Daniel Gajewski[1]
Andrzej Szarata[2]

BAZA DANYCH O WAHANIACH RUCHU NA ULICACH WARSZAWY

W artykule przedstawiono bazę danych pomiarowych dostępną w Warszawie. Baza ta odnosi się do pomiarów natężenia ruchu drogowego ze szczególnym uwzględnieniem struktury rodzajowej potoku pojazdów, prędkości chwilowej strumienia ruchu oraz okresu pomiarów. Baza danych składa się ze 104 punktów pomiarowych rozlokowanych w całej sieci drogowej Warszawy. Na części z nich pomiar odbywa się w sposób ciągły, pozwalający na prowadzenie szczegółowych analiz zmian w warunkach ruchu. Tak duża baza pomiarowa wymaga zastosowania specjalistycznych analiz służących do wykrywania i eliminacji błędów pomiarowych. W ramach artykułu przedstawiono również analizę prowadzącą do wyznaczenia natężenia miarodajnego dla okresu szczytu porannego, bazując na pomiarach natężenia ruchu na moście Gdańskim.

Wprowadzenie

Warszawa jest ważnym węzłem transportowym w Polsce, w którym łączą się drogi o znaczeniu międzynarodowym (E30, E67, E77, E372), krajowym (Nr 2, Nr 7, Nr 8, Nr 17, Nr 61, Nr 79) oraz 13 dróg wojewódzkich. Długość sieci drogowej w Warszawie wynosi 2837 km, w tym 2511 km to drogi publiczne. Zarząd Dróg Miejskich administruje podstawowym układem drogowym o długości 806 km, co stanowi około 32% długości dróg publicznych. W skład tego wchodzą drogi krajowe: 106 km, wojewódzkie: 144 km, powiatowe: 556 km. Drogi klas najwyższych, czyli główne ruchu przyspieszonego GP i główne G stanowią łącznie 12,2% długości sieci, w tym GP – 138 km, G – 206 km, zbiorcze Z – 298 km, lokalne i dojazdowe L i D – 2194 km. Warszawa posiada 7 mostów drogowych [1].

Obowiązkiem ZDM wynikającym z Ustawy o drogach Publicznych jest m.in. zbieranie danych o natężeniu ruchu (w tym na przejazdach kolejowych), a także gromadzenie informacji o zdarzeniach drogowych (system WYPADKI obejmujący całość sieci drogowo-ulicznej Warszawy). W celu regularnego pozyskiwania danych o ruchu pod koniec lat 90. powstał najbardziej rozbudowany w skali kraju system automatycznych pomiarów ruchu (APR). Na zlecenie Zarządu Dróg Miejskich powstał „Program systematycznych pomiarów ruchu drogowego na ulicach m. st. Warszawy" – opracowanie Biura Planowania Rozwoju Warszawy [2]. Lokalizacje przekrojów pomiarowych ruchu zostały utrzymane w schemacie Warszawskich Badań Ruchu. W systemie wyróżniono: Kordon Zewnętrzny, Kordon Wewnętrzny (Obszaru Centralnego), Ekran Mostowy i Ekran Wschód–Zachód (Linii Średnicowej). W kolejnych latach system APR był stale rozbudowywany i uzupełniony o Kordon Śródmieścia, a także o Kordon Ursynowa („sypialni" Warszawy). System ten obsługiwany jest rejestratorami pojazdów polskiej konstrukcji typu RPP. Prace nad tymi licznikami rozpoczął w latach 80. zakład innowacyjno-wdrożeniowy Instytutu Badawczego Dróg i Mostów VERUM. Rejestratory początkowo pracowały na zasadzie impulsów z pneumatycznych przewodów, natomiast później zastosowano pętle indukcyjne. W roku 1993 przeprowadzono na Ekranie Mostowym automatyczne pomiary przekrojowe przy wykorzystaniu liczników RPP-2 i RPP-3. Pomiary te stanowiły uzupełnienie o wielkości i wahania ruchu godzinowego, dobowego, tygodniowego i sezonowego przeprowadzonych w tym samym roku Warszawskich Badań Ruchu WBR-93. Od 1998 pomiary w systemie APR wykonywane są cyklicznie każdego roku.

Dostępne wyniki pomiarów ruchu są wykorzystywane dla potrzeb Zarządu Dróg Miejskich do analiz bezpieczeństwa ruchu, obliczeń przepustowości i miar warunków ruchu na skrzyżowaniach, wymiarowania programów sygnalizacji świetlnej, układania planów pracy sygnalizacji, koordynacji sygnalizacji świetlnej oraz do analiz z zakresu modelowania ruchu i podróży. Ponadto wyniki pomiarów są udostępniane dla podmiotów zewnętrznych celem prowadzenia prac projektowych takich jak: studia transportowe i ekonomiczne, analizy środowiskowe dotyczące zanieczyszczenia, hałasu, drgań, opracowanie mapy klimatu akustycznego Warszawy, analizy funkcjonalno-ruchowe (np. zasadność pasów autobusowych), określanie wpływu generatorów ruchu na sieć drogową, kalibrowanie mikro- i makro modeli ruchu (VISSIM, VISUM) czy kształtowanie skrzyżowań.

[1] Mgr inż., Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie

[2] Dr inż., Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, aszarata@transys.wil.pk.edu.pl

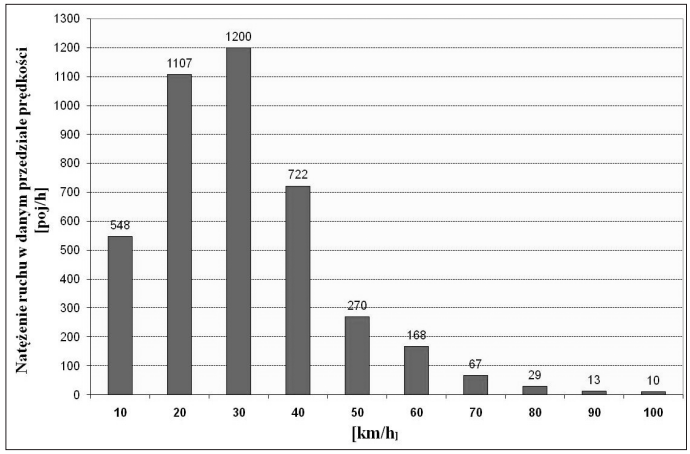
Charakterystyka bazy pomiarowej

W chwili obecnej system automatycznego pomiaru ruchu (APR) składa się ze 104 punktów pomiarowych, 207 stacji oraz 576 pętli indukcyjnych. Punkt pomiarowy tworzą stacje pomiarowe wyposażone w liczniki typu RPP oraz pętle indukcyjne umieszczone w jezdni, pod warstwą ścieralną. W 22 punktach pomiarowych (obsługiwanych klasyfikatorami ruchu RPP-5 lub RPP-6), ważnych z racji przenoszenia znacznej liczby ruchu ciężkiego, pomiary obejmują także strukturę rodzajową ruchu oraz klasyfikację prędkości chwilowej pojazdów. Pomiar w każdym punkcie trwa co najmniej 7 dni, w tym na Ekranie Wisły prowadzony jest trzykrotnie (wiosna, lato, jesień). Od 2008 roku w kilku głównych punktach miasta prowadzone są badania zmienności ruchu w ciągu roku. Całorocznymi wahaniami ruchu do końca 2010 objętych będzie 7 punktów pomiarowych z możliwością dostępu do danych *on-line*. Oprócz stałych punktów pomiarowych możliwe są badania prowadzone w ramach mobilnych pomiarów przekrojowych za pomocą liczników radarowych typu RPP-2a (wahania godzinowe i dobowe ruchu). Standardowo są one stosowane na przekrojach 1x2 lub na wydzielonych ścieżkach rowerowych. Prowadzone jest wspomaganie pomiarów automatycznych poprzez pomiary ręczne, co dotyczy zwłaszcza skrzyżowań. Rocznie wykonywane jest około 100–150 tego typu pomiarów. Uwzględniają one zarówno strukturę kierunkową, rodzajową, jak i pomiar długości kolejek pojazdów.

Baza danych systemu APR prowadzona jest i przechowywana od roku 1998 w specjalnie do tego celu przygotowanym autorskim oprogramowaniu APLV i APR. Identyfikatorem każdego punktu pomiarowego jest 4-cyfrowy kod. Dwa pierwsze znaki określają numer strefy (kordon, ekran), w której ten punkt się znajduje, oraz kierunek ruchu, a dwa następne znaki są kolejnymi numerami punktu pomiarowego. W trakcie przetwarzania pliku źródłowego oprogramowanie generuje automatycznie zbiory o charakterze strukturalnym zawierające podstawowe informacje np.:

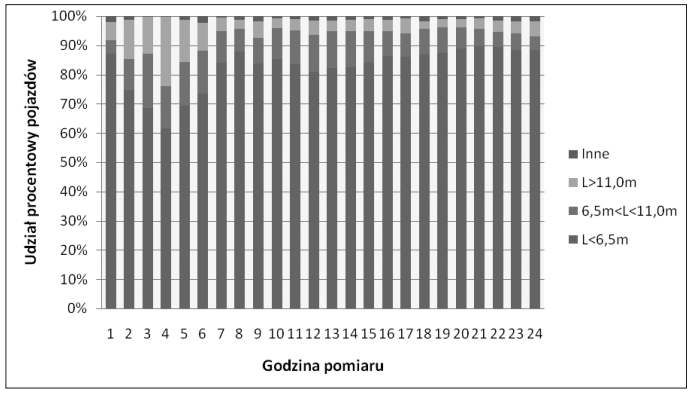
- zbiór wartości godzinowych,
- informacyjny zbiór o pomiarze,
- zbiór wartości dla szczytów godzinowych,
- wartości natężenia klasyfikowanego wg długości pojazdów ($0<L<6{,}5$m; $6{,}5 \leq L<11$m; $L \geq 11$m),
- wartości natężenia klasyfikowanego wg prędkości pojazdów (szereg rozdzielczy co 10 km/h w zakresie 10–100 i powyżej 100 km/h).

Pliki zawierające wyniki pomiarów można swobodnie otworzyć za pomocą programu Excel i analizować np. za pomocą tablic przestawnych. W plikach rocznych można obejrzeć warunki ruchu w każdej godzinie w roku oraz dla każdego kierunku (łącznie to 8760 wykresów). Klasyfikacja struktury rodzajowej pojazdów nie jest analizowana tak dokładnie jak prędkości (warunki ruchu). Na rysunku 1 przedstawiono przykład rozkładu prędkości chwilowej pojazdów, uzyskany na podstawie dostępnej bazy danych.



Rys. 1. Histogram rozkładu prędkości chwilowej dla przekroju na moście Grota-Roweckiego (kierunek wschodni). 28 maja 2008, godz. 14.00.

Bardzo ważną grupę wyników stanowią pomiary natężenia ruchu wraz ze strukturą rodzajową potoku pojazdów w rozbiciu na pory dnia. Dokładność pomiarów pozwala określić wielkość natężenia ruchu w każdej godzinie, co jest szczególnie istotne dla potrzeb projektowych – możliwość wyznaczenia okresu szczytu oraz udziału pojazdów lekkich i ciężkich w porach dnia i nocy. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki dobowych wahań ruchu uwzględniających strukturę rodzajową potoku pojazdów.



Rys. 2. Udział poszczególnych grup pojazdów klasyfikowanych wg długości, w dobie. Dolina Służewiecka, (kierunek południowy), 13 maja 2009.

Błędy pomiarowe

Liczniki RPP-3, RPP-5, RPP-6 są urządzeniami o zadowalającej dokładności. Szacuje się, że błąd pomiaru nie przekracza 2% dla urządzeń typu RPP-3 i 5% dla urządzeń typu RPP-5. Główną przyczyną błędnych odczytów jest nie tyle niedokładność urządzenia, a raczej chęć zmiany pasa ruchu przez pojazd tuż przed pętlą indukcyjną. Ponadto zbyt mała masa pojazdu może nie wywołać impulsu. Natomiast przy podwójnych pętlach, uwzględniających klasyfikację prędkości i długości, błędy zależą od gęstości ruchu. W stanach dużego nasycenia ruchem (gdy pojazdy poruszają się w kolumnie, z niewielką prędkością) zbyt małe odległości między nimi mogą nie być wychwycone przez rejestrator. Tworzy się „pociąg drogowy", którego nie można sklasyfikować i algorytm zalicza taki pomiar do czwartej grupy

pojazdów – „inne". Przykładowy wydruk z programu dla Doliny Służewieckiej w kategorii „inne" dla całej doby zawiera udział nierozpoznanych pojazdów nieprzekraczający 1,2%. Natomiast przy małej gęstości ruchu dodatkową przyczyną błędnego odczytu może być najechanie pojazdu tylko na jedną pętlę indukcyjną (wskutek zmiany pasa ruchu) i taki pomiar również jest klasyfikowany jako grupa „inne". System pomiarowy RPP wraz z pętlami indukcyjnymi jest niewrażliwy na warunki pogodowe takie jak: niska czy wysoka temperatura, silny wiatr, deszcz lub śnieżyca i idealnie nadaje się do pomiarów długotrwałych. Natomiast liczniki radarowe RPP-2a sprawdzają się tylko przy dobrej pogodzie. Silne opady deszczu w znacznym stopniu zakłócają pracę tego licznika. Deszcz tworzy „kurtynę", od której odbijają się fale radiowe, co w sposób istotny zakłóca odczyt.

Korygowanie błędów pomiarowych

W pomiarach tygodniowych, jeśli pojawią się silne zaburzenia ruchu widoczne na wykresach lub w liście rankingowej, nie są one korygowane, a ponownie przeprowadzane. W przypadku, gdy wychwycony błąd jest nieznaczny (np. w ramach 1 godziny), zostaje on korygowany jako średnia arytmetyczna z godzin sąsiednich. Jest to oczywiste uproszczenie, ale posiłkując się danymi pomiarowymi z dni poprzedzających pomiar lub danymi historycznymi, możliwym jest wyeliminowanie błędów grubych. W podobny sposób korygowane są ewentualne błędy pochodzące z pomiarów wykonywanych licznikiem radarowym (dni silnie zaburzone warunkami atmosferycznymi są odrzucane w całości).

W przypadku pomiarów całorocznych korekta błędów odbywa się przy wykorzystaniu specjalnie opracowanego makra w programie Excel. Procedury zapisane w makro, wykorzystując wyselekcjonowane kryteria (np. maksymalna wartość natężenia na pasie ruchu; wskaźniki procentowe przyrostu bądź spadku natężenia w powiązaniu z ich różnicą itp.), w sposób iteracyjny podają ocenę wartości natężeń 15-minutowych na poszczególnych pasach ruchu. Wykryty błąd jest korygowany za pomocą metody średniej ruchomej ważonej. Wartość prognozowanej zmiennej ustala się jako średnią ważoną ostatnich k rzeczywistych realizacji tej zmiennej (ostatnich k wyrazów szeregu czasowego) k – stała wygładzania ustalana przez prognostę [3],[4]

$$y_T{}^P = \sum_{i=1}^{k} w_i \cdot y_{i+(n-k)}$$

gdzie:

y_t – wartość zmiennej Y na moment lub okres t,
k – stała wygładzania,
w – waga przypisana do obserwacji,
n – liczba wyrazów szeregu zmiennej prognozowanej.

Wagi powinny być dodatnie, malejące (z uwagi na starzenie się danych – informacji) oraz sumować się do jedności. Obowiązują następujące zasady dobierania wag:

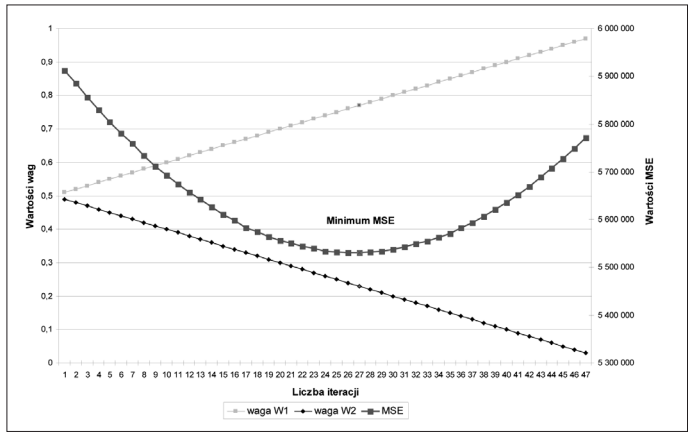
$$1)\ \sum_{i=1}^{k} w_i = 1; \qquad 2)\ 0 < w_i \le 1;$$

Odpowiednie wartości poszczególnych wag dobierane są iteracyjnie na podstawie minimalizacji średniego błędu kwadratowego prognozy (MSE) [4]

$$MSE = \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^{n} (y_t - y_t^*)^2 \rightarrow \min$$

gdzie:

y_t – wartość zmiennej Y na moment lub okres t,
y_t^* – prognoza zmiennej Y wyznaczona na moment lub okres t,
n – liczba wyrazów szeregu czasowego zmiennej prognozowanej Y,
k – stała wygładzania.



Rys. 3. Wykres zależności doboru wartości wag od wartości średniego błędu kwadratowego prognozy

Wyniki przed i po korekcie sprawdzane są na wykresie charakterystyki pracy wartości 15-minutowych natężeń poszczególnych pasów ruchu (wszystkie pasy ruchu na jednym wykresie). Pozwala to monitorować zmiany, jakie zostały wprowadzone przez korektę.

Natężenia miarodajne

Znajomość rocznej zmienności ruchu pozwala na określenie wpływu sezonowości na wahania natężenia ruchu w ujęciu godzinowym (szczyty), dobowym czy tygodniowym. Na podstawie rocznych wahań ruchu można np. określić spadek ruchu towarzyszący okresom urlopowym (letni, zimowy) lub dniom świątecznym. W oparciu o znajomość wartości procentowych spadku/wzrostu ruchu dla punktu miarodajnego (w naszym przypadku mostu Gdańskiego) znajdującego się na Ekranie Wisły można podjąć próbę oszacowania, o ile zmniejszy się ruch na innych mostach. Posiadając całoroczne pomiary ruchu na poszczególnych kordonach i ekranach, można w sposób analogiczny określić spadek/wzrost ruchu we wszystkich punktach znajdujących się w systemie APR i poprzez model ruchu oszacować wartości natężeń ruchu w godzinach

szczytu komunikacyjnego w sieci dróg warszawskich np. dla sezonu wakacyjnego, czyli w okresie charakteryzującym się największą liczbą robót prowadzonych w pasie drogowym. Wpływ robót na sieć drogową i prowadzenie objazdów można analizować w specjalnie do tego celu przygotowanym modelu ruchu.

Na podstawie pomiarów ruchu na moście Gdańskim podjęto próbę wyznaczenia natężenia miarodajnego dla okresu szczytów komunikacyjnych. Już na początku pojawia się problem pojęcia natężenia miarodajnego dla dróg miejskich. Z punktu widzenia projektanta i zarządcy układu drogowego, najważniejszą rolę pełni okres godziny szczytu. Należy jednak pamiętać o wahaniach ruchu wynikających z pór roku oraz okresów świątecznych i wakacyjnych. Chcąc uwzględnić te czynniki wpływu, proponuje się wyznaczenie średniego natężenia w godzinie szczytu (SGS) na trzy sposoby:

- SGS-1 – z wyznaczonych godzin szczytu dla przeciętnego dnia roboczego (wtorek, środa i czwartek) obliczana jest wartość średnia, biorąc jako zakres pełne 12 miesięcy, a więc razem z lipcem i sierpniem (okres wakacji, czyli dla miasta odczuwalny spadek ruchu);
- SGS-2 – metoda jak wyżej, lecz zakres średniej obejmuje 10 miesięcy – bez lipca i sierpnia. Podejście takie z pewnością zawyży wartość średnią, lecz będzie bliższe warunkom ruchu panującym w większej części roku;
- SGS-3 – metoda jak wyżej, lecz zakres średniej obejmuje miesiące, w których zazwyczaj wykonywane są pomiary ruchu (uznawane za miarodajne, bez wpływu zimowych warunków atmosferycznych, okresu wakacyjnego spadku ruchu). W tym przypadku można spodziewać się największych wartości średnich, bliskich „normalnym" warunkom ruchu.

Sposobem na stwierdzenie, która z metod liczenia SGS będzie bardziej właściwa, może być porównanie natężeń obliczeniowych pochodzących ze stałych punktów pomiaru ruchu z rzeczywistymi pomiarami w innych przekrojach pomiarowych znajdujących się w systemie APR. Zależnie od tego, która z metod SGS da najlepsze rezultaty oraz czy ich wpływ nie okaże się pomijalny, można zaproponować uwzględnienie rocznej zmienności ruchu i korygowanie natężeń pomierzonych w innych punktach systemu pomiarów automatycznych. Każdy Ekran/Kordon posiada wytypowany co najmniej jeden punkt stałego pomiaru ruchu przez 365 dni w roku. Kluczową sprawą w porównaniu każdego z modeli SGS jest wyznaczenie natężenia miarodajnego tylko w punktach okresowego pomiaru ruchu. W tym celu, na podstawie rocznej zmienności ruchu założono, że stosunek średniego natężenia ruchu w godzinie szczytu do natężenia miarodajnego (SGS) równy 1 (dla danego miesiąca, dnia tygodnia i kierunku ruchu np. EM, kwiecień, czwartek, godz. 7–8, kierunek do Centrum), będzie oznaczał równoważność natężenia pomierzonego z miarodajnym. Natężenie pomierzone w innym punkcie znajdującym się na tym samym Kordonie/Ekranie, dokładnie w tym samym czasie, można będzie przyjąć jako natężenie miarodajne.

Podsumowanie

Znajomość natężenia ruchu konieczna jest, między innymi, do celów projektowania geometrii układu ulicznego miasta oraz do sporządzania prognoz ruchu. Zawsze pojawia się pytanie, co należy rozumieć pod pojęciem natężenia ruchu w aspekcie jego wyraźnej zmienności związanej np. z porą roku, dnia czy warunkami pogodowymi. W tym celu przyjmuje się wartość natężenia miarodajnego, odpowiadającego obciążeniu analizowanych elementów układu komunikacyjnego. W ramach prowadzonych badań, zaproponowano trzy metody wyznaczania natężenia miarodajnego różniące się zakresem danych wejściowych. Podejście takie umożliwia elastyczne podejście do pojęcia natężenia miarodajnego i uzależnienie jego wielkości od dostępnych pomiarów przekrojowych.

Analiza danych pomiarowych wymaga dużej precyzji i zaawansowanego aparatu matematycznego wspomagającego eliminację błędów odczytu. Powstałe błędy pomiarowe wynikają w głównej mierze ze splotu niekorzystnych zjawisk wynikających z ruchu pojazdów (np. manewr wyprzedzania bezpośrednio przed pętlą indukcyjną) i przy obecnym zaawansowaniu technicznym urządzeń pomiarowych nie da się ich wyeliminować. Jednakże wielkość błędnych odczytów nie jest istotna (w zależności od typu urządzenia, czy warunków pogodowych nie przekracza kilku/kilkunastu procent) i możliwym jest wykrycie oraz skorygowanie błędnych danych aparatem matematycznym.

Odpowiednio przygotowana i zweryfikowana baza danych pomiarowych stanowi bardzo ważny element wspomagający planowanie transportu oraz projektowanie infrastruktury komunikacyjnej (np. poprzez aktualizację modelu symulacyjnego miasta i jego dopasowanie do bieżących wyników pomiarów przekrojowych). Odpowiednia analiza danych pomiarowych uwzględniająca wielkości historyczne jest przydatna do sporządzania krótkoterminowych prognoz natężenia ruchu w oparciu o linie trendów wzrostu. Prognozy takie można np. wykorzystać do wspomagania procesu planowania harmonogramu modernizacji infrastruktury drogowej, wskazując, w którym okresie roku wprowadzone ograniczenia ruchu związane z przebudową będą najmniej uciążliwe dla użytkowników (stanowi to rozwojowy wątek badawczy, planowany do dalszej analizy przez autorów).

Literatura

1. *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne* – Załącznik nr 1do uchwały nr LVIII/1749/2009 Rady m.st. Warszawy z dnia 9 lipca 2009 r.
2. *Program systematycznych pomiarów ruchu drogowego na ulicach m.st. Warszawy,* opracowanie BPRW na zlecenie ZDM, maj 1997 r.
3. http://pl.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16794176
4. http://aragorn.pb.bialystok.pl/~baginski/Excel/Stat_4_06.xls
5. http://arebor.w.interia.pl/przegladmetod.ppt