ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: BUDOWNICTWO z.75 Nr kol.1128

Ewa KONONOWICZ
Politechnika Śląska

RACJONALNA PRĘDKOŚĆ POCIĄGÓW NA SZLAKACH GĘSTEJ SIECI KOLEJOWEJ

Streszczenie. W gęstych sieciach kolejowych o dużej intensywności ruchu istotnego znaczenia dla poziomu prędkości nabierają warunki ruchowe. Poniżej przedstawiono propozycję określenia racjonalnej prędkości pociągów wynikającej z warunków ruchowych w węzłach kolejowych z uwzględnieniem bezpieczeństwa i płynności ruchu. Podstawą jest znajomość zależności optymalnego obciążenia węzła od prędkości pociągów.

1. WPROWADZENIE

Sieć kolejowa PKP jest bardzo niejednorodna pod względem stopnia zagęszczenia i intensywności ruchu. Przypadkiem szczególnym jest sieć Śląska, stanowiąca w kraju, a nawet i na świecie sieć o niezwykłej gęstości i stosunkowo dużej intensywności ruchu. Zajmując 5% powierzchni kraju realizuje ok. 50% przewozów towarowych i 17% przewozów pasażerskich. Charakteryzuje ją duża liczba krótkich szlaków (średnia ich długość wynosi 3,5km) połączonych węzłami kolejowymi, w których krzyżują się potoki ruchu towarowego i pasażerskiego. Prowadzenie ruchu utrudnia eksploatacja górnicza pod tymi terenami, degradująca parametry geometryczne torów i niszcząca ich konstrukcję. Rezultatem tych zjawisk jest występowanie odcinków ograniczeń prędkości (nawet do 15 km/h) oraz konieczność zmniejszania masy i długości pociągów, powodując straty zdolności przepustowej i przewozowej. W tych warunkach szczególnej ostrości nabiera problem racjonalnej eksploatacji sieci. W pojęciu tym mieści się również określanie właściwej prędkości pociągów.

Na całym świecie obserwuje się tendencje do zwiększania prędkości pociągów przez budowę nowych i modernizację istniejących linii kolejowych. Na przykład na kolejach zarządów europejskich SNEF, DB, BR i FS prędkość drogowa na wybranych liniach kształtuje się powyżej 300 km/h, a handlowa przekracza 140 km/h. W Polsce największą prędkość uzyskano na odcinku Centralnej Magistrali Kolejowej (ok. 140 km/h dla pociągów pasażerskich) [8].

Zwiększanie prędkości wymaga przygotowania drogi kolejowej w zakresie jej konstrukcji i układu geometrycznego w planie i profilu wraz z urządzeniami zabezpieczenia ruchu oraz odpowiedniego taboru. Wiążą się z tym wysokie nakłady finansowe, do których dodać należy jeszcze koszty utrzymania torów w stanie pełnej sprawności eksploatacyjnej.

Znaczącym efektem tych działań jest skrócenie czasu przejazdu pociągów i zwiększenie zdolności przepustowej linii. Zatem decyzja o określeniu poziomu prędkości powinna być poprzedzona analizą ekonomiczną kosztów jej osiągnięcia i utrzymania z jednej strony, a wartością efektów użytkowych z drugiej.

Zdolność przepustowa jako miernik efektywności eksploatacyjnej sieci jest funkcją prędkości pociągów. Funkcja ta kształtuje się różnie w zależności od typu rozpatrywanego fragmentu sieci. Dają się wyróżnić dwa układy:

- liniowe, w których dominującymi elementami są długie odcinki linii o stałej intensywności ruchu ze stacjami przelotowymi,
- sieciowe, o układzie wieloboków odcinków linii lub szlaków z licznymi węzłami kolejowymi.

Określenie racjonalnej prędkości w układach lniowych, właściwych np. dla dużych aglomeracji miejskich determinowane jest analizą przepustowości szlaku jako fukncji prędkości - dla różnych systemów urządzeń srk. Maksymalna wartość przepustowości wyznacza prędkość optymalną w zakresie danego systemu urządzeń srk [2]. Porównując kilka branych pod uwagę systemów, można określić prędkość i system najbardziej "wydajny".

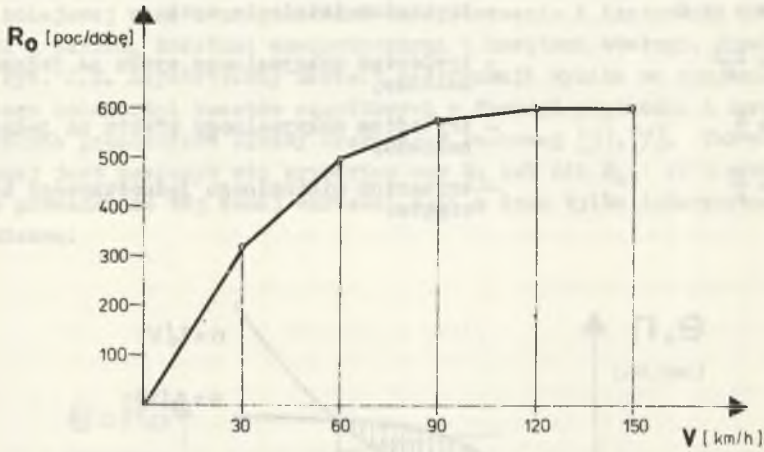
Wniosków wyprowadzonych dla układów liniowych z dwóch powodów nie można odnieść do układów sieciowych, a szczególnie do sieci gęstych o krótkich szlakach. Po pierwsze - na krótkich torach szlakowych między posterunkami ruchu, na których zatrzymują się pociągi, nie sposób rozwinąć zbyt dużych prędkości. Po drugie - o przepustowości decyduje nie przepustowość szlaku, lecz przepustowość ograniczających go posterunków ruchu (węzłów).

Z badań autorki [4], [5] dotyczących zależności zdolności przepustowej R_o węzłów kolejowych od prędkości pociągów v wynika, iż zależność ta nie ma charakteru liniowego. Na rysunku 1.1. przedstawiono graficznie przykładowy przebieg funkcji $R_o = F(v)$ dla posterunku odgałęźnego. Wartości funkcji ze względu na wysoki stopień złożoności zjawiska możliwe są do uzyskania jedynie w drodze probabilistycznej symulacji komputerowej. Przepustowość R_o zdefiniowana jest jako optymalne obciążenie układu wg kryterium efektywności technicznej [10]. Funkcja $R_o = F(v)$ jest monotonicznie rosnąca, nie posiadająca maksimum, dążąca asymptotycznie do granicy R_{omax}. Nieliniowy charakter zależności nasuwa myśl, iż problem wyboru prędkości jest problemem optymalizacyjnym, a więc możliwe będzie wyznaczenie takiej prędkości optymalnej V_{ro}, dla której przepustowość będzie "najtańsza".

2. USTALENIE OPTYMALNEJ PRĘDKOŚCI POCIĄGÓW Z WARUNKÓW RUCHOWYCH

2.1. Funkcja celu optymalizacji

Przepustwość układu kolejowego - rozumianego jako układ drogowy węzła kolejowego wraz z okeśloną strukturą ruchu - jest funkcją wielu zmiennych.



Rys.1.1. Wykres funkcji $R_0 = F(v)$ dla posterunku odgałęźnego
Fig.1.1. Plot of the function $R = F(v)$ for a junction signal-box

Czynnikami, od których zależy przepustowość, są:
- struktura układu torowego scharakteryzowana np. przez liczbę dróg przebiegu, liczbę niezależnych dróg przebiegu lub liczbę punktów kolizji,
- struktura obciążenia ruchowego wyrażona liczbą kategorii przebiegów i ich rozłożeniem na poszczególne drogi przebiegu oraz uprzywilejowaniem niektórych z nich,
- prędkość pociągów,
- rodzaj urządzeń srk, z którymi prędkość pozostaje w określonych związkach.

Przedmiotem rozważań będzie zależność przepustowości R_0 od prędkości V przy ustalonych wartościach wszystkich pozostałych parametrów.

W klasycznym ujęciu zagadnień optymalizacji [1],[9] funkcja $R_0 = F(v)$ dana w formie wykresu stanowi model sytuacji problemowej, przepustowość R_0 jest miarą wykonania, prędkość V jest zmienną decyzyjną (sterowaną), natomiast pozostałe parametry, od których zależy wartość R_0, stanowią tzw. "kontekst zewnętrzny" problemu i nie podlegają sterowaniu w zakresie danego problemu.

Kryterium najlepszego rozwiązania wyraża się funkcją celu, będącą funkcją wybranych miar działania wartości. W kategoriach ekonomicznych przepustowość R_0 jest nośnikiem efektów e (dochodów), natomiast prędkość V jest nośnikiem nakładów n (kosztów). Znajomość funkcji transformacyjnych (porównawczych) pozwala przekształcić skalę wartości technicznych miar działania na skalę wartości ekonomicznych.

Funkcję efektywności E można sformułować na kilka sposobów, przyjmując, że $e = f_e(v)$ i $n = f_n(v)$:

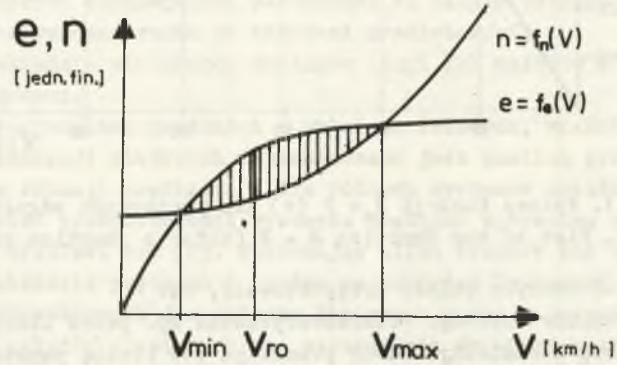
$\max E_1 = e - n$ - kryterium maksymalnego zysku,

$E_1' = (e - n)\ 0$ - kryterium istnienia zysku,

$\max E_2 = \frac{e-n}{n}$ - kryterium maksymalnego zysku na jednostkę nakładu,

$\max E_3 = \frac{e}{n}$ - kryterium maksymalnego efektu na jednostkę nakładu,

$\min E_4 = \frac{n}{e}$ - kryterium minimalnego jednostkowego kosztu efektu.



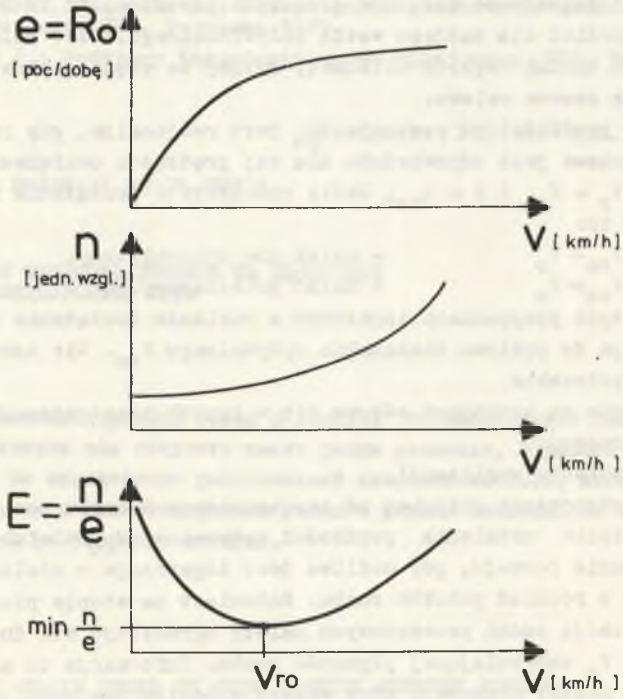
Rys.2.1. Wykres funkcji efektywności max E = e - n
Fig. 2.1. Plot of the effectiveness function max E= e - n

Hipoteczny kształt funkcji miar działania w skali wartości ekonomicznych przedstawia rys. 2.1. Warunkiem istnienia rozwiązania problemu optymalizacyjnego wg funkcji celu E_1 i E_2 jest założenie, że istnieje taki przedział wartości $V/V_{rmin}, V_{rmax}/$, dla których $e \geq n$. Będą to miejsca, gdzie $E_1 = e - n = 0$ oraz $E_3 = 1$, $E_4 = 1$.

2.2. Zbiór ograniczeń rozwiązania

Przedział prędkości ekonomicznie racjonalnych wyznaczają wartości $V_{r\,min}$ i $V_{r\,max}$ wg funkcji E_1'. Wyznaczenie V_{ro} wg kryteriów E_1 i E_2 wymaga określenia funkcji transformacyjnych $e = f_e(v)$ i $n = f_n(v)$ w jednakowych jednostkach finansowych lub w jednostkach względnych porównywalnych. Postaci funkcji kryteriów E_3 i E_4 są tego rodzaju, że nie muszą być spełnione powyższe wymogi. Przyjmując, iż efekty finansowe są wprost proporcjonalne do optymalnej intensywności ruchu, funkcję $e=f_e(v)$ można zastąpić wprost znaną funkcją $R_o = F(v)$. Jednostką efektu będzie wtedy liczba pociągów w jednostce czasu (doba, rok) . Nakłady natomiast mogą być wyrażone funkcją $n = f_n'(v) = a \cdot f_n(v)$ (dla $a > 0$) przedstawiając wartości względne nakładów rzeczywistych, co jest łatwiejsze do określenia.

Łączne nakłady będą sumą kosztów budowy lub modernizacji i utrzymania drogi kolejowej wraz z urządzeniami zabezpieczenia i łączności, kosztami trakcji i taboru, kosztami energetycznymi i kosztami obsługi. Przedstawiony na rys. 2.2. hipotetyczny kształt tej funkcji wynika ze znajomości przebiegu zmienności kosztów cząstkowych w funkcji prędkości i oceny doświadczonych pracowników służby drogowej i ruchowej [3],[7]. Tak więc wygodniej jest posłużyć się kryterium max E_3 lub min E_4, co w gruncie rzeczy prowadzi do tej samej wartości V_{ro}, z inną tylko interpretacją ekonomiczną.



Rys.2.2. Wykresy funkcji
a. $e = R_o = F(v)$
b. $n = f^o(v)$
c. $\min E = \frac{n}{e}$

Fig.2.2. Plots of functions
a. $e = R = F(v)$
b. $n = f(v)$
c. $\min E = n/e$

Optymalna prędkość pociągów wynikająca z warunków ruchowych (eksploatacyjnych) musi spełniać jeszcze dwa warunki. Pierwszym jest warunek bezpieczeństwa wyrażający się zależnością $V_{ro} \leq V_t < V_d$, gdzie V_t jest prędkością techniczną, a V_d jest prędkością drogową. Drugi warunek dotyczy płynności ruchu. Dla określonego obciążenia układu R istnieje odpowiadająca mu prędkość V_r, dla której układ jest wykorzystany optymalnie, czyli $R = R_o$. Jest to najmniejsza prędkość, z jaką muszą się poruszać pociągi, aby - przy ustalonej intensywności ruchu R - ruch ten odbywał się płynnie, zatem musi być $V_{ro} = V_r$.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Prędkość optymalna V_{ro} z uwagi na warunki ruchowe jest praktycznie trudna do wyznaczenia ze względu na złożoną strukturę funkcji nakładów finansowych. Różnorodność warunków drogowych powoduje, iż funkcję $n=f_n(v)$ należałoby określić dla każdego węzła indywidualnego. Sieć kolejowa Śląska posiada takich węzłów kilkaset. Byłaby to więc ogromna praca i może nawet nie zawsze celowa.

Utrzymanie prędkości na poziomie V_{ro} jest racjonalne, gdy realizowane obciążenie ruchowe jest odpowiednim dla tej prędkości obciążeniem optymalnym, tzn. $V_r = V_{ro}$ i $R = R_{ro}$. Jeśli rzeczywiste obciążenie R różni się od niego, to:

gdy $V_{ro} < V_r$ - układ nie wykorzystany,
gdy $V_{ro} > V_r$ - układ przeciążony.

Należałoby w tych przypadkach ingerować w wielkość obciążenia węzłów, sprowadzając je do poziomu obciążenia optymalnego R_{ro}. Nie zawsze jest to możliwe i potrzebne.

Oddziaływanie na transport odbywa się w trzech płaszczyznach [6]:
- planowanie rozwoju,
- planowanie sposobu realizacji,
- bieżące koordynowanie odchyleń od zaplanowanego sposobu realizacji.

Przedsięwzięcie ustalenia prędkości optymalnej V_{ro} miałoby sens na etapie planowania rozwoju, gdy możliwa jest ingerencja w wielkość obciążenia, a więc w rozkład potoków ruchu. Natomiast na etapie planowania sposobu realizacji zadań przewozowych należy ograniczyć się do wyznaczenia prędkości V_r zapewniającej płynność ruchu. Informacja ta ma istotne znaczenie dla służby drogowej, gdyż wskazuje poziom prędkości, który powinien być zagwarantowany.

LITERATURA

[1] Ackoff R.L.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych, PWN, Warszawa 1960.

[2] Dąbrowa-Bajon M., Krawczyk G., Karaś B.: Systemy sterowania ruchem pociągów na liniach kolejowych w aglomeracjach miejskich. Problemy Kolejnictwa 103/88.

[3] Dzikowski I.:Wpływ zwiększenia ciężaru i szybkości pociągów na obciążenie urządzeń zasilających zelektryfikowane linie kolejowe o dużym natężeniu przewozów. Problemy Kolejnictwa 70/1976.

[4] Kononowicz E.: Problemy osiągnięcia i utrzymania wymaganego poziomu zdolności eksploatacyjnej sieci kolejowej GOP-u. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., z.63 1985.

[5] Kononowicz E.: Analiza efektywności eksploatacyjnej sieci kolejowej w warunkach utrudnień eksploatacyjnych. Temat CPBP 02.19.01.24. - etap III, 1988.

[6] Leszczyński J.: Optymalne decyzje w procesach transportowych. WKŁ, Warszawa 1981.

[7] Praca zbiorowa: Przystosowanie kolei do zwiększonych szybkości. WKŁ, Warszawa 1969.

[8] Smolarz W.: Prowadzenie pociągów z dużą szybkością. Tendencje rozwojowe na świecie. Problemy Kolejnictwa Z.63 1974.

[9] Stark R., Nicholls R.: Metematyczne podstawy projektowania inżynierskiego. PWN, Warszawa 1979.

[10] Woch J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego. WKŁ, Warszawa 1983.

Recenzent: Doc. dr hab. Janusz Woch

Wpłynęło do Redakcji 19.04.1991r.

РАЦИОНАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОЕЗДОВ НА ПЕРЕГОНАХ
ГУСТОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Р е з ю м е

В густых железнодорожных сетях с высокой интенсивностью движения существенное значение для скорости имеет режим движения. В работе представлено предложение по определению рациональной скорости поездов, вытекающей из режима движения в железнодорожных узлах с учетом зависимости оптимальной нагрузки узла от скорости поездов.

THE RATIONAL TRAIN SPEED ON HIGH DENSITY NETWORK ROUTES

S u m m a r y

On high density railway networks the speed of trains is influenced very much by the traffic conditions. A way of determining the rational train speed is suggested based on traffic conditions in junctions, taking into consideration safety and smoothness of the traffic.The prerequisite is the established relation between optimal traffic in junction and the speed of trains.