficiency is supported by BLAS and ATLAS libraries. Originally Fortran language has been used for LAPACK development. However other versions, using C and Java language, not to mention C++ interface, are currently available. The C version, dubbed CLAPACK, has been developed through conversion using f2c application.

It seems that there is ample room for LAPACK efficiency improvement. Specifically dynamic memory allocation and pointers may help to achieve this goal. This thesis will be proved here basing on the example of banded linear equation system solution. The solution using DGBSV program from LAPACK package will be compared with alternative program exploiting fully new facilities of C/C++ language [5, 6].

Also comparison with GNU Scientific Library [4], developed originally in C, has been considered. However this library is inferior to LAPACK with respect to efficiency. Moreover there is no program for banded linear equations solution.

2. Basic data structures in DGBSV program and the dynamic counterparts in C/C++ style

Program DGBSV from LAPACK package stores the nonzero band of coefficient matrix in the variable dimension (parametrized) array [1]. No dynamic memory allocation is used. Partial pivoting results in fill-in and consequently in bandwidth growth. In order to accommodate this fill-in, the array is over-dimensioned. The over-dimensioning of this basic array in DGBSV may be illustrated with small example [4] of the banded matrix with one full diagonal on the right side of main diagonal and two non-zero diagonals on the left. The structure of sample basic matrix is shown below in (1):

$$\begin{bmatrix} * & * & * & + & + & + \\ * & * & + & + & + & + \\ * & a_{12} & a_{23} & a_{34} & a_{45} & a_{56} \\ a_{11} & a_{22} & a_{33} & a_{44} & a_{55} & a_{66} \\ a_{21} & a_{32} & a_{43} & a_{54} & a_{65} & * \\ a_{31} & a_{42} & a_{53} & a_{64} & * & * \end{bmatrix} \quad (1)$$

Unused elements are marked with an asterisk “*” and “+” character signals eventual fill-in. It is worth to note at this point, that interchange of matrix rows is implemented through physical copying of respective matrix elements.

First alternative variant of the program, developed from the scratch in C language, stores elements of individual rows in following structure:

```
typedef struct
{
    int length;
    int capacity;
    int ColStart;
    int ColEnd;
    double *Values;
} ONEROW;
```

The functions and usage of structure elements is quite self-explanatory. The `length` component stores actual row length, `capacity` – actual dynamic memory segment size for row storing (`capacity > length`), `ColStart` and `ColEnd` – column indexes (starting and trailing) in current row, and `Values` – the pointer to dynamic memory with current row coefficients. These structures are allocated dynamically (depending on matrix size) with the aid of dynamic pointer array

```
ONEROW *AmatrixBand;
```

The pivoting results in fill-in and enlarging of some non-zero rows. The enlargement is met by dynamic reallocation of memory pointed at by `Values`. Physical interchange of pivoted rows is avoided; simple pointer interchange in `AmatrixBand` array suffices. Doubly dynamic memory allocation imposes no limits on row interchange and cuts the processing time.

Both solvers, the DGBSV from LAPACK package and the new one, have been tested on Intel Core2 platform with 2.4 GHz clock frequency. The hardware was controlled by Solaris10 operating system. GNU compiler version 3.4.3 has been used for software compilation. The system of 32768 banded equations has been solved for several values of the non-zero band width.

Comparison of both solvers (fig. 1) shows superiority, in the sense of processing time, of the true C solver with dynamic memory allocation and pointer addressing. The speed-up of true C/C++ solver is in the range of 15% to 30%, depending on actual width of non-zero band.

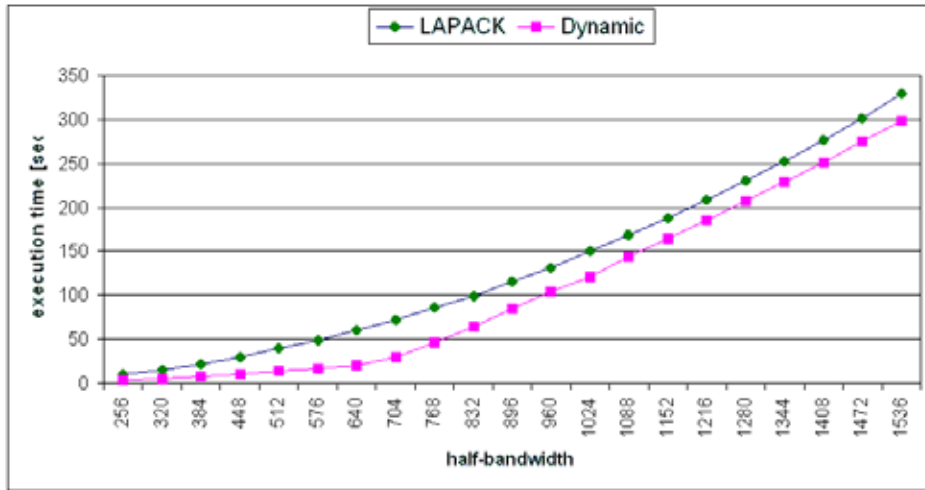


Fig. 1: Banded linear equation system processing time as the function of half-bandwidth: LAPACK – DGBSV solver, Dynamic – new C/C++ solver with doubly dynamic memory management

3. Dynamic array as an alternative for doubly dynamic memory allocation

The speed-up, achieved through introduction of new C/C++ programming constructs is quite distinct but far from spectacular. In the search for better results, simplifying of data structures has been investigated. It is commonly known that elegant and versatile data structures are very helpful in the software design, debugging and maintenance. However the structure versatility is almost always handicapped by longer processing time.

In order to simplify data structures in new C/C++ solver, doubly dynamic memory allocation has been abandoned. It is worth to note that dynamic memory reallocation (Values pointer) on most operating system and compiler platforms, must be accompanied by explicit initialization of additional memory segment. Moreover, there has been investigated the idea of loop unrolling during vector (one-dimensional array) processing. It has been patterned after DSCAL function (J. Dongarra) from LAPACK package.

The implementation of these ideas started with static (i.e. constant size) allocation of memory for individual matrix rows. Whole set of matrix rows is described by the array of pointers

```
double *Abmatrix;
```

Information on individual rows is stored in simpler, than in first solver version, structure, i.e.

```
typedef struct
{
    int length;
    int ColStart;
    int ColEnd;
    // double *Values;
} ROWINFO;
```

It should be reminded that memory segments storing non-zero elements of individual rows, are not reallocated. It means that at the very outset, they are dimensioned with appropriate redundancy for fill-in accommodation, similarly as basic array in DGBSV function from LAPACK package [1].

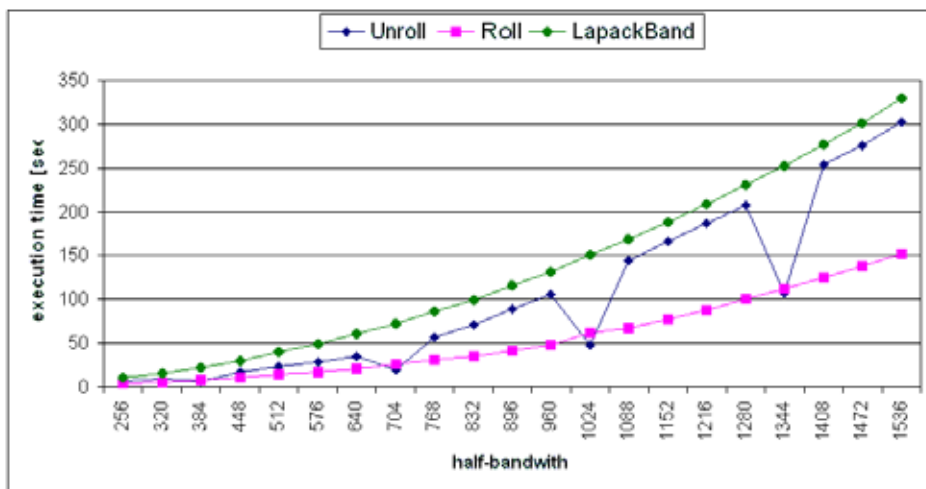


Fig. 2: Banded linear equation system processing time as the function of half-bandwidth: LapackBand – DGBSV solver, Roll – singly dynamic C/C++ solver without loop unrolling. Unroll – C/C++ solver with loop unrolling factor = 5 (see below)

The tests (fig. 2) performed on the same Intel-Solaris10 platform have shown that this solver version reduces processing time down to 40%-50% of the time of LAPACK solver. Quite surprising is the adverse influence of loop unrolling. Only for three specific band width values loop unrolling has led to some insignificant improvement.

4. Efficiency of loop unrolling

The surprising lack of stable improvement for loop unrolling has been investigated in more details. As the test case the system with half-band width of 512 and the number of equations equal to 32768 has been used. Almost 20 values of loop unrolling factor have been checked. The loop unrolling factor is defined here as the number of elementary operations in single loop run. Loop unrolling factor of 1 is equivalent to unrolling absence.

The test runs (fig. 3) have shown that loop unrolling does not influence the processing time in unequivocal and monotonic way. Only for few specific values of unrolling factor, equal to 3 and 8 in the test series, the processing time has been reduced to approximately 40% of standard value.

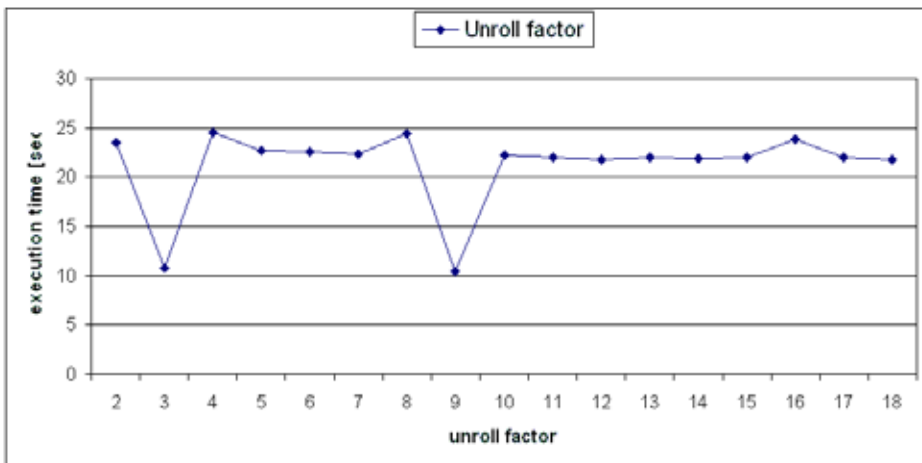


Fig. 3: Influence of loop unrolling factor in C/C++ solver for the system of 32768 equations with half-bandwidth of 512

It is worth to remind the results of unrolling, for the factor of 5 (as in DSCAL from LAPACK). In this series of tests, the loop unrolling reduced markedly the processing time for several “singular” values of band-width half equal to 704, 1024 and 1344. It seems that these “singularities” may be attributed to cache memory management. Quite interesting is the hypothesis that they appear for integer coincidence of cache memory size multiple and the size of basic data structure in the solver. Detailed investigation of these singularities (if it is really worth while) is an open problem.

5. Conclusions and final remarks

It has been demonstrated, as the result of these investigations and numerical experiments, that there exists real possibility to develop an alternative software with spectacularly better efficiency than LAPACK counterpart. The experiments and development have been performed in the field of banded linear equations system solvers. The speed-up by the factor of 2, has been achieved through the usage of pointer mechanism of C/C++ language. It is quite probable that similar redesign of other components of linear algebra package can result in further advances in respective areas.

References

- [1] Anderson E., Bai Z., Bischof C. et al.: LAPACK Users' Guide, SIAM, Philadelphia 1999.
- [2] Castaldo A., Whaley R. C.: Scaling LAPACK panel operations using parallel cache assignment. Proceedings of the 15th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming (2010) pp. 223-232.
- [3] Demmel J. W., Dongarra J. et al.: Prospectus for the Next LAPACK and ScaLAPACK Libraries. In: Lecture Notes in Computer Science, 2007, vol. 4697, Applied Parallel Computing. State of the Art in Scientific Computing, pp. 11-23.
- [4] Galassi M., Davies J., Theiler J. et al.: GNU Scientific Library Reference Manual, Network Theory Ltd., Bristol 2006.
- [5] Meerbergen K., Fresl K., Knapen T.: C++ Bindings to External Software Libraries with Examples from BLAS, LAPACK, UMFPACK, and MUMPS. ACM Transactions on Mathematical Software vol. 36 iss. 4, August 2009, art. no 22.
- [6] Moreira, J. E.; Midkiff, S. P.; Gupta, M.: A comparison of Java, C/C++, and FORTRAN for numerical computing, Antennas and Propagation Magazine, IEEE, vol. 40, iss. 5, Oct 1998, pp. 102-105.
- [7] Pozo R., Dongarra J., Walker D. W.: LAPACK++: a design overview of object-oriented extensions for high performance linear algebra. '93 Proceedings of the 1993 ACM/IEEE conference on Supercomputing, pp. 162-171.

Zdzisław Chłopek, Leszek Piaseczny

Instytut Transportu Samochodowego,
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Modelowanie emisji cząstek stałych PM10 w miastach portowych

Modelling of Particulate matter pm10 emission in port cities

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań modeli emisji cząstek stałych PM10. Są to modele zbudowane zgodnie z kryterium podobieństwa funkcjonalnego w postaci linowej zależności emisji cząstek stałych PM10 od emisji dwutlenku azotu i emisji tlenku węgla. Identyfikacji modeli dokonano wykorzystując wyniki badań empirycznych emisji zanieczyszczeń, prowadzonych na stacjach nadzorowania jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w 2010 r. W wyniku analizy modeli stwierdzono duże zróżnicowanie współczynników modeli dla różnych stacji, co dowodzi znacznej wrażliwości modelowania emisji zanieczyszczeń na właściwości źródeł emisji zanieczyszczeń i warunków ich rozprzestrzeniania. Stwierdzono silniejszą korelację emisji cząstek stałych PM10 i emisji tlenku węgla niż emisji cząstek stałych PM10 i emisji dwutlenku azotu.

Słowa kluczowe: cząstki stałe PM10, modelowanie emisji zanieczyszczeń, motoryzacja czcionka

Summary

The results of research of particulate matter PM10 immission models are in the paper presented. These models are developed in accordance with criterion in the form of functional similarity: dependence of immission of particulate matter PM10 to immission of nitrogen dioxide and carbon monoxide immission. Identification of models were made using the results of empirical studies immission of pollutants, carried out in air quality monitoring stations of the Regional Inspectorate of Environment in Gdansk in 2010. The analysis of models was large variation coefficients of models for different stations, showing high sensitivity modelling the properties of the immission of pollutants emission sources and conditions for their dispersion. Stronger correlation was found immission particles PM10 and carbon monoxide than immission immission particulate matter PM10 and nitrogen dioxide immission.

Keywords: particulate matter PM10, modelling of pollutant immission, motorization

Wstęp

Pyły stanowią obecnie jeden z najpoważniejszych problemów ekologicznych [2, 9, 11]. Szkodliwość pyłów dla zdrowia ludzi jest znana od dawna – pierwsze informacje na ten temat zawarł Georgius Agricola w swym dziele „De re metalica” [1] z 1524 r. Szkodliwość pyłów zależy od ich wymiarów oraz składu chemicznego i mineralogicznego [4]. Ze względu na wymiar charakterystyczny, jakim jest średnica aerodynamiczna ziaren, wśród pyłów wyróżnia się przede wszystkim cząstki stałe PM10 (o wymiarach charakterystycznych mniejszych od 10 μm) oraz cząstki stałe PM2.5 (o wymiarach charakterystycznych mniejszych od 2,5 μm) [4].

W związku ze znaną szkodliwością pyłów cząstki stałe PM10 są od dawna na liście zanieczyszczeń, których imisja (stężenie zanieczyszczenia rozproszonego w powietrzu atmosferycznym, mierzone na wysokości 1,5 m nad powierzchnią Ziemi [10]) jest nadzorowana. Od 2010 r. również do oceny jakości powietrza wykorzystuje się imisję cząstek stałych PM2.5.

Zgodnie z PN-64/Z-01001 „pył to faza stała układu dwufazowego ciała stałe–gaz lub gaz–ciało stałe, jeżeli stopień rozdrobnienia fazy stałej jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 1013,25 hPa i temperaturze 20°C ziarna ciała stałego, na które działa tylko siła ciężenia, po bardzo krótkim okresie przyspieszenia, wskutek oporu przepływu ośrodka, będą opadały ze stałą prędkością mniejszą niż 500 cm/s lub będą wykonywały ruchy Browna”.

Źródła emisji pyłów można sklasyfikować jako [4, 5]:

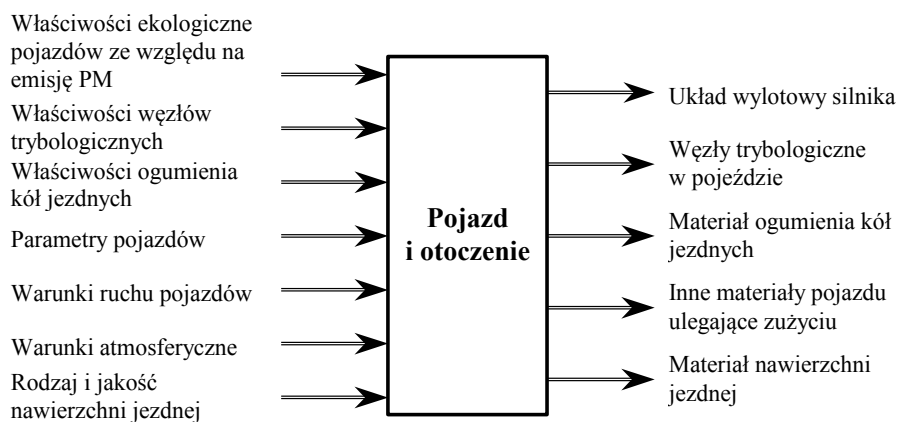
- naturalne,
- antropogeniczne (cywilizacyjne).

Podstawowymi naturalnymi źródłami pyłów są materiały osadowe, aerozole morskie, roślinne i zwierzęce, wybuchy wulkanów i pożary lasów [4, 5].

Antropogeniczne źródła pyłów są związane praktycznie z całą działalnością cywilizacyjną, przede wszystkim procesami produkcyjnymi i spalaniem paliw. Szczególnie dużo pyłów jest emitowanych z energetyki, przemysłu chemicznego, wydobywczego, metalurgicznego oraz budowlanego, zwłaszcza z produkcji cementu. Transport jest znaczącym źródłem emisji cząstek stałych.

Przekroczenia imisji cząstek stałych PM10 w aglomeracjach miejskich występują albo w miejscach intensywnej działalności przemysłowej, albo w pobliżu arterii komunikacyjnych. Przemysłowe źródła emisji pyłów są nieruchome, w związku z tym identyfikacja emisji pyłów jest w tym wypadku łatwiejsza niż w wypadku motoryzacyjnych źródeł emisji. Istotnym problemem jest zatem zdobycie wiedzy na temat imisji cząstek stałych w okolicach arterii komunikacyjnych.

Emisja cząstek stałych z transportu samochodowego jest zdeterminowana wieloma czynnikami – rysunek 1 [4].



Rys. 1. Struktura czynników determinujących emisję cząstek stałych oraz źródeł emisji cząstek stałych

Podstawowymi źródłami emisji cząstek stałych z transportu samochodowego są [4]:

- silnik spalinowy emitujący cząstki stałe wraz ze spalinami,
- węzły trybologiczne w pojeździe,
- ogumienie kół jezdnych i materiał nawierzchni jezdnej, ścierane w wyniku współpracy,
- materiały innych części pojazdu, ulegających zużyciu,
- pył wzniesany z nawierzchni jezdnej przez poruszające się po niej pojazdy.

Emisja cząstek stałych z transportu samochodowego jest zależna m.in. od [4]:

- właściwości ekologicznych pojazdów ze względu na emisję cząstek stałych, przede wszystkim w zależności od rodzaju silnika (o zapłonie iskrowym lub o zapłonie samoczynnym) oraz od poziomu ekologicznego pojazdu (ze względu na emisję zanieczyszczeń),
- właściwości części węzłów trybologicznych w pojeździe oraz materiałów tych części,
- właściwości ogumienia kół jezdnych,
- parametrów pojazdów, charakteryzujących jego umowną wielkość i konstrukcję,
- warunków ruchu pojazdów, przede wszystkim prędkości i przyspieszenia (szczególnie w wypadku utraty przyczepności kół).
- warunków atmosferycznych, głównie wiatru i opadów atmosferycznych,
- rodzaju i jakości nawierzchni jezdnej.

W celu oceny zagrożenia środowiska przez pyły jest konieczna znajomość emisji poszczególnych frakcji cząstek stałych w nadzorowanych obszarach. Ponieważ nie ma możliwości dokonywania pomiarów emisji cząstek stałych we wszystkich

miejscach szczególnie narażonych na to zagrożenie, stosuje się – jako metodę dodatkową – modelowanie emisji cząstek stałych na podstawie analiz wyników pomiarów wielkości łatwiejszych do wyznaczenia, np. na podstawie inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł stacjonarnych oraz ze źródeł transportu samochodowego dzięki analizie natężenia ruchu i struktury pojazdów, ocenianej ze względu na ich przeznaczenie, umowną wielkość i właściwości ekologiczne.

Celem modelowania jest wyznaczenie imisji cząstek stałych PM10. Osiąga się to albo dzięki modelowaniu emisji cząstek stałych PM10 oraz ich rozprzestrzeniania się, albo modelowaniu wprost imisji cząstek stałych PM10 [2–8, 11]. W związku z tym wyróżnia się formalnie modelowanie emisji oraz imisji cząstek stałych PM10.

Do modelowania emisji cząstek stałych PM10 wykorzystuje się modele tworzone na zasadzie podobieństwa strukturalnego [4]. W modelach tych emisja cząstek stałych PM10 jest w jawny sposób zależna od wielkości charakteryzujących ruch pojazdów samochodowych.

Modelowanie imisji cząstek stałych PM10 polega na wykorzystaniu zależności korelacyjnych imisji cząstek stałych PM10 od imisji innych zanieczyszczeń, przede wszystkim tlenków azotu (sprowadzonych do dwutlenku azotu) i tlenku węgla [2, 3, 5–8, 11]. Modele imisji cząstek stałych PM10 są modelami tworzonymi na zasadzie podobieństwa funkcjonalnego (behawiorystycznymi).

Modele zbudowane na zasadzie podobieństwa strukturalnego są dość trudne do identyfikacji, a granice zalecanych wartości parametrów są na tyle duże, że trudno jest niekiedy osiągnąć miarodajne wyniki symulacji [4]. Podobnie trudna jest identyfikacja modeli behawiorystycznych – jej wyniki są słuszne jedynie dla warunków pomiarów empirycznych imisji zanieczyszczeń, jednak wyniki identyfikacji zależą od właściwości źródeł emisji zanieczyszczeń i warunków ich rozprzestrzeniania się [2, 3, 5–8, 11]. Przy statystycznym potraktowaniu problemu istnieje możliwość wyznaczenia skutecznych modeli imisji cząstek stałych dla określonych kategorii źródeł emisji i warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Mimo trudności uogólnienia wyników badań modeli imisji cząstek stałych PM10, w konkretnych wypadkach zastosowania modele te okazują się zazwyczaj bardziej skuteczne niż modele emisji. Z tego powodu zdecydowano się wykorzystać w pracy modele imisji cząstek stałych PM10.

1. Wyniki badań empirycznych emisji zanieczyszczeń

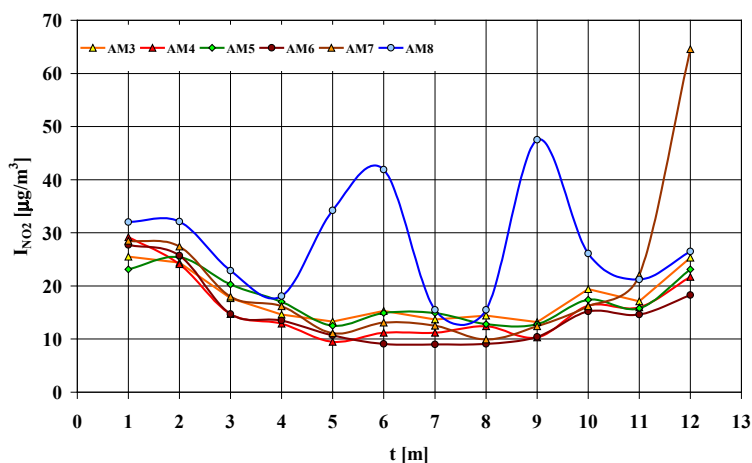
Do identyfikacji modeli imisji cząstek stałych PM10 wykorzystano wyniki badań prowadzonych na stacjach nadzorowania jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w 2010 r. (tabela 1).

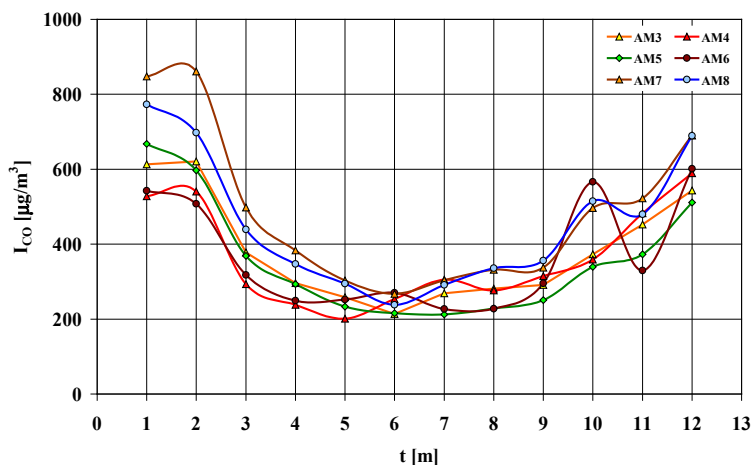
Tab. 1. Spis stacji nadzorowania jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku

Stacja	Oznaczenie stacji
Gdańsk Śródmieście	AM1
Gdańsk Stogi	AM2
Gdańsk Nowy Port	AM3
Gdynia Pogórze	AM4
Gdańsk Szadółki	AM5
Sopot	AM6
Tczew	AM7
Gdańsk Wrzeszcz	AM8
Gdynia Dąbrowa	AM9
Gdynia Śródmieście	AM10

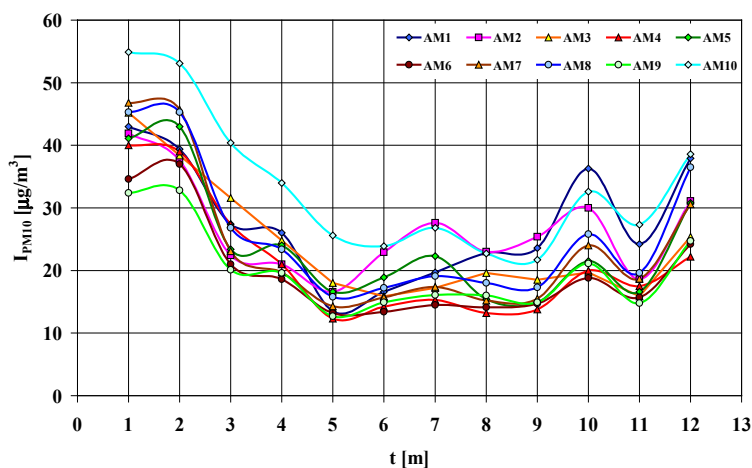
Stacje te są usytuowane w okolicach o zróżnicowanym charakterze urbanizacyjnym, w szczególności ze względu na intensywność ruchu pojazdów samochodowych.

Na rysunkach 2–4 przedstawiono wyniki badań imisji dwutlenku azotu, tlenku węgla i cząstek stałych PM10.

**Rys. 2.** Wyniki badań empirycznych imisji dwutlenku azotu na stacjach pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w poszczególnych miesiącach 2010 r



Rys. 3. Wyniki badań empirycznych imisji tlenku węgla na stacjach pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w poszczególnych miesiącach 2010 r.



Rys. 4. Wyniki badań empirycznych imisji cząstek stałych PM10 na stacjach pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w poszczególnych miesiącach 2010 r.

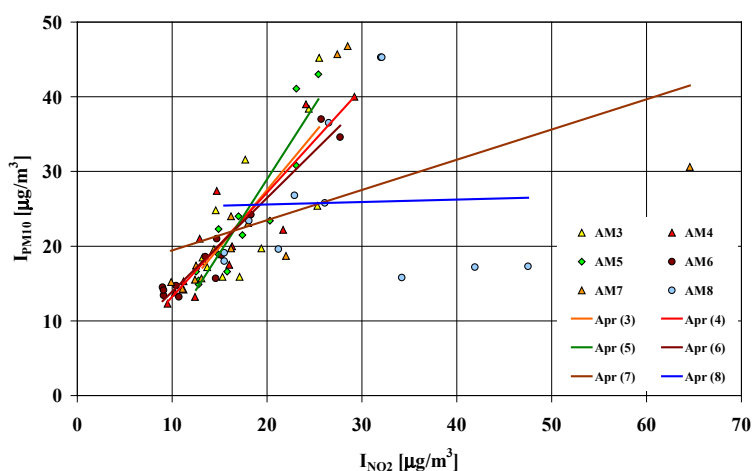
W przebiegach imisji analizowanych zanieczyszczeń jest charakterystyczna ich silna zależność od poszczególnych miesięcy. Wynika to przede wszystkim z sezonowej aktywności cywilizacyjnej, głównie ogrzewania budynków w miesiącach zimnych.

Przebiegi imisji zanieczyszczeń na poszczególnych stacjach mają w większości wypadków podobny charakter. Wyraźnymi wyjątkami są przebiegi imisji dwutlenku azotu na stacjach Gdańsk-Wrzeszcz i Tczew. Nie zauważa się wyraźnej re-

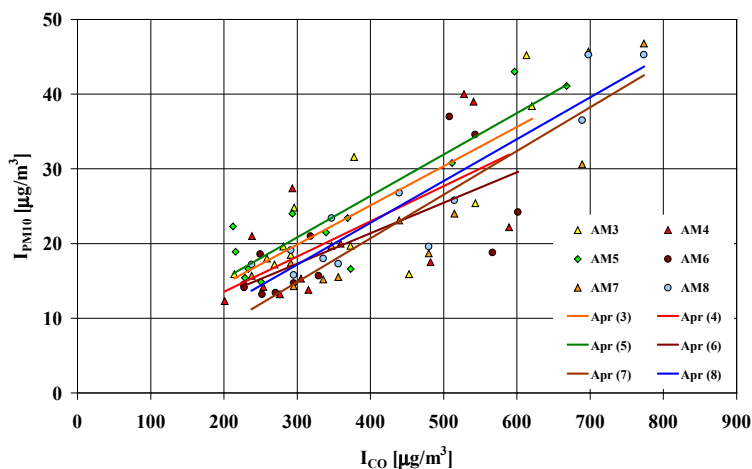
gularności wartości imisji cząstek stałych PM10 w zależności od położenia stacji. Największe wartości imisji są dla Gdyni Śródmieście, ale już dla Gdańska Wrzeszcza nie zauważa się wpływu gęstości zamieszkania i intensywnego ruchu pojazdów na imisję cząstek stałych PM10. Również w Nowym Porcie nie jest widoczny istotny wpływ działalności gospodarczej na imisję cząstek stałych PM10.

Ponieważ nie na wszystkich stacjach były prowadzone badania imisji trzech rozpatrywanych zanieczyszczeń, wybrano sześć stacji, dla których są dostępne kompletne wyniki badań.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono zależności korelacyjne imisji cząstek stałych PM10 od imisji dwutlenku azotu i imisji tlenku węgla.

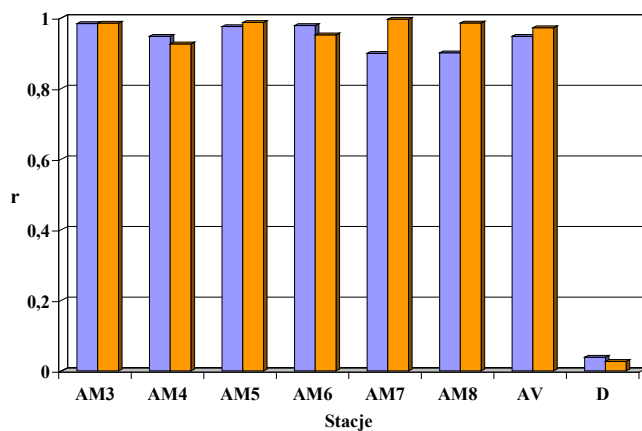


Rys. 5. Zależności korelacyjne emisji dwutlenku azotu i emisji cząstek stałych PM10



Rys. 6. Zależności korelacyjne emisji tlenku węgla i emisji cząstek stałych PM10

Korelacja badanych zbiorów jest silna, na co wskazują wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona – rysunek 7. Wartość prawdopodobieństwa nieodrzućenia hipotezy o braku korelacji liniowej Pearsona jest we wszystkich wypadkach mniejsza od 0,01.



Rys. 7. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona emisji dwutlenku azotu i cząstek stałych oraz tlenku węgla i cząstek stałych

2. Identyfikacja modeli emisji cząstek stałych pm10

Do identyfikacji przyjęto dwa modele emisji cząstek stałych PM10:

- w postaci liniowej zależności emisji cząstek stałych PM10 od dwutlenku azotu (1)

$$I_{PM10} = a_0 + a_1 \cdot I_{NO2} \quad (1)$$

- w postaci liniowej zależności emisji cząstek stałych PM10 od tlenku węgla (2)

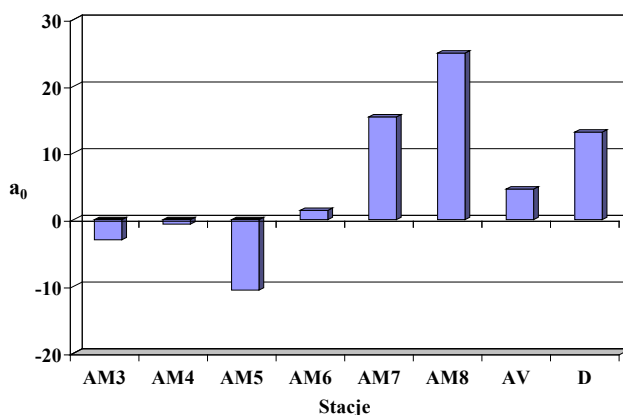
$$I_{PM10} = a_0 + a_2 \cdot I_{CO} \quad (2)$$

gdzie: a_0 , a_1 i a_2 – współczynniki modeli.

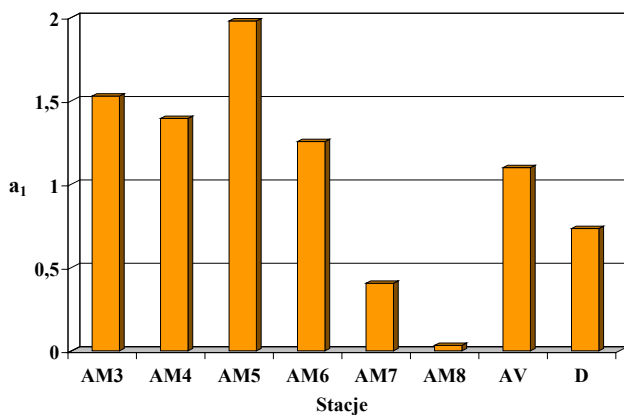
Identyfikacji modeli dokonano zgodnie z kryterium minimum sumy kwadratów. W tabeli 2 i na rysunkach 8–11 przedstawiono współczynniki modeli. Na rysunkach umieszczono też wartość średnią współczynników oraz ich odchylenie standardowe.

Tab. 2. Zidentyfikowane współczynniki modeli (1) i (2)

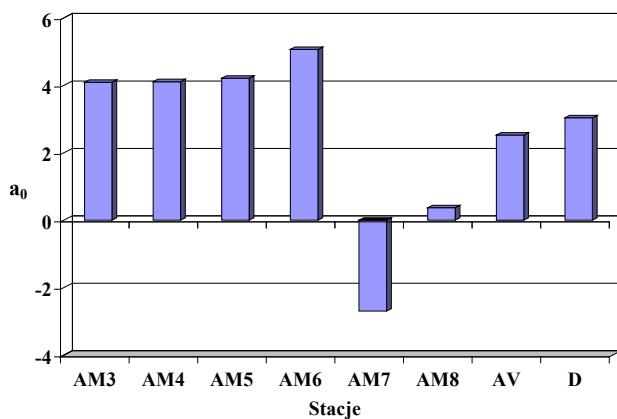
Stacja	Współczynnik			
	Model (1)		Model (2)	
	a_0	a_1	a_0	a_2
AM3	-3,053	1,528	4,084	0,0526
AM4	-0,689	1,394	4,105	0,0472
AM5	-10,580	1,979	4,208	0,0555
AM6	1,369	1,255	5,063	0,0408
AM7	15,400	0,405	-2,697	0,0585
AM8	24,940	0,032	0,369	0,0560



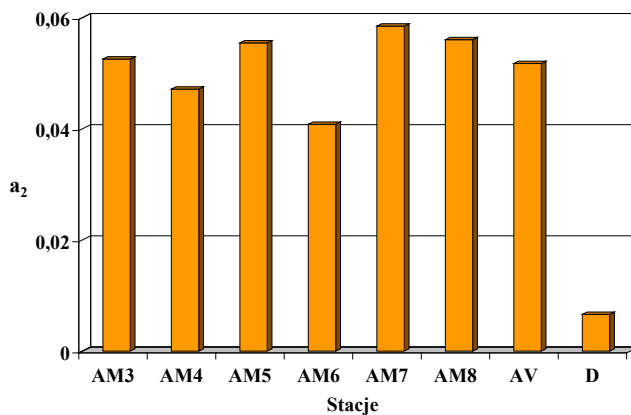
Rys. 8. Współczynnik modelu (1) dla poszczególnych stacji oraz wartości średnie AV i odchylenia standardowe D współczynników modelu



Rys. 9. Współczynnik modelu (1) dla poszczególnych stacji oraz wartości średnie AV i odchylenia standardowe D współczynników modelu

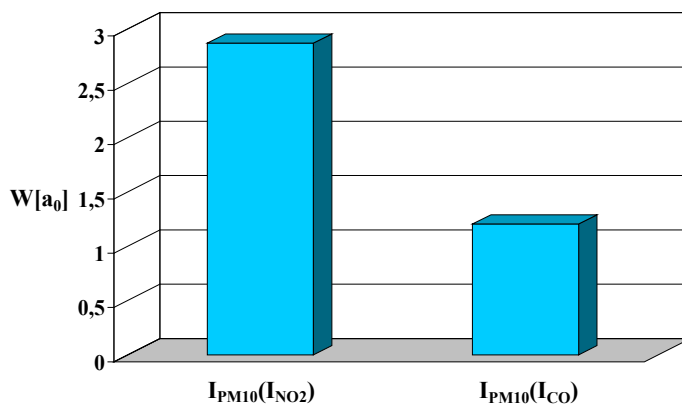


Rys. 10. Współczynnik modelu (2) dla poszczególnych stacji oraz wartości średnie AV i odchylenia standardowe D współczynników modelu

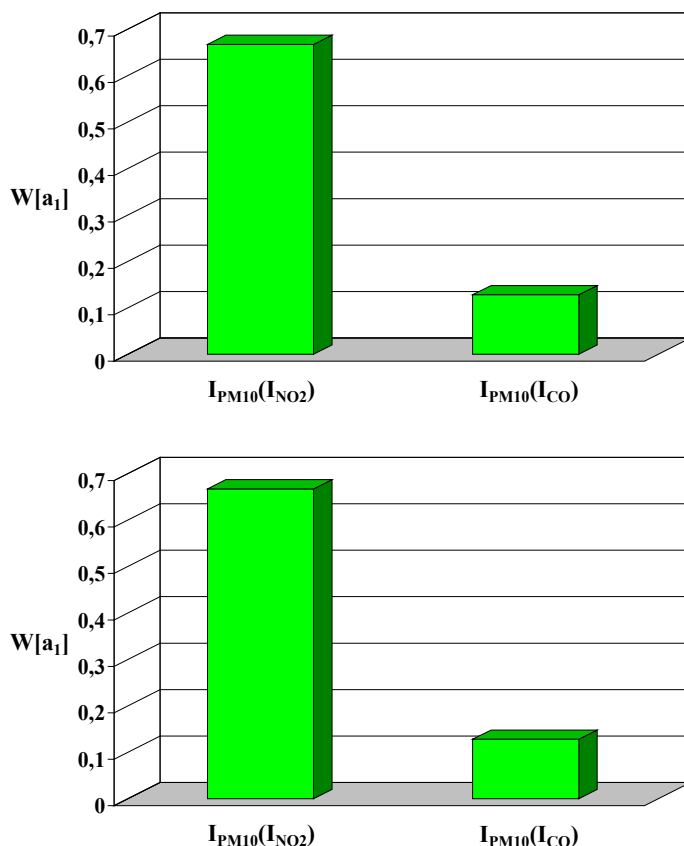


Rys. 11. Współczynnik modelu (2) dla poszczególnych stacji oraz wartości średnie AV i odchylenia standardowe D współczynników modelu

Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono współczynnik zmienności zidentyfikowanych współczynników modeli emisji cząstek stałych PM10.



Rys. 12. Współczynnik zmienności współczynników modeli dla poszczególnych stacji



Rys. 13. Współczynnik zmienności współczynników modeli dla poszczególnych stacji

3. Podsumowanie

Pyły stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi i ich środowiska. Do dużych wartości imisji poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek stałych przyczynia się wyraźnie działalność cywilizacyjna, w tym transport samochodowy. Poważnym problemem jest ilościowa ocena tego zagrożenia. W związku z ograniczonymi możliwościami wykonywania badań empirycznych imisji pyłów stosuje się również modelowanie emisji i imisji cząstek stałych.

Przeprowadzone badania modeli imisji cząstek stałych dotyczyły aglomeracji nadmorskiej. Do identyfikacji modeli wykorzystano wyniki badań prowadzonych na stacjach nadzorowania jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku w 2010 r. Stacje te są położone w obszarach

o znacznym zróżnicowaniu źródeł emisji zanieczyszczeń oraz warunków ich rozprzestrzeniania. Jest to wyraźnie widoczne w przebiegach emisji poszczególnych zanieczyszczeń.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono silną korelację liniową między emisjami cząstek stałych PM10 oraz dwutlenku azotu i tlenku węgla. Większe wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona są dla emisji cząstek stałych PM10 i tlenku węgla.

Zidentyfikowane współczynniki modeli mają znacznie zróżnicowane wartości dla poszczególnych stacji. Szczególnie duże różnice występują dla modelu emisji cząstek stałych PM10 w zależności od emisji dwutlenku azotu. Wniosek ten potwierdza wyraźną zależność współczynników modeli emisji cząstek stałych PM10 od warunków emisji zanieczyszczeń oraz ich rozprzestrzeniania.

Mimo trudności uogólniania wyników badań modeli emisji cząstek stałych PM10, wykorzystanie tych modeli jest obecnie jednym z najskuteczniejszych sposobów oceny stanu zagrożenia zdrowia ludzi i ich środowiska przez pyły.

Bibliografia

1. Agricola G.: De re metalica. <http://www.farlang.com/gemstones/agricola-metallica/>.
2. Bešlić I., Šega K., Šišović A.: PM10, CO and NOx concentrations in the Tuhobić road tunnel, Croatia. Int. J. Environment and Pollution, Vol. 25, Nos. 1/2/3/4, 2005. 251-262.
3. Brussels Environment. Brussels Institute for the Management of the Environment. Laboratory for Environmental Research: Black carbon, PM10 mass concentration, nitrogen monoxide, nitrogen oxides and particulate number concentration at the woluwe traffic site. Period July 2009 – June 2010. Preliminary Report. September 2010
4. Chłopek Z., Żegota M.: The emission of particulate matter PM10 from vehicles. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability Nr 1 (21)/2004. 3-13.
5. Chłopek Z.: Examination of a particulate matter PM10 immission model in the environment around road transport routes. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji 1/2012. 23–38, 121-136.
6. Chłopek Z.: Modele behawiorystyczne emisji cząstek stałych PM10 ze źródeł transportu drogowego. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 1(82)/2011. 111-118.
7. Chłopek Z.: Testing of hazards to the environment caused by particulate matter during use of vehicles. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2/2012. 160-170.

8. Chłopek Z.: Wykorzystanie wyników badań empirycznych nadzorowania jakości powietrza do identyfikacji modeli imisji cząstek stałych PM10. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 1(87)/2012. 52-61.
9. Hoek G. et al.: Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002; 360:1203-1209.
10. Leksykon ekoinżynierii. Pod red. Gabriela Borowskiego. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Warszawa 2010.
11. Wang F. et. al.: Particle number, particle mass and NOx emission factors at a highway and an urban street in Copenhagen. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 2745-2764, 2010.