

Lecture Thirteen

Basic Freeways and Multilane Highways

Uninterrupted Flow Facilities مرافق تدفق المرور غير المنقطع

- ✚ Pure uninterrupted facilities occur on freeways مرافق المرور غير المنقطع موجودة في الطرق الحرة السريعة
- ✚ It can also exist on some surface facilities
مرافق المرور غير المنقطع موجود أيضا في بعض المرافق السطحية
- ✚ Long stretch of rural/suburban areas between points of fixed interruption
مقاطع الطرق في الضواحي والمناطق الريفية بين نقاط التقاطع الثابتة
- ✚ Example: A Surface facility more than 2 miles from the nearest point of fixed interruption can be called uninterrupted.
مثال: إن المرافق (الطرق) السطحية على مسافة أكثر من ٢ ميل لأقرب نقطة للتقاطع الثابت تسمى مرور غير منقطع أيضا

Primary Types of Uninterrupted Flow Facilities الأنواع الأساسية لمرافق تدفق المرور غير المنقطع

- ✚ **Freeways** الطرق الحرة السريعة
 - Pure uninterrupted flow التدفق غير منقطع تماما
- ✚ **Multilane Highways** الطرق السريعة متعددة الممرات
 - Sections of multilane highways (four or six-lane) that are more than two miles from the nearest point of fixed operation
مقاطع الطرق السريعة متعددة الممرات (٤ أو ٦ ممرات) على مسافة ٢ ميل أو أكثر من أقرب نقطة ثابتة للتشغيل
- ✚ **Rural Two-lane Highways** الطرق الريفية ذات الممرين
 - Sections of two-lane highways (one lane in each direction) that are more than two miles from the nearest point of fixed operation
مقاطع الطرق الريفية ذات الممرين (ممر في كل اتجاه) على مسافة (٢) ميل أو أكثر من أقرب نقطة ثابتة للتشغيل

Capacity السعة

The capacity of a facility is the maximum hourly rate at which persons or vehicles reasonably can be expected to traverse a point or a uniform section of a lane or roadway during a given time period under prevailing roadway, traffic, and control conditions. (HCM 2000).

إن السعة للمرفق هي الحد الأقصى لمعدل التدفق المروري من المركبات أو الأشخاص المتوقع في الطريق أو مقطع منتظم في الطريق خلال فترة زمنية (عادة ساعة) تحت الظروف السائدة للطريق والمرور وأنظمة التحكم المروري (حسب التعريف في دليل السعة الأمريكي للطرق ، ٢٠٠٠).

Capacity under Ideal Conditions السعة تحت تأثير الظروف المثالية

نوع المرفق Type of Facility	Free-Flow Speed (mi/h) سرعة التدفق الحر (ميل/ساعة)	السعة بوحدات مركبة صغيرة/ساعة/ممر Capacity
Freeways الطرق الحرة السريعة	≥70 65 60 55	2,400 pc/h/ln 2,350 pc/h/ln 2,300 pc/h/ln 2,250 pc/h/ln
Multilane Highways الطرق السريعة متعددة الممرات	≥60 55 50 50	2,200 pc/h/ln 2,100 pc/h/ln 2,000 pc/h/ln 1,900 pc/h/ln
Two-Lane Highways الطرق الريفية ذات الممرين	All	3,200 pc/h (total, both dir) 1,700 pc/h (max. one dir)

Types of Capacity (HCM 1950) أنواع السعة حسب دليل السعة الأمريكي ١٩٥٠

Basic Capacity السعة الأساسية

- Maximum number of passenger cars that can pass a given point on a lane or roadway during one hour under the most nearly ideal roadway and traffic conditions which can possibly be attained

أكبر عدد من المركبات التي يمكن أن تمر في الطريق أو في ممر خلال فترة زمنية (ساعة واحدة) تحت تأثير أغلب الظروف المثالية للطريق والمرور.

Possible Capacity السعة الممكنة

Is the maximum number of vehicles that can pass a given point on a lane or highway during one hour under the prevailing roadway and traffic conditions. This means that the possible capacity of a highway will always be lower than the basic capacity unless the prevailing conditions of the traffic, approach the ideal conditions. Therefore the possible capacity may vary from 0 to the maximum, i.e., Basic capacity.

أكبر عدد من المركبات التي يمكن أن تمر في الطريق خلال فترة زمنية (ساعة واحدة) تحت تأثير الظروف السائدة للطريق والمرور. هذا يعني إن السعة الممكنة للطريق تكون دائما أقل من السعة الأساسية ما لم تكون الظروف السائدة للطريق مثالية ولهذا السعة الممكنة ممكن أن تتراوح من صفر الى القيمة العظمى.

Practical Capacity السعة العملية

Is the maximum number of vehicle that can pass a given point on a lane or roadway during one hour, without traffic density being so great as to cause unreasonable delay, hazard or restriction to the driver's freedom under the prevailing roadway and traffic conditions.

It is the practical capacity which is of primary interest to the designers who strive to provide adequate highway facilities and hence this is also called the design capacity.

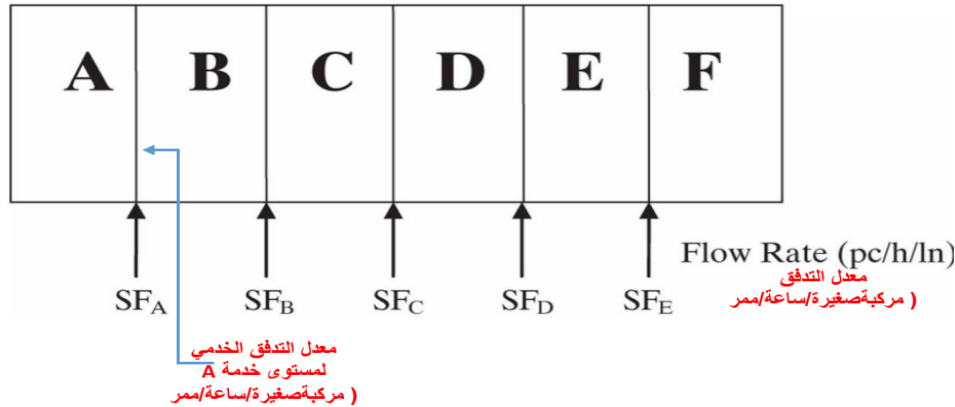
أكبر عدد من المركبات التي يمكن أن تمر في الطريق خلال فترة زمنية (ساعة واحدة) بدون وصول الكثافة إلى قيمة عالية تسبب الإضطراب وزمن تأخير عالي غير منطقي، وخطر وتقييد لحركة المركبات تحت تأثير الظروف السائدة والمرورية. إن السعة العملية لها أهمية حيث تعتبر قيمة أساسية للمصممين لتوفير سعة كافية للمرافق ولهذا تسمى السعة التصميمية.

Service Flow Rate معدل التدفق الخدمي

A service flow rate is defined as the maximum flow rate of flow that can be reasonably expected on a lane or roadway under prevailing roadway, traffic, and control conditions while maintaining a particular level of service.

يعرف معدل التدفق الخدمي هو الحد الأقصى لمعدل التدفق يمكن توقعه بشكل معقول في ممر أو طريق تحت تأثير الظروف السائدة والمرورية وأنظمة التحكم مع الحفاظ على مستوى خدمة معين.

Service Flow Rate Illustration تلخيص معدل التدفق الخدمي



Service Volume الحجم الخدمي

Service volume is described as conditions that existed over a full hour as opposed to the standard 15 minute period.

يعرف الحجم الخدمي على أساس إن الظروف والشروط موجودة على طول ساعة كاملة بدلا من الفترة القياسية ١٥ دقيقة.

$$SV_i = SF_i * PHF$$

[1]

SV_i : Service volume for LOS i (veh/hr) (الحجم الخدمي لمستوى معين بوحدات (مركبة/ساعة))

SF_i : Service flow rate for LOS i (veh/hr) **معدل التدفق الخدمي لمستوى معين بوحدات (مركبة/ساعة)**

PHF : Peak hour factor **معامل ساعة الذروة**

The Level of Service Concept **فكرة مستوى الخدمة**

- A quality measure describing operational conditions within a traffic stream, generally in terms of such service measures as speed and travel time, freedom to maneuver, traffic interruptions, and comfort and convenience (HCM 2010).

إن مستوى الخدمة هو مقياس نوعي للتشغيل المروري وعادة هذا المقياس يشمل تأثير السرعة وزمن الرحلة وحرية الحركة وإنقطاع الحركة المرورية وراحة المستخدم والتوافق. (دليل السعة الأمريكي ٢٠١٠)

- Rating scale A-F indicate best to worst operation.

إن مستوى الخدمة يقسم الى ستة مستويات من A الأفضل الى F الأسوأ

Measures of Effectiveness for LOS **مقاييس الفعالية لمستوى الخدمة**

Type of Flow نوع التدفق	Type of Facility نوع المرفق	Measure of Effectiveness قياس الفعالية
Uninterrupted	Freeway(Basic, Weaving, ramp) الطرق الحرة السريعة (المقطع الأساسي، مناطق التماوج، مناطق الإبتعاد والاندماج)	Density (pc/mile/ln) الكثافة (مركبة/ميل/ممر)
	Multilane Highway الطرق السريعة متعددة الممرات	Density (pc/mile/ln) الكثافة (مركبة/ميل/ممر)
	Two-Lane Highway الطرق الريفية ذات الممرين	Average Speed (mph) متوسط السرعة (ميل/ساعة) % time Spent Following % زمن التتبع المستغرق
Interrupted Flow	Signalized Intersections التقاطعات ذات الإشارة الضوئية	Control Delay (sec./veh) زمن تأخير التحكم (ثانية/مركبة)
	Unsignalized Intersections التقاطعات بدون إشارة ضوئية	
	Urban Street الشوارع الحضرية	Average Travel Speed (mph) متوسط سرعة النقل (ميل/ساعة)

Basic Freeway and Multilane Highway Characteristics

خصائص الطرق الحرة السريعة والطرق
السريعة متعددة الممرات

Speed-Flow Characteristics التدفق - السرعة

- No heavy vehicles in the traffic stream لا يوجد مركبات ثقيلة في التدفق المروري
- A driver population dominated by regular or familiar users of the facility إن غالبية سائقي المركبات من مستخدمي الطريق بصورة منتظمة أو متكررة

Level of Service Characteristics خصائص مستوى الخدمة

- LOS-A through F مستوي A الى F كما موضح في الشكل رقم ١

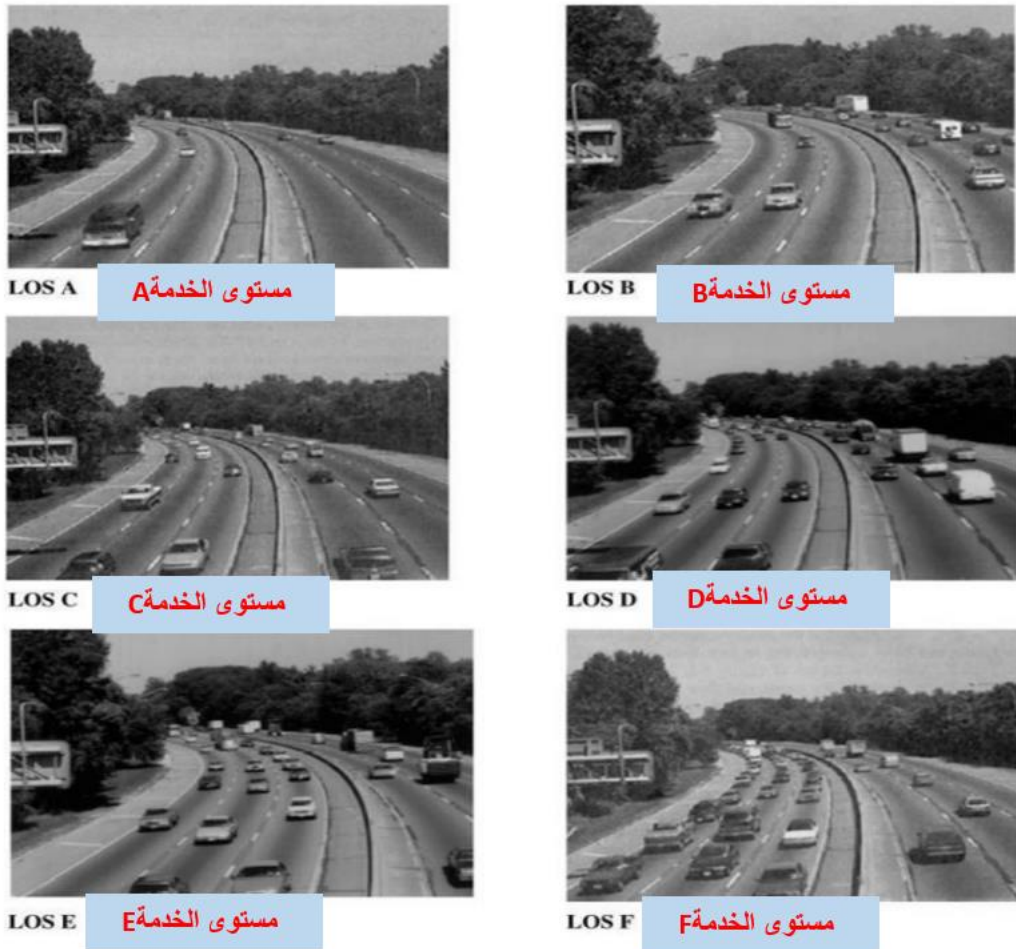


Fig. 1 Level of Service for Freeway.

LOS Estimation: Freeways

حساب مستوى الخدمة للطرق الحرة السريعة باستخدام الرسم كما موضح في الشكل رقم ٢

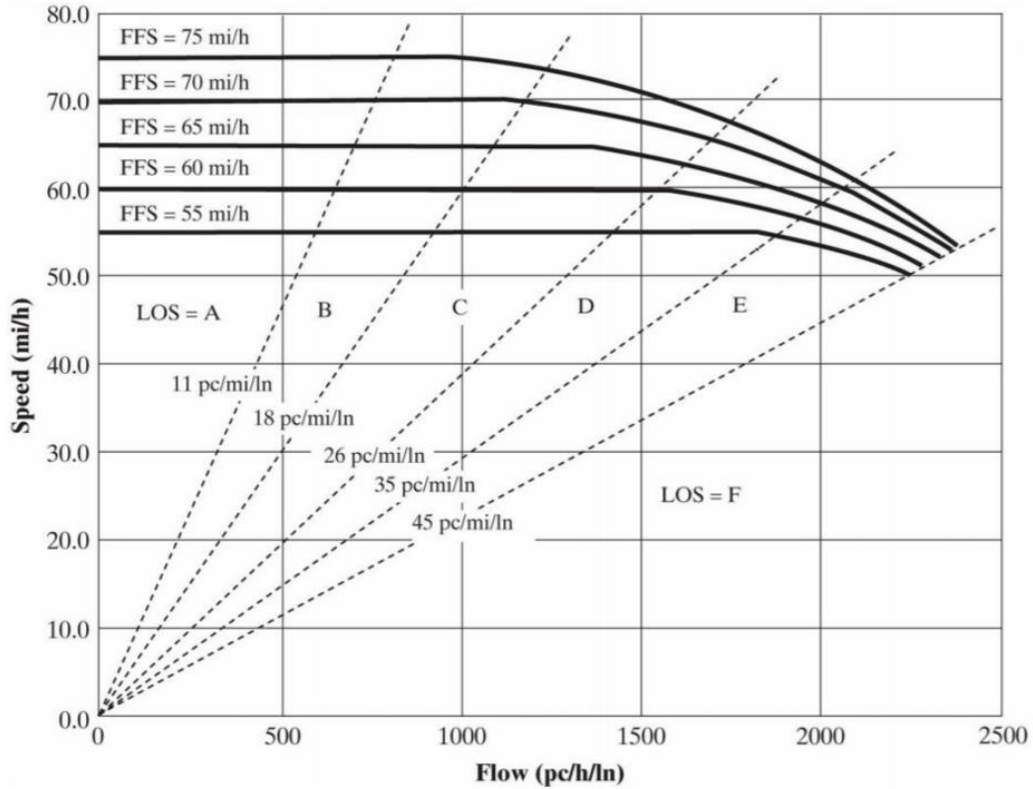


Fig. 2 Speed-Flow Relationships for Freeway.

Equations for LOS Estimation-Freeways

حساب مستوى الخدمة للطرق الحرة السريعة
باستخدام المعادلات

FFS (mi/h)	Break-Point (pc/h/ln)	Flow Rate Range $\geq 0 \leq \text{Break-Point}$	$> \text{Break-Point} \leq \text{Capacity}$
75	1,000	75	$75 - 0.00001107 (v_p - 1,000)^2$
70	1,200	70	$70 - 0.00001160 (v_p - 1,200)^2$
65	1,400	65	$65 - 0.00001418 (v_p - 1,400)^2$
60	1,600	60	$60 - 0.00001816 (v_p - 1,600)^2$
55	1,800	55	$55 - 0.00002469 (v_p - 1,800)^2$

Notes:

1. FFS = free-flow speed.

2. Maximum flow rate for the equations is capacity: 2,400 pc/h/ln for 70- and 75-mph FFS; 2,350 pc/h/ln for 65-mph FFS; 2,300 pc/h/ln for 60-mph FFS; and 2,250 pc/h/ln for 55-mph FFS.

LOS Estimation: Multilane Highways

حساب مستوى الخدمة للطرق الحرة السريعة متعددة الممرات
 باستخدام الرسم كما موضح في الشكل رقم ٣

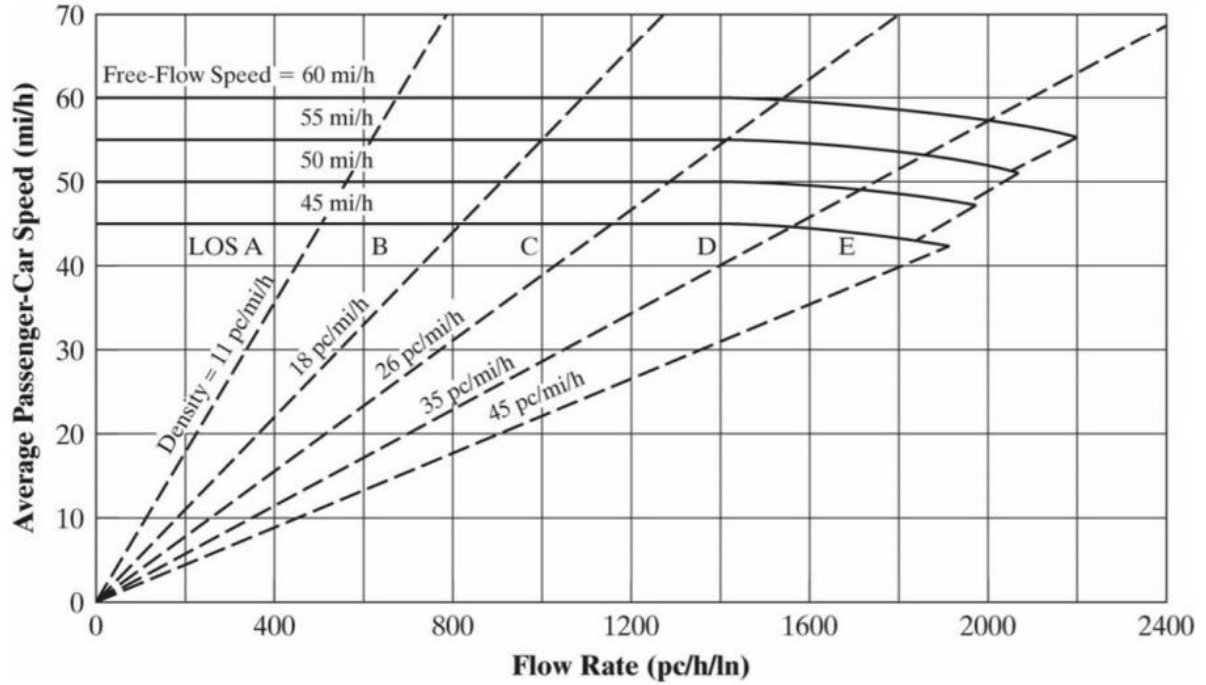


Fig. 3 Speed-Flow Relationships for Multilane highways.

Equations for LOS Estimation: Multilane Highways

حساب مستوى الخدمة للطرق الحرة السريعة متعددة الممرات
 باستخدام المعادلات

FFS (mi/h)	For $v \leq 1,400$ pc/h/ln S (mi/h)	For $v > 1,400$ pc/h/ln S (mi/h)
60	$S = 60$	$S = 60 - \left[5.00 \left(\frac{v_p - 1,400}{800} \right)^{1.31} \right]$
55	$S = 55$	$S = 55 - \left[3.78 \left(\frac{v_p - 1,400}{700} \right)^{1.31} \right]$
50	$S = 50$	$S = 50 - \left[3.49 \left(\frac{v_p - 1,400}{600} \right)^{1.31} \right]$
45	$S = 45$	$S = 45 - \left[2.78 \left(\frac{v_p - 1,400}{500} \right)^{1.31} \right]$

LOS Criteria معايير مستوى الخدمة كما موضح في الجدول رقم ١

Table 1. Level of Service for Basic Freeway and Multilane Highways.

Level of Service	Density Range for Basic Freeway Sections (pc/mi/ln)	Density Range for Multilane Highways (pc/mi/ln)
A	$\geq 0 \leq 11$	$\geq 0 \leq 11$
B	$> 11 \leq 18$	$> 11 \leq 18$
C	$> 18 \leq 26$	$> 18 \leq 26$
D	$> 26 \leq 35$	$> 26 \leq 35$
E	$> 35 \leq 45$	$> 35 \leq (40-45)$ depending on FFS
F	Demand Exceeds Capacity > 45	Demand Exceeds Capacity $> (40-45)$ depending on FFS

Table 2. Maximum Service Flow Rate: Basic Freeway Sections الحد الأقصى لمعدل التدفق الخدمي: المقطع الأساسي للطرق الحرة السريعة

FFS (mi/h)	Level of Service				
	A	B	C	D	E
75	820	1,310	1,750	2,110	2,400
70	770	1,250	1,690	2,080	2,400
65	710	1,170	1,630	2,030	2,350
60	660	1,080	1,560	2,010	2,300
55	600	990	1,430	1,900	2,250

Note: All values rounded to the nearest 10 pc/h/ln.

Table 3. Maximum Service Flow Rate: Multilane Highways الحد الأقصى لمعدل التدفق الخدمي: الطرق السريعة متعددة الممرات

FFS (mi/h)	Level of Service				
	A	B	C	D	E
60	660	1,080	1,550	1,980	2,200
55	600	990	1,430	1,850	2,100
50	550	900	1,300	1,710	2,000
45	490	810	1,170	1,550	1,900

Note: All values rounded to the nearest 10 pc/h/ln.

العوامل التي تؤثر على مستوى الخدمة Factors Influencing LOS

- ❖ Volume الحجم المروري
- ❖ Lane width عرض الممر
- ❖ Lateral obstructions العوائق الجانبية
- ❖ Traffic composition مكونات المرور
- ❖ Grade الميل
- ❖ Speed السرعة

أنواع التحليل Types of Analysis

- ❖ Operational Analysis التحليل التشغيلي
- ❖ Service Flow Rate and Service Volume Analysis تحليل معدل التدفق الخدمي والحجم الخدمي
- ❖ Design Analysis التحليل التصميمي

التحليل التشغيلي Operational Analysis

يتم حساب معدل التدفق حسب المعادلة رقم ٢ Flow Rate:

$$V_p = \frac{V}{PHF * N * f_{HV} * f_p} \quad [2]$$

Where:

V_p = 15-minute passenger-car equivalent flow rate (pc/h/ln)
معدل التدفق المكافئ لـ ١٥ دقيقة بوحدات مركبة صغيرة/ساعة/ممر

V = hourly volume in the given direction of flow (vph)
الحجم خلال ساعة لإتجاه معين للتدفق بوحدات (مركبة/ساعة)

PHF = peak-hour factor معامل ساعة الذروة

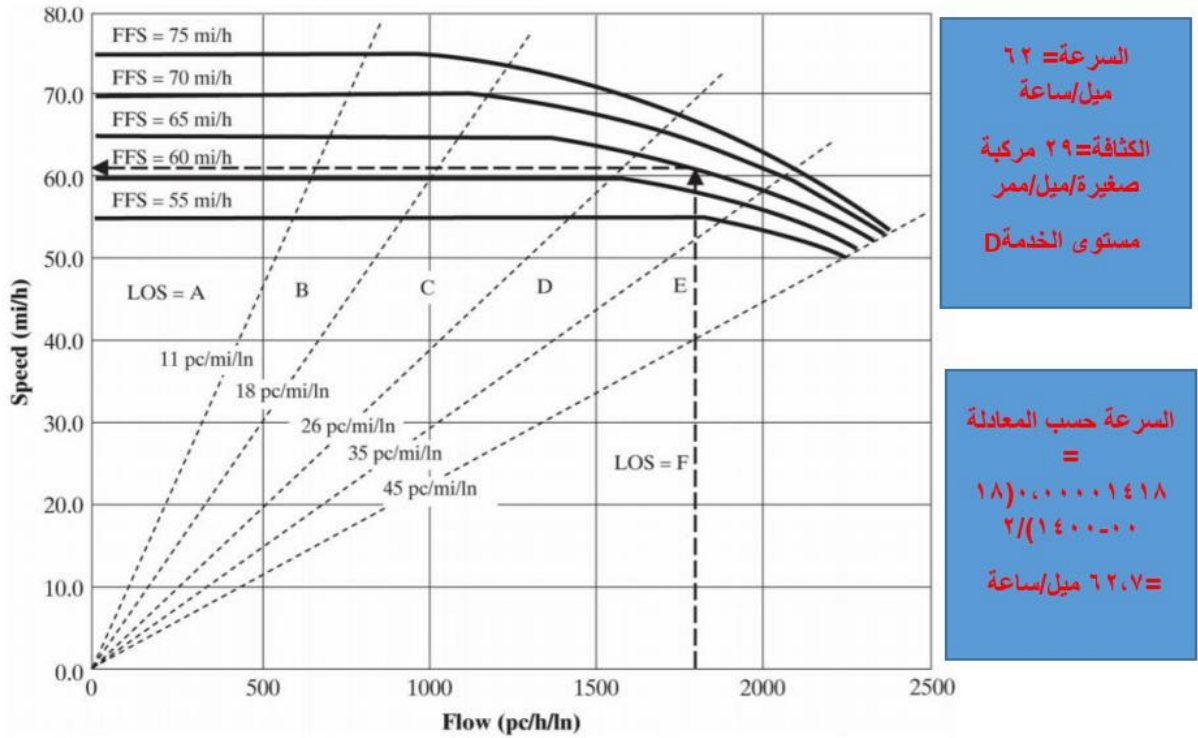
N = number of lanes in the given direction of flow عدد الممرات في الإتجاه المعني للتدفق

f_{HV} = an adjustment factor for the presence of “heavy” vehicles معامل المكافئ لوجود المركبات الثقيلة

f_p = an adjustment factor to account for the fact that all drivers of the facility may not be commuters or regular users. Basis for analysis is peak 15 min flow rate.

معامل مكافئ لحساب تأثير مستخدمي الطريق بصورة متكررة أو منتظمة.
الأساس في التحليل هو ١٥ دقيقة القصوى للتدفق

Example: Graphical Solution مثال: تحليل باستخدام الرسوم البيانية



Service Flow Rate and Service Volume Analysis تحليل معدل التدفق الخدمي والحجم الخدمي

$$SV_i = MSF_i * PHF * N * f_{HV} * f_p \quad [3]$$

Where:

SV_i = service volume over a full peak hour for LOS “i”, veh/h

الحجم الخدمي خلال ساعة الذروة الكلية لمستوى خدمة معين

MSF_i = maximum service flow rate for level of service “i”, pc/h/ln

أقصى معدل تدفق خدمي لمستوى خدمة معين بوحدات مركبات صغيرة/ساعة/ممر

Design Analysis التحليل التصميمي

$$N_i = \frac{DDHV}{MSF_i * PHF * f_p * f_{HV}} \quad [4]$$

Where:

N_i = number of lanes required (in one direction) to provide LOS “i”

عدد الممرات المطلوبة في اتجاه واحد لتعطي مستوى خدمة

DDHV = directional design hour volume, veh/h

الحجم المروري التصميمي الإتجاهي بوحدات مركبة/ساعة

Basic Freeway Segment Characteristics خصائص المقطع الأساسي للطريق الحر السريع

Ideal conditions for maximum service flow rate:

- Minimum interchange spacing 2 miles
- Only passenger cars
- Lane widths ≥ 12 feet
- Lateral obstructions ≥ 6 ft from roadway edge
- Level terrain (grades $< 2\%$)
- Drivers typical of weekday (regular) traffic
- 10 or more lanes in urban areas ***removed in HCM2010

الظروف المثالية لأقصى معدل تدفق خدمي:

- ❖ الحد الأدنى لمسافة التقاطعات المتبادلة ٢ ميل
- ❖ مركبات صغيرة فقط
- ❖ عرض الممر أكبر أو مساوي ١٢ قدم
- ❖ المسافة الجانبية للعائق أكبر أو مساوي ٦ قدم
- ❖ طبيعة الأرض سطحية والميل أقل من ٢%
- ❖ مستخدمي الطريق على طول الأسبوع بصورة منتظمة
- ❖ عدد الممرات ١٠ أو أكثر في المناطق الحضرية (تم حذفها في دليل السعة الأمريكي ٢٠١٠)

Free Flow Speed: Basic Freeway Segments التدفق الحر-السرعة الحرة: مقطع أساسي للطريق الحر

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84} \quad [5]$$

Where:

FFS = estimated free flow speed in mph. *HCM2010 سرعة التدفق الحر بوحدات ميل/ساعة

BFFS = estimated base free flow speed in mph (75 mph for rural freeways, 70 mph for urban based on HCM recommendations). سرعة التدفق الحر الأساسية (٧٥ ميل/ساعة للطرق الريفية، ٧٠ ميل/ساعة للطرق الحضرية).

f_{LW} = adjustment for lane width (if less than 12 ft), mph. مكافئ لعرض الممر أقل من (١٢ قدم) ، بوحدات مكافئ ميل/ساعة

f_{LC} = adjustment for right side lateral clearance (if less than 6 ft), mph.

مكافئ لمسافة الجانبية من جهة اليمين، أقل من ٦ قدم ، بوحدات مكافئ ميل/ساعة

TRD = total ramp density (ramps/mile). إجمالي كثافة المنحدرات (منحدر/ميل)

Table 4. Adjustment for Lane Width: Freeway مكافئ لعرض الممر

Lane Width (ft)	Reduction in Free-Flow Speed, f_{LW} (mi/h) الإنخفاض في سرعة التدفق الحر بسبب عرض الممر
≥ 12	0.0
11	1.9
10	6.6

Table 5. Adjustment for Lateral Clearance: Freeway مكافئ المسافة الجانبية للعائق

Right Shoulder Lateral Clearance (ft)	Reduction in Free-Flow Speed, f_{LC} (mi/h) الإنخفاض في سرعة التدفق الحر بسبب المسافة الجانبية			
	Lanes in One Direction			
	2	3	4	≥ 5
≥ 6	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2	0.1
4	1.2	0.8	0.4	0.2
3	1.8	1.2	0.6	0.3
2	2.4	1.6	0.8	0.4
1	2.0	2.0	1.0	0.5
0	3.6	2.4	1.2	0.6

Total Ramp Density إجمالي كثافة المنحدرات

- Total number of on-ramps and off-ramps within ± 3 miles of the mid-point of the study segment divided by 6 miles.
إجمالي منحدرات الإدماج والابتعاد ضمن ± 3 ميل من منتصف مقطع الدراسة مقسوم على 6 ميل
- Ramp density is a surrogate measure that relates to the intensity of land use activity in the vicinity of study segment.
إن كثافة المنحدرات هو مقياس بديل يربط علاقة الكثافة مع إستعمالات الأرض في المنطقة المجاورة لمنطقة الدراسة

Multilane Highway Characteristics خصائص الطرق متعددة الممرات

Ideal conditions for maximum service flow rate:

- Lane widths ≥ 12 feet
- Total lateral clearance ≥ 12 feet
- Divided highway
- No access points
- Only passenger cars in the traffic stream
- Regular roadway users

الظروف القياسية لأقصى معدل تدفق خدمي:

- عرض الممر أكبر أو مساوي ١٢ قدم
- إجمالي المسافة الجانبية أكبر أو مساوي ١٢ قدم
- طريق مفصول الحركة في الاتجاهين
- لا يوجد مناطق خروج أو دخول
- التدفق المروري للمركبات الصغيرة فقط
- مستخدمي الطرق بصورة منتظمة

Free Flow Speed: Multilane Highways سرعة التدفق الحر: طرق سريعة متعددة الممرات

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Where:

FFS = estimated free flow speed in mph. سرعة التدفق الحر بوحدات ميل/ساعة

BFFS = estimated base free flow speed in mph (60) mph for rural or suburban based on HCM recommendations). سرعة التدفق الحرة الأساسية بوحدات ميل/ساعة ٦٠ ميل/ساعة للطرق الريفية والضواحي اعتماداً على توصيات دليل السعة الأمريكي

f_{LW} = adjustment for lane width (if less than 12 ft), mph.

معامل مكافئ لعرض الممر إذا كان أقل من ١٢ قدم ، ميل/ساعة

f_{LC} = adjustment for total lateral clearance (if less than 12 ft), mph.

معامل مكافئ للمسافة الجانبية إذا كان أقل من ١٢ قدم ، ميل/ساعة

f_M = adjustment for median type, mph. معامل مكافئ لنوع الجزر الوسطية ، ميل/ساعة

f_A = adjustment for access-point density, mph. معامل مكافئ لكثافة نقاط الدخول والخروج ، ميل/ساعة

Table 6. Adjustment for Median Type: Multilane Highways معامل مكافئ لنوع الجزر الوسطية في الطرق السريعة متعددة الممرات

Median Type	Reduction in Free-Flow Speed, f_M (mi/h) الانخفاض في سرعة التدفق الحر
Undivided	1.6
TWLTLS	0.0
Divided	0.0

Table 7. Adjustment for Lateral Clearance: Multilane Highways معامـل مكافئ للمسافة الجانبية في الطرق السريعة متعددة الممرات

4-Lane Multilane Highways		6-Lane Multilane Highways	
Total Lateral Clearance (ft)	Reduction in Free-Flow Speed, f_{LC} (mi/h)	Total Lateral Clearance (ft)	Reduction in Free-Flow Speed, f_{LC} (mi/h)
≥ 12	0.0	≥ 12	0.0
10	0.4	10	0.4
8	0.9	8	0.9
6	1.3	6	1.3
4	1.8	4	1.7
2	3.6	2	2.8
0	5.4	0	3.9

Adjustment for Lane Width: Multilane Highways معامـل مكافئ لعرض الممر في الطرق السريعة متعددة الممرات

Base condition ($f_{LW} = 0$)

- Average width of 12 ft or wider across all lanes (same as freeway)

- الظرف الأساسي مكافئ عرض الممر = صفر
- معدل عرض الممر ١٢ قدم أو أكبر على طول كل الممرات (كما في الطريق الحر السريع)

Table 8. Lane Width Adjustment Factor. معامـل مكافئ عرض الممر

Lane Width (ft)	Reduction in Free-Flow Speed, f_{LW} (mi/h) الإنخفاض في سرعة التدفق الحر
≥ 12	0.0
11	1.9
10	6.6

Table 9. Adjustment for Access Point Density: Multilane Highways معامـل مكافئ لنقاط الدخول والخروج في الطرق السريعة متعددة الممرات

Access Density (access Points/mi)	Reduction in Free-Flow Speed, f_A (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
≥ 40	10.0

Heavy Vehicle Effects تأثير المركبات الثقيلة

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_T - 1)} \quad [6]$$

Where:

P_T, P_R = proportion of trucks and buses, and RV's نسبة المركبات الثقيلة والحافلات والسياحية
 E_T, E_T = PCEs for trucks and buses, and RV s معامل مكافئ المركبات الثقيلة والحافلات والسياحية

Analysis is based on general extended freeway segment

- Level: heavy vehicles maintain same speed as pc (grade <2%)
- Rolling: HV travel at speeds lower than pc.
- Mountainous: HV operate at crawl speed for significant distances.

التحليل يعتمد على إمتداد مقطع الطريق الحر السريع:

- مستوي: مركبات ثقيلة تحافظ على السرعة كالمركبات الصغيرة (بميل أقل من ٢%)
- متموج: المركبات الثقيلة تسير أقل من المركبات الصغيرة
- جبلي: المركبات الثقيلة تسير بسرعة بطيئة لمسافة معينة

When conditions are very severe, we will instead base on grade and length of grade.

Restriction for use: No grade < 3% for longer ½ mile

No grade ≥ 3% for longer ¼ mile

عندما تكون الظروف سيئة جدا "سنعتمد بدلا" من ذلك على الميل وطول المقطع:

المحددات للاستخدام:

- لا يوجد ميل أقل من ٣% لمسافة ½ ميل
- لا يوجد ميل أكبر أو مساوي ٣% لمسافة ¼ ميل

Table 10. Passenger-Car Equivalents for Trucks and Buses (E_T) on Upgrades, Multilane Highways, and Basic Freeway Sections

Upgrade (%)	Length (mi)	E_T								
		Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\geq 2-3$	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.75–1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.00–1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3–4	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.75–1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.00–1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 1.50	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4–5	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.50–0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.75–1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5–6	> 0.00–0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.30–0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.50–0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 0.75–1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	> 0.00–0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.25–0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.30–0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.50–0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 0.75–1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Table 11 Passenger-Car Equivalents for RVs (E_R) on Uniform Upgrades, Multilane Highways, and Basic Freeway Segments.

Grade (%)	Length (mi)	E_R								
		Percentage of RVs								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤ 2	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
$> 2-3$	$> 0.00-0.50$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.50	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
$> 3-4$	$> 0.00-0.25$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	$> 0.25-0.50$	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
$> 4-5$	$> 0.00-0.25$	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	$> 0.25-0.50$	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.50	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	$> 0.00-0.25$	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	$> 0.25-0.50$	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
	> 0.50	6.0	4.5	4.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

Table 12. Passenger-Car Equivalents for Trucks and Buses (E_T) on Downgrade, Multilane Highways, and Basic Freeway Sections

مكافئ المركبات الثقيلة والحافلات في الميل المنحدر

Downgrade (%)	Length (mi)	E_T			
		Percentage Trucks and Buses (%)			
		5	10	15	≥ 20
< 4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
$\geq 4-5$	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 4	2.0	2.0	2.0	1.5
$> 5-6$	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 4	7.5	6.0	5.5	4.5

EXAMPLE PROBLEM 1:

A segment of freeway consists of two consecutive upgrades of 3%, 2000 ft long, and 2%, 1500 ft long. Determine the PCE of trucks/buses and recreational vehicles on this composite upgrade if 6% of the vehicles are trucks and buses and 10% are recreational vehicles.

Solution:

The average grade technique can be used since subsection grades are less than 4% and the total length is less than 4000 ft.

Total rise = $(0.03 \times 2000) + (0.02 \times 1500) = 90$ ft

Average grade = $90 / (2000 + 1500) = 0.026$, or 2.6%

Total length = $3500 / 5280 = 0.66$ mile

Enter Table 1, with 2 to 3% grade and length one-half to three-quarter mile, and obtain E_T for trucks/buses of 1.5.

Table 1. Passenger-Car Equivalents for Trucks and Buses (E_T) on Upgrades, Multilane Highways, and Basic Freeway Sections.

Upgrade (%)	Length (mi)	E_T								
		Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\geq 2-3$	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.75–1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.00–1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3–4	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.75–1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.00–1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 1.50	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4–5	> 0.00–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.50–0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.75–1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.50	6.0	5.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5–6	> 0.00–0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.30–0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.50–0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 0.75–1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	> 0.00–0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.25–0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.30–0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.50–0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 0.75–1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Enter Table 2, with 2 to 3% grade and length greater than one-half mi, and obtain $E_R = 1.5$.

Table 2 Passenger-Car Equivalents for RVs (E_R) on Uniform Upgrades, Multilane Highways, and Basic Freeway Segments.

Grade (%)	Length (mi)	E_R								
		Percentage of RVs								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤ 2	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
> 2–3	> 0.00–0.50	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.50	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
> 3–4	> 0.00–0.25	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.25–0.50	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
> 4–5	> 0.00–0.25	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.50	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	> 0.00–0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	> 0.25–0.50	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
	> 0.50	6.0	4.5	4.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

EXAMPLE PROBLEM 2: Computation of PCE for a Consecutive Upgrade Using Performance Curves.

A consecutive upgrade consists of two sections, the first of 2% grade and 5000 ft long, and the second of 6% grade and 5000 ft long. Trucks comprise 10% of traffic, and recreational vehicles comprise 6%. Determine:

- The equivalent grade and
- The PCEs.

The entry speed is 55 mile/hr.

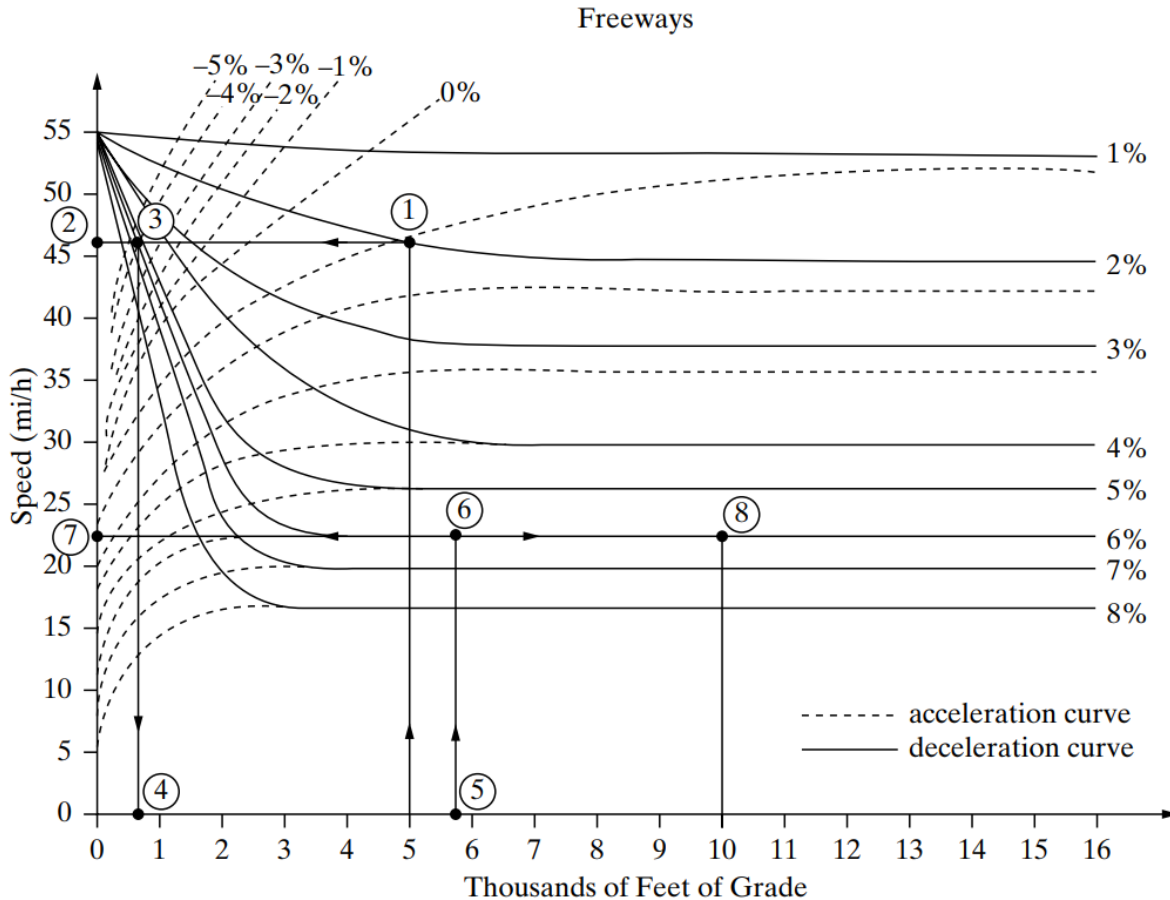


Figure 1 Performance Curve Solution for Example 2.

Solution:

- (a) Since the lengths of both grades exceed 4000 ft, the average grade technique does not apply. Instead, the performance curve for standard trucks must be used, as illustrated in Figure 1.
 1. Find the point on the 2% curve that intersects with length= 5000 ft. In this case (point 1), that point signifies that the speed of a truck at the end of the first grade (point 2) is 47 mi/h.
 2. Since 47 mi/h is also the speed of the truck at the beginning of the 6% grade, draw a line horizontally, at 47 mi/h, which intersects the 6% grade curve (point 3). The reference distance is located on the horizontal axis (point 4).
 3. Find the point on the horizontal axis that has a value 5000 ft greater than that at point 4. This point (point 5) represents the distance traveled by truck on a 6% grade whose initial speed is 47 mi/h. The final speed for this truck is found to be 23 mi/h (point 7), which is also the crawl speed since the 6% curve is horizontal at that point.
 4. Finally, determine the intersection of the lines LCG = 10,000 ft and VEG = 23 mi/h (point 8). Since this point lies on the 6% grade curve, the equivalent grade, GE, is 6%.

b) PCEs for typical trucks on specific freeway upgrades:

$$LCG = 10,000/5280 = 1.89 \text{ mi}$$

$$G_E = 6 \%$$

$$E_T = 3.5 \text{ (From Table 1)}$$

$$E_R = 3.5 \text{ (From Table 2)}$$

Note: If the average grade technique had been (incorrectly) used, G_A would have been calculated as $(100 + 300)/10,000$, or 4%, resulting in values for E_T of 3.0 and E_R of 2.0, both lower than the correct values of 3.5 and 4.5.

EXAMPLE PROBLEM 3 Using Adjustment Factors to Calculate Free-Flow Speed

Determine the free-flow speed of an urban freeway section, if the BFFS = 70 mi/h. The data are as follows.

Number of lanes = 3 (one direction)

Lane width = 11 ft

Lateral clearance = 3 ft (right side)

Interchange density = 1.5 per mile

Solution:

Step 1. Determine the correction factors using the appropriate table.

BFFS = base free-flow speed, 70 mi/h

f_{LW} = adjustment for lane width, 1.9 mi/h (Table 3)

f_{LC} = adjustment for right-shoulder lateral clearance, 1.2 mi/h (Table 4)

f_N = adjustment for a number of lanes, 3.0 mi/h (Table 5)

f_{ID} = adjustment for interchange density, 5.0 mi/h (Table 6)

Step 2. Substitute adjustment values into Equation:

$$\begin{aligned} \text{FFS} &= \text{BFFS} \times f_{LW} \times f_{LC} \times f_N \times f_{ID} \\ &= 70 - 1.9 - 1.2 - 3.0 - 5.0 = 58.9 \text{ mi/hr} \end{aligned}$$

Table 3 Adjustment (f_{LW}) for Lane Width.

<i>Lane Width (ft)</i>	<i>Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h)</i>
12	0.0
11	1.9
10	6.6

Table 4 Adjustment (f_{LC}) for Right-Shoulder Lateral Clearance.

<i>Right-Shoulder Lateral Clearance (ft)</i>	<i>Reduction in Free-Flow Speed, f_{LC} (mi/h)</i>			
	<i>Lanes in One Direction</i>			
	2	3	4	≥ 5
≥ 6	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2	0.1
4	1.2	0.8	0.4	0.2
3	1.8	1.2	0.6	0.3
2	2.4	1.6	0.8	0.4
1	3.0	2.0	1.0	0.5
0	3.6	2.4	1.2	0.6

Table 5 Adjustment (f_N) for Number of Lanes.

<i>Number of Lanes (One Direction)</i>	<i>Reduction in Free-Flow Speed, f_N (mi/h)</i>
≥ 5	0.0
4	1.5
3	3.0
2	4.5

Table 6 Adjustment (f_{ID}) for Interchange Density.

<i>Interchanges per Mile</i>	<i>Reduction in Free- Flow Speed f_{ID} (mi/h)</i>
≤ 0.50	0.0
0.75	1.3
1.00	2.5
1.25	3.7
1.50	5.0
1.75	6.3
2.00	7.5

EXAMPLE PROBLEM 4 Computation of Speed, Density, and Service Level for an Extended Freeway Section.

Determine the LOS on a regular weekday on a 0.40-mi section of a six-lane freeway with a grade of 2%, using the following data:

- Hourly volume, $V = 3000$ veh/h
- PHF = 0.85
- Traffic Composition: Trucks = 12%
- RVs = 2%
- Lane width = 11 ft Terrain
- Level
- Base free-flow speed = 70 mi/h
- Shoulder width = 6 ft
- Interchange spacing = 1 mi
- Driver population adjustment factor $f_p = 1.0$

Solution:

Step 1. Compute heavy vehicle factor using Equation.

Determine the correction factors for extended general freeway segments (section is less than 3% grade and less than 1/2 mi long).

PCEs

$E_T = 1.5$ from Table 1

$E_R = 1.2$ from Table 2

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \\ &= \frac{1}{1 + 0.12(1.5 - 1) + 0.02(1.2 - 1)} \\ &= 0.94 \end{aligned}$$

Note: Since there are five times as many trucks and buses as RVs, this problem could have been solved assuming 14% are trucks, with the same result for f_{HV} .

Step 2. Use the Equation to determine the peak 15-minute passenger-car equivalent flow rate.

$$\begin{aligned} v_p &= \frac{V}{PHF \times N \times f_p \times f_{HV}} \\ &= \frac{3000}{0.85 \times 3 \times 0.94 \times 1.00} \\ &= 1251 \text{ pc/hr/ln} \end{aligned}$$

Step 3. Compute the free-flow speed and density.

$$\begin{aligned} \text{FFS} &= \text{BFFS} - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \\ &= 70 = 1.9 - 0 - 3.0 - 2.5 \\ &= 62.6 \text{ mile/hr} \end{aligned}$$

$$D = V / S = 1251 / 62.6 = 19.98 \text{ pc/mi/ln}$$

Step 4. Use Figure 1 or Table 7 to determine the level of service.

LOS = C (Since 20 lies between 18 and 26 pc/mi/ln).

Table 7. Level-of-Service Criteria for Basic Freeway Segments.

<i>Criteria</i>	<i>LOS</i>				
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>FFS = 75 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Maximum speed (mi/h)	75.0	74.8	70.6	62.2	53.3
Maximum v/c	0.34	0.56	0.76	0.90	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	820	1350	1830	2170	2400
<i>FFS = 70 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Maximum speed (mi/h)	70.0	70.0	68.2	61.5	53.3
Maximum v/c	0.32	0.53	0.74	0.90	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	770	1260	1770	2150	2400
<i>FFS = 65 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Maximum speed (mi/h)	65.0	65.0	64.6	59.7	52.2
Maximum v/c	0.30	0.50	0.71	0.89	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	710	1170	1680	2090	2350
<i>FFS = 60 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Maximum speed (mi/h)	60.0	60.0	60.0	57.6	51.1
Maximum v/c	0.29	0.47	0.68	0.88	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	660	1080	1560	2020	2300
<i>FFS = 55 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Maximum speed (mi/h)	55.0	55.0	55.0	54.7	50.0
Maximum v/c	0.27	0.44	0.64	0.85	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	600	990	1430	1910	2250

EXAMPLE PROBLEM 5 Required Number of Lanes for a Given Level of Service.

Determine the number of lanes required for a freeway section 0.35-mi long and a 4.5% grade, if the section is to operate at LOS C. The following design features apply to this section:

- $V = 3000$ veh/h (weekly commuter traffic)
- $PHF = 0.95$
- Trucks and Buses = 10%
- $RVs = 2\%$

- Base Free Flow Speed (BFFS) = 70 mi/h
- Lane width = 12 ft
- Lateral obstruction = none
- Interchange spacing = 3 miles (no interchanges within the section)

Solution:

Step 1. Determine PCE equivalents

$$E_T = 2.0 \text{ (Table 1)}$$

$$E_R = 4.0 \text{ (Table 2)}$$

Step 2. Compute heavy-vehicle adjustment factor

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \\ &= \frac{1}{1 + 0.10(2 - 1) + 0.02(4 - 1)} \\ &= 0.86 \end{aligned}$$

Step 3. Convert vehicle/hour to peak 15-minute passenger-car equivalent flow rate for two, three, and four lanes.

$$\begin{aligned} v_p &= \frac{V}{PHF \times N \times f_P \times f_{HV}} \\ &= \frac{3000}{0.95 \times 2 \times 1.00 \times 0.86} \\ &= 1834 \text{ pc/hr/ln} \end{aligned}$$

$$\text{For } N = 3 \quad v_p = 1223 \text{ pc/h/ln}$$

$$\text{For } N = 4 \quad v_p = 917 \text{ pc/h/ln}$$

Step 4. Compute free-flow speed

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

$$N=2 \quad FFS = 70 - 0 - 0 - 4.5 - 0 = 65.5 \text{ mile/hr}$$

$$N=3 \quad FFS = 70 - 0 - 0 - 3.0 - 0 = 67.0 \text{ mile/hr}$$

$$N=3 \quad FFS = 70 - 0 - 0 - 1.5 - 0 = 68.5 \text{ mile/hr}$$

Step 5. Compute speed. The following equation is used (for FFS 70 mi/h) to determine average speed (S).

$$\begin{aligned} S &= FFS - \left[\frac{1}{9} (7FFS)(65.5) - 340 \left(\frac{v_p + 30FFS - 3400}{40FFS - 1700} \right)^{2.6} \right] \\ S &= FFS - \left[\frac{1}{9} (7)(65.5) - 340 \left(\frac{1834 + 30(65.5) - 3400}{40(65.5) - 1700} \right)^{2.6} \right] = 64.0 \text{ mile/hr} \end{aligned}$$

Step 6. Compute density

$$D = \frac{v_p}{s}$$

$$N = 2 \quad D = \frac{1834}{65.5} = 28.0 \text{ pc/hr/ln}$$

$$N = 3 \quad D = \frac{1223}{67.5} = 18.3 \text{ pc/hr/ln}$$

$$N = 4 \quad D = \frac{917}{68.5} = 13.4 \text{ pc/hr/ln}$$

Step 7. Determine LOS for each lane/density combination from Table 8

N = 2 LOS = D

N = 3 LOS = C

N = 4 LOS = B

Table 8. Level-of-Service Criteria for Multilane Highways.

Free-Flow Speed	Criteria	LOS				
		A	B	C	D	E
60 mi/h	Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	40
	Average speed (mi/h)	60.0	60.0	59.4	56.7	55.0
	Maximum volume-to-capacity ratio (v/c)	0.30	0.49	0.70	0.90	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	660	1080	1550	1980	2200
55 mi/h	Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	41
	Average speed (mi/h)	55.0	55.0	54.9	52.9	51.2
	Maximum v/c	0.29	0.47	0.68	0.88	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	600	990	1430	1850	2100
50 mi/h	Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	43
	Average speed (mi/h)	50.0	50.0	50.0	48.9	47.5
	Maximum v/c	0.28	0.45	0.65	0.86	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	550	900	1300	1710	2000
45 mi/h	Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
	Average speed (mi/h)	45.0	45.0	45.0	44.4	42.2
	Maximum v/c	0.26	0.43	0.62	0.82	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	480	810	1170	1550	1900

EXAMPLE PROBLEM 6 Determining the LOS of a Multilane Highway Segment of Uniform Grade.

A 3200 ft segment of 3.25-mi four-lane undivided multilane highway in a suburban area is at a 1.5% grade. The highway is in level terrain, and lane widths are 11 ft. The measured free-flow speed is 46.0 mi/h. The peak-hour volume is 1900 veh/h, PHF is 0.90, and there are 13% trucks and 2% RVs.

Determine the LOS, speed, and density for upgrade and downgrade.

Solution:

• Compute v_p Input data:

$V = 1900$ veh/h

$PHF = 0.90$

$N = 2$

$f_p = 1.00$

$f_{HV} = 0.935$

$E_T = 1.5$, $E_R = 1.2$ (Table 9) since 1.5 percent grade is considered level terrain

$P_T = 0.13$,

$P_R = 0.02$

Table 9. Passenger-Car Equivalents for Trucks and Buses (E_T) and RVs (E_R) on General Highway Segments: Multilane Highways and Basic Freeway Sections.

Factor	Type of Terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
E_T (trucks and buses)	1.5	2.5	4.5
E_R (RVs)	1.2	2.0	4.0

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \\ &= \frac{1}{1 + 0.13(1.5 - 1) + 0.02(1.2 - 1)} \\ &= 0.935 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_p &= \frac{V}{PHF \times N \times f_p \times f_{HV}} \\ &= \frac{1900}{0.90 \times 2 \times 1.00 \times 0.935} \end{aligned}$$

$$= 1129 \text{ pc/hr/ln}$$

Compute density

$$D = \frac{v_p}{S} = \frac{1129}{46} = 24.5 \text{ pc/mile/ln}$$

LOS C (Table 8)

Compute v_p for the upgrade direction. Input data:

$$V = 1900 \text{ veh/h}$$

$$PHF = 0.90$$

$$N = 2$$

$$f_P = 1.00$$

$$f_{HV} = 0.905$$

$$E_T = 1.5, \text{ (Table 1)}$$

$$E_R = 1.2 \text{ (Table 2) since 1.5 percent grade is considered level terrain}$$

$$P_T = 0.13,$$

$$P_R = 0.02$$

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \\ &= \frac{1}{1 + 0.13(1.5 - 1) + 0.02(3.0 - 1)} \\ &= 0.905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_p &= \frac{V}{PHF \times N \times f_P \times f_{HV}} \\ &= \frac{1900}{0.90 \times 2 \times 1.00 \times 0.905} \\ &= 1166 \text{ pc/hr/ln} \end{aligned}$$

Compute density

$$D = \frac{v_p}{s} = \frac{1166}{46} = 25.3 \text{ pc/mile/ln}$$

LOS C (Table 8)