نمذجة التقاطعات المظمة بإشارات السير

3 . 1 ـ تعـــريف :

تشكل هذه التقاطعات النسبة العظمى من تقاطعات الطرق والشوارع ضمن المدن وضواحيها وتكون طريقة تنظيم الحركة عليها إمَّا بإشارة " تمهل أفضلية المرور للغير " أو إشارة " قف " . على هذه التقاطعات تتقاطع حركة العربات على الشوارع الثانوية مع حركتها على الشوارع الرئيسية أو تنضم إليها.

يعتبر التنوع في الحلول الهندسية لهذه التقاطعات ذا أهمية كبيرة حيث نجد التقاطعات بثلاثة أذرع أو بأربعة أو متعددة الأذرع.

حيث أن الطرق المؤدية بالحركة إلى التقاطع يمكن أن تحوي كافة اتجاهات الحركة.

إن كون تقاطعات الأفضلية واسعة الانتشار يجعل مسألة دراسة السعة والغزارة الحرجة لهذه التقاطعات هامة وضرورية بالإضافة إلى أزمنة التأخير ومعايير أخرى للحركة على هذه التقاطعات.

3 . 2 ـ طريقة حساب سعة التقاطعات المجهزة بإشارات سير :

ترتبط سعة هذه التقاطعات بنسب غزارة الحركة على الشوارع الرئيسية إلى غزارة الحركة على الشوارع الثانوية ويمكن تحديد السعة بمعرفة هذه الكثافات وتركيب الحركة حسب الإتجاه على أذرع التقاطع.

يتم حساب السعة على الاتجاهات الثانوية للحركة وفق الخطوات التالية :

1 ـ تحديد الكثافات على الاتجاهات الرئيسية الموافقة لكل اتجاه من اتجاهات الحركة الثانوية.

2 ـ تحديد القيم الحدية للفواصل الزمنية على الاتجاهات الثانوية.

3 ـ تحديد السعة المبدئية على الاتجاه الثانوي.

4 ـ تحديد السعة الفعلية للاتجاه الثانوي مع أخذ تأثير الظروف الهندسية والحركية.

5 ـ حساب سعة حارات المرور والأذرع.

6 ـ تحديد مستوى حرية الحركة على الاتجاهات الثانوية للحركة.

إن عملية حساب سعة التقاطعات المجهزة بإشارات السير تحتاج إلى مراقبات وقياسات حقلية معقدة جداً تتطلب مجال زمني طويل وطاقم بشري كبير. وكل ذلك جعل استخدام الموديلات الرياضية من أكثر الطرق المتبعة لتحليل وتقييم الوضع الحركي على هذه التقاطعات.

من النماذج المعروفة التي تصف حركة المرور النموذج النظري لـ Tanner وسنعرض فيما يلي النموذج الرياضي المقترح من قبل Trach البروفسور في معهد الطرق والجسور في كراكوف هذا النموذج الذي يمكن اعتباره بأنه يصف ويدخل بالاعتبار أكبر عدد من معايير الحركة على تقاطعات الأفضلية وبشكل خاص المعايير التالية التي افتقرت إليها النماذج المعروفة :

- تركيب الحركة حسب الاتجاه وحسب النوع.
- الوضع الهندسي للتقاطع في حال تعريض مداخل التقاطع.

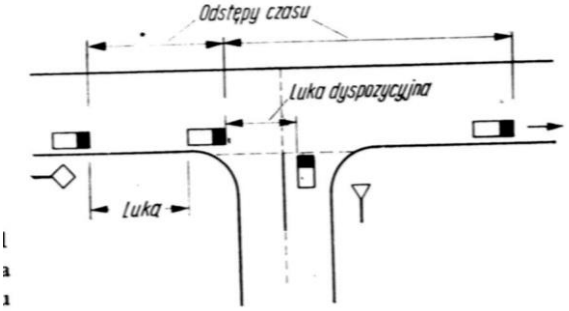
ـ الانعطاف نحو اليمين عن الشارع الرئيسي، وتأثيره على السعة.

ـ أزمنة التأخير أثناء إقلاع العربات.

النموذج الرياضي تمَّ اقتراحه اعتماداً على أساس نتائج اختبارات عديدة للحركة على تقاطعات متنوعة بحيث غطت كافة العوامل الأساسية المؤثرة على السعة وعلى أزمنة التاخير على تقاطعات الأفضلية بأشكالها الهندسية والأوضاع الحركية المختلفة عليها.

3 . 3 ـ وصف النموذج المقترح :

إن حقيقة عمل التقاطعات المجهزة بإشارات السير (تقاطعات الأفضلية) تعتمد على استغلال الفواصل الزمنية بين العربات على الشارع الرئيسي أو اتجاه الحركة الرئيسي (الذي له أفضلية المرور) من قبل العربات على الاتجاه الثانوي للقيام بعملية العبور أو الانعطاف. كما يبين ذلك الشكل (3 . 1) .



الشكل (3 . 1)

إذا اعتبر السائق الذي يصل إلى التقاطع من الطريق الثانوي أن الفاصل الزمني بينه وبين أقرب سيارة على الشارع الرئيسي (الثغرة المقترحة) كافية للقيام بعملية العبور أو الانعطاف، يقرر عندئذ مباشرة القيام بهذه الحركة، أمَّا في الحالة المعاكسة يجب على السائق انتظار أقرب فجوة بين العربات على الشارع الرئيسي يعتبرها كافية للقيام بالحركة المطلوبة أثناء ذلك في حال وصول عربات أخرى إلى التقاطع من الشارع الثانوي فإنه يجب عليها الانتظار خلف العربة الأولى.

3 . 3 . 1 ـ الفاصل الزمني الحرج بين العربات :

من الضروري تحديد الفواصل الزمنية الحرجة بين العربات على الشارع الرئيسي بالإضافة إلى العوامل الأخرى مثل غزارة الحركة على الشارع الرئيسي، تركيب الحركة، هندسة التقاطع وتنظيم المرور عليه، حيث أن هذه العوامل تؤثر على سعة التقاطع وبشكل خاص سعة الشوارع الثانوية.

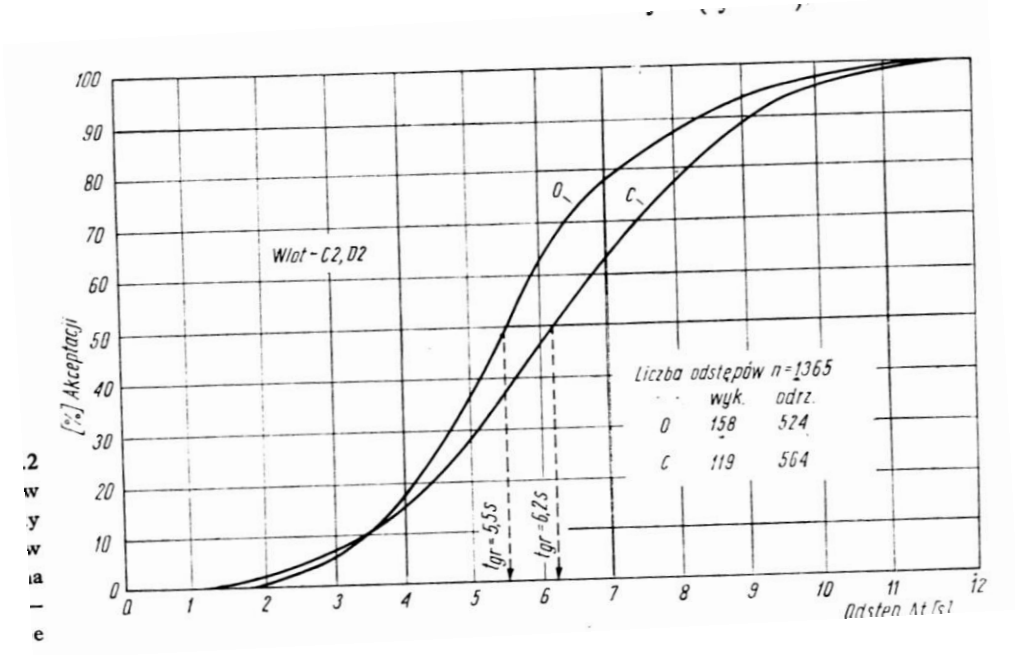
من هنا لابد الحصول على بعض المعطيات الأساسية من الاحصاءات الحقلية والاختبارات المرورية.

تمَّ التركيز على أهم العوامل المؤثرة على قيمة الفواصل الزمنية الحرجة مثل :

ـ نوع الحركة واتجاهها (مستقيمة، يسار، يمين).

- تنظيم الحركة ونوع إشارات السير (تمهل، قف، . .).
- الشكل الهندسي للتقاطع وظروف الرؤية عليه.
- سرعة الحركة وعدد الحارات على الشارع الرئيسي.
- غزارة المرور على الشارع الرئيسي.

إن تجميع المعطيات السابقة عملية بسيطة نسبياً لكن اختبار ودراسة تأثيرها على الفواصل الزمنية الحرجة تعتبر عملية معقدة، تمَّ وصف الآلية الخاصة والمراقبات والاختبارات اللازمة في العديد من الأبحاث والدراسات وتعددت التقنيات المستخدمة، في الاختبارات التي أجريت في معهد الطرق والجسور في جامعة كراكوف والتي تمت باستخدام التصوير للعديد من التقاطعات تمَّ الحصول على النتائج التي يظهرها الشكل (3 . 2) الذي يبين بشكل تخطيطي الفواصل الزمنية التي تمَّ استغلالها والفواصل التي تمَّ رفضها:



شكل (3 . 2) مخطط يبين الفواصل الزمنية التي استغلالها والفواصل التي تمَّ رفضها

يشمل المخطط كافة نتائج القياسات، وبذلك يحتوي على خطأ معين ناجم عن حقيقة أن السائق يمكن أن يستغل فاصل محدد أو يرفض فاصل أو أكثر، يمكن أن نفترض أن السائق الذي يحتاج لفاصل كبير نسبياً يرفض عدد أكبر من الفواصل من السائق الذي يميل إلى الاستفادة حتى من الفواصل الزمنية القصيرة.

يتم تشكيل الفواصل الزمنية الحرجة في النموذج وفق التوزيع الطبيعي من أجل قيمة وسطية للفاصل توافق 50% من السائقين وبانحراف معياري ناتج من المراقبات ومصحح بمقدار $S^2.q$ حيث :

S^2 : تباين توزيع الفواصل الزمنية الحرجة.

q : غزارة العربات على الشارع الرئيسي (عربة /ثانية).

استناداً إلى نتائج الاختبارات والقياسات تمَّ تحديد قيم الفواصل الزمنية الحرجة t_{CR} التي يمكن استخدامها في النماذج الرياضية وفي تحليل سعة تقاطعات الأفضلية وذلك وفق الجدول (3 . 2) :

الجدول (3 . 2) القيم الحدية للفواصل الزمنية (SEC) t_{CR}

نوع الحركة وأسلوب التنظيم المستخدم	سرعة الحركة على الطريق الرئيسي [km/h]		
	40	60	90
انعطاف نحو اليمين :			
ـ إشارة تمهل.	4.0	4.5	5.5
ـ إشارة قف.	5.0	5.5	6.5
ـ إشارة حركة دائرية.	4.0	4.0	–
انعطاف نحو اليسار :			
ـ إشارة تمهل	5.0	5.5	6.5
ـ إشارة قف	6.0	6.5	7.5
حركة مستقيمة :			
ـ إشارة تمهل	4.5	5.0	6.0
ـ إشارة قف	5.5	6.0	7.0
انعطاف نحو اليسار من الطريق الرئيسي	4.0	4.5	5.0

القيم الموجودة في الجدول يجب تصحيحها بالحالات التالية :

أ ـ الانعطاف نحو اليمين :

ـ إذا كان نصف قطر الانعطاف أكبر من 15 متر يجب تخفيض قيمة t_{CR} بمقدار 0.5 ثانية.

ـ إذا كانت العربات المنعطفة نحو اليمين تستخدم الحارة المخصصة للانضمام للحركة يتم تخفيض t_{CR} بمقدار 1 ثانية.

ب ـ الحركة المستقيمة :

ـ عندما تتقاطع مع طريق باتجاه واحد للحركة تخفض t_{CR} بمقدار 1 ثانية.

في كل الأحوال يجب ألا يزيد مجموع قيم التصحيح عن 1 ثانية.

3 . 3 . 2 ـ وصف النموذج ومعاييره :

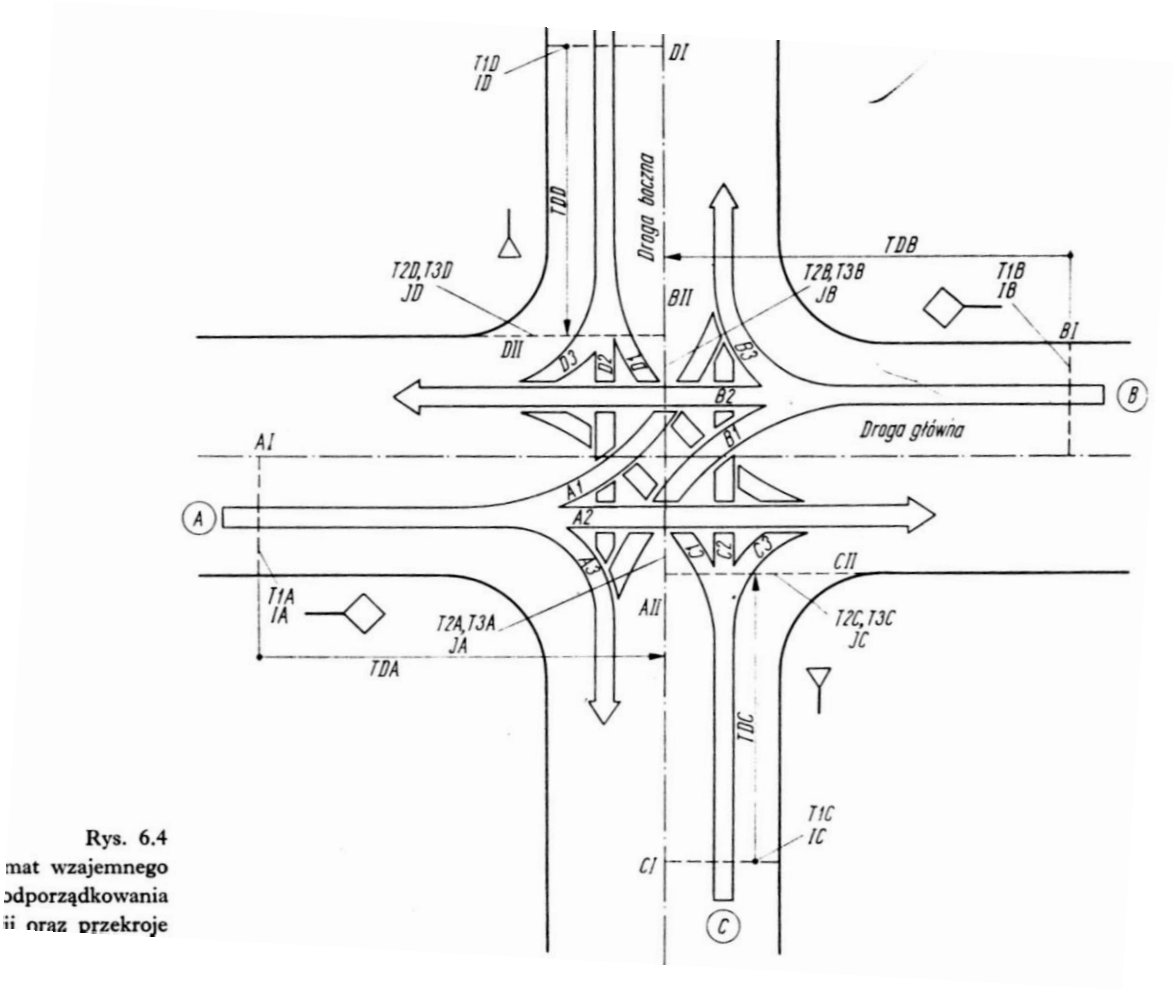
يتم تمثيل الأوضاع الحركية على التقاطع وفق هذا النموذج بطريقة الأحداث المتعاقبة، وتحليل سير الحركة يتم في ما يسمى بنقاط اتخاذ القرار والتي توافق مقطع مرجعي محدد، وتتم متابعة إجراءات الحركة على كامل منطقة التقاطع في نفس الوقت مع مناطق الدخول إلى التقاطع (أذرع التقاطع).

تمَّ ترقيم اتجاهات الحركة كما يوضح الشكل (3 . 3) كما يلي :

ـ الانعطاف نحو اليسار 1 .

ـ الحركة المستقيمة 2 .

ـ الحركة المنعطفة نحو اليمين 3 .



Rys. 6.4
mat wzajemnego
odporządkowania
ii oraz przekroje

شكل (3 . 3) يبين طريقة دراسة التقاطع

وتشمل الاتجاهات بالإضافة إلى ذلك الذراع الذي تنشأ عنه الحركة (A1,A2,A3,..) وبذلك يتم تعريف كافة الحركات بشكل موحّد.

يتم إعطاء اتجاهات الحركة والنوع للعربات بشكل عشوائي وفق توزيع احتمالي متكافئ في المقاطع DI, CI, BI, AI .

إجراء وصول العربات يتم وصفه باستخدام الفواصل الزمنية بين العربات التي يتم تشكيلها وفق التوزيع الاحتمالي المنحرف.

$$P\,(h \geq t) = e^{-(t - t0)/(t - t0)}$$

حيث :

t : وسطي الفواصل الزمنية بين العربات.

t_0 : الفاصل الزمني الأصغري بين العربات على حارة واحدة.

المقاطع DI, CI, BI, AI التي يتم تشكيل العربات المتتالية عليها تحقق الشرطين التاليين:

- توجد المقاطع قبل مناطق توزع الحركة حيث يمكن أن يتم أحياناً تعريض أذرع التقاطع.
- توجد هذه المقاطع أيضاً خارج تأثير الطول الأعظمي لرتل العربات أمام التقاطع.

تتوضع المقاطع BII, AII على الطريق الرئيسي على امتداد محاور الأذرع الثانوية في حين تتوضع المقاطع DII, CII على الأذرع الثانوية على امتداد حافة الطريق الرئيسي. الشكل (3 ـ 4) .

على هذه المقاطع يتم حساب أزمنة وصول العربات على الأذرع T2D, T2C, T2B, T2A . بفرض أن كافة العربات على ذراع معين تتحرك بنفس السرعة لذلك أيضاً زمن العبور TD بين المقاطع II, I يكون ثابتاً من أجل ذراع معين.

يمكن أن تحصل أرتال العربات على حارة واحدة من حارات الطريق الرئيسي A,B وهي حارة الحركة المنعطفة نحو اليسار وكذلك على كافة حارات الطريق الثانوي C,D .

تسلسل أفضليات الحركة في النموذج بالشكل التالي :

ـ الحركة المستقيمة والمنعطفة نحو اليمين من الاتجاه الرئيسي B2,A2,C3,A3

ـ الحركة المنعطفة نحو اليسار من الطريق الرئيسي B1, A1 .

ـ الحركة المستقيمة والمنعطفة نحو اليمين من الطريق الثانوي D3,C3,D2,C2

ـ الحركة المنطعفة نحواليسار من الطريق الثانوي D1, C1

العربات على الاتجاهات الثانوية تقوم بإنجاز الحركات التي ترغب بها حسب تسلسل وصولها مع إمكانية القيام بأكثر من حركة غير متصادمة في نفس الوقت.

يتم الحصول على نتائج الحساب مباشرة أثناء عملية النمذجة ويتم تسجيل النتائج في ملف خاص يسمح بالحصول على المعطيات التالية :

ـ المجموع الكلي للضياعات الزمنية خلال فترة النمذجة.

ـ وسطي الضياعات الزمنية للعربة الواحدة.

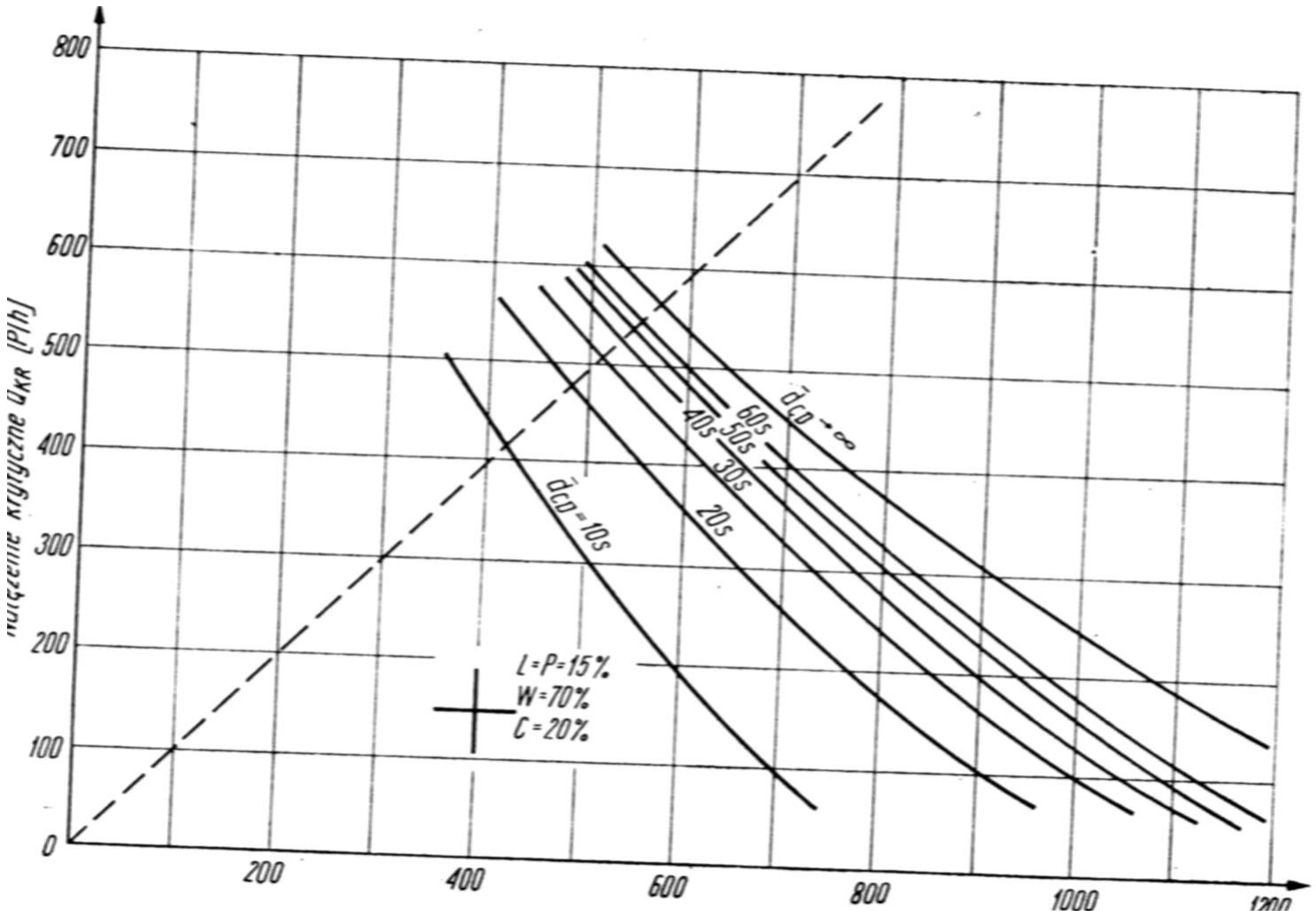
ـ الضياعات الزمنية الأعظمية.

ـ عدد العربات التي توقفت على التقاطع.

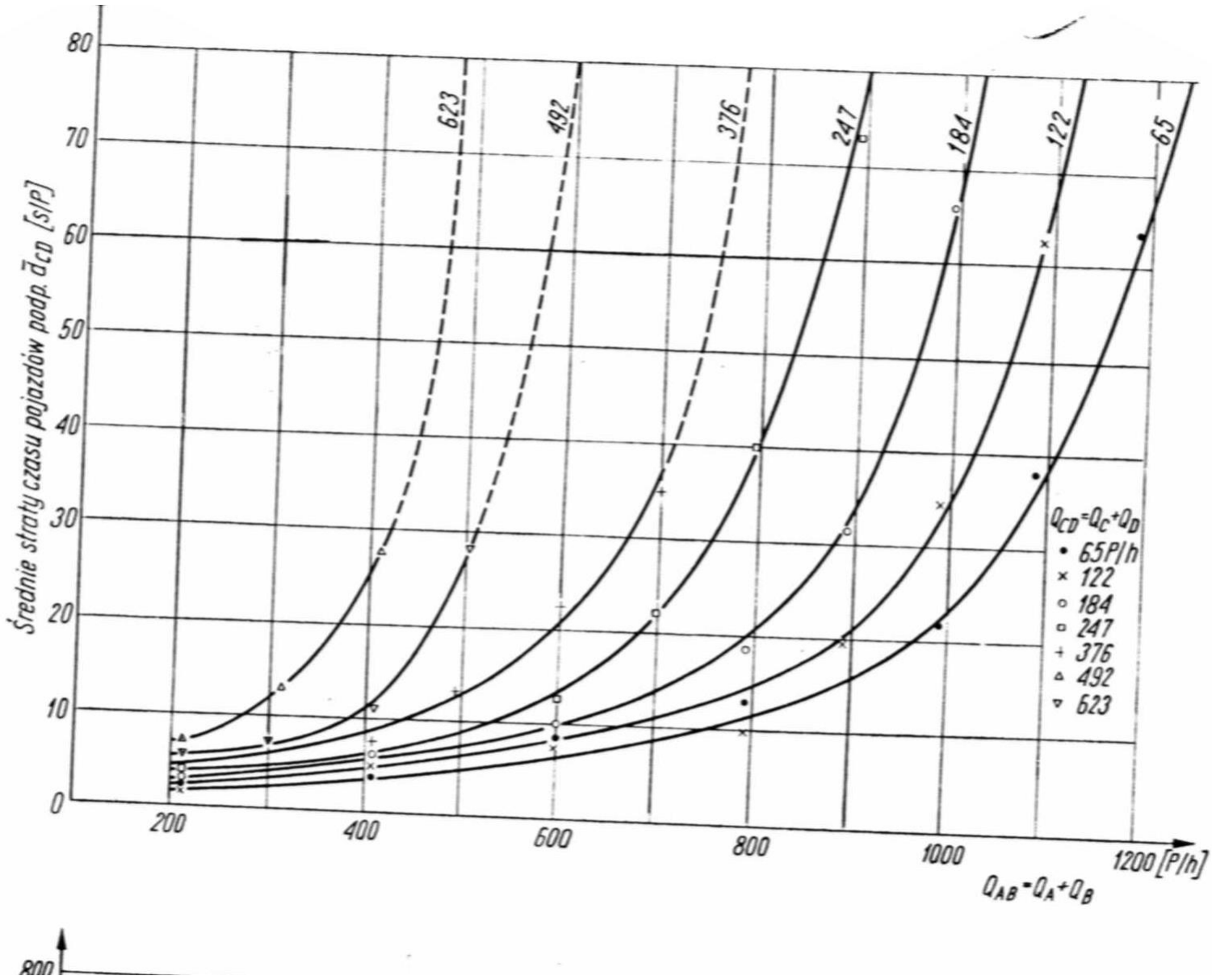
ـ وسطي عدد التوقفات للعربة الواحدة.

ـ الطول الأعظمي لرتل العربات أمام التقاطع.

يبين الشكل (3 . 5) مخطط العلاقة بين وسطي الضياعات الزمنية للعربة والغزارة الكلية للحركة على التقاطع وذلك من أجل معطيات تقاطع رباعي كما في الشكل (3 . 4)



الشكل (3 . 4) يبين العلاقة بين وسطي الضياعات الزمنية للعربة والغزارة الكلية للحركة على تقاطع رباعي



الشكل (3 . 5) مخطط يبين الغزارات الحرجة على الاتجاه الثانوي

من أجل ضياعات زمنية محددة

شرط الحصول على نتائج مقبولة وصحيحة هو التركيب والربط الجيد لعناصر النموذج المستخدم بالإضافة إلى القيم الخاصة بمعايير الحركة والتي نحصل عليها من القياسات الحقلية وخاصة قيم الفواصل الزمنية الحرجة والمقبولة من أجل أوسع مجال لتغيير الظروف الحركية والهندسية على التقاطع.