

# Közlekedési áramlatok

Ms.C.

A közúti áramlatot jellemző  
paraméterek, útszakaszok forgalom  
lebonyolódása

# A közúti áramlatok általános jellemzői

## Forgalom (közlekedés):

A pályának (P), a járműnek (J), az embernek (E) és a környezetnek (időjárás, I) a kölcsönhatása, térben-időben lezajló, sztochasztikus folyamat.

Törvények, szabályok alkalmazása és összefüggések felállítása (modellvizsgálatok és elemzések után) szükséges, hogy a közúti forgalmat jellemezni tudjuk.

Megfelelő jellemzése, aktuális állapotának bemutatása, mérhető jellemzők alkalmazását igényli.

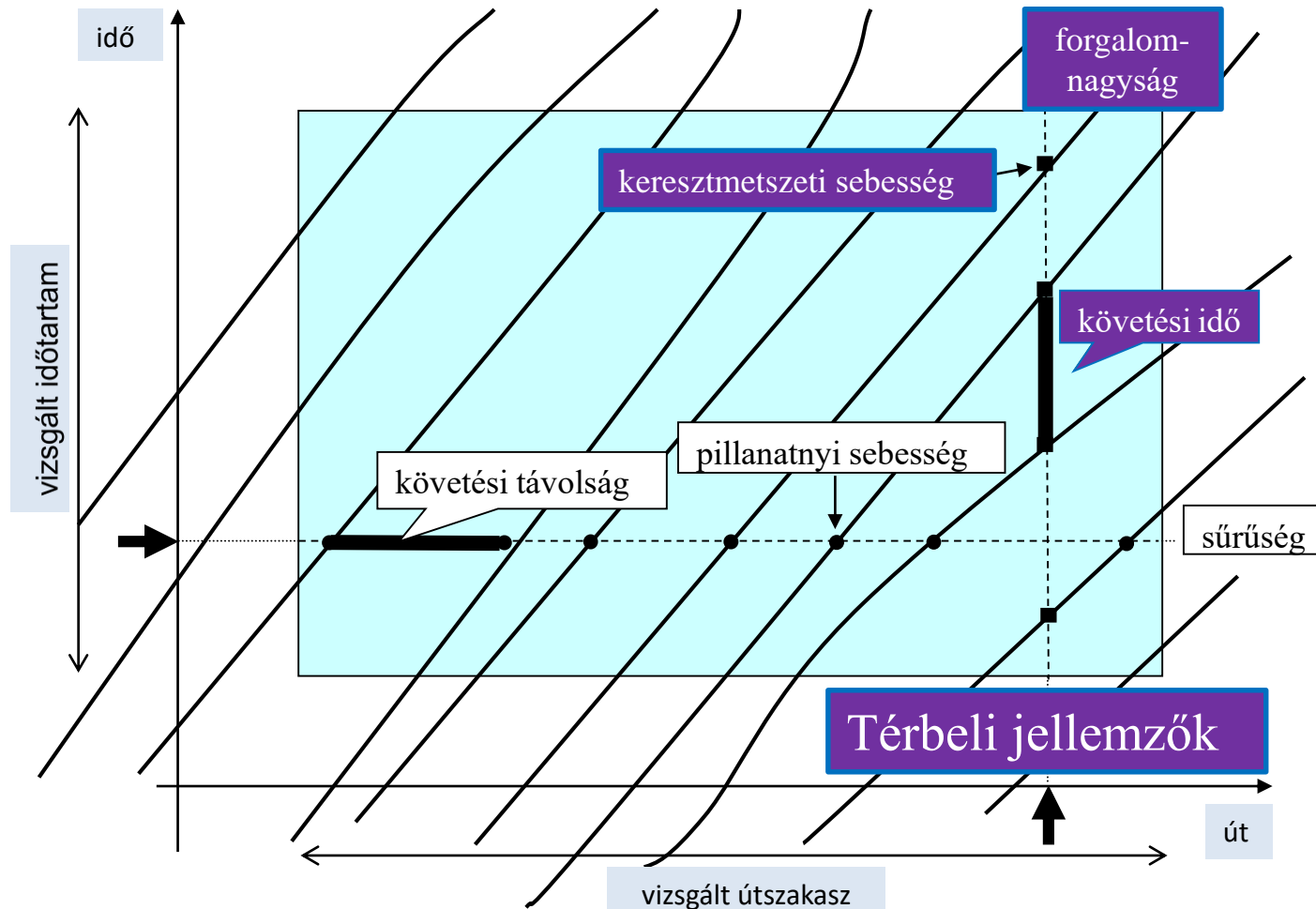
Egyes jellemzők között nincsen determinisztikus, egzakt összefüggés, mint pl.  $U = I * R$ , vagyis a feszültség egyenlő az áramerősség és az ellenállás szorzatával.

# A forgalmi áramlat térbeli, azaz keresztmetszeti jellemzői (melyek az időre vonatkoznak)

Jellemző	Meghatározás	Mértékegység
Forgalomnagyság (N)	Adott keresztmetszeten időegység alatt áthaladó járművek száma	jármű/óra jármű/nap E/óra
Követési időköz ( $t_k$ )	Adott keresztmetszetben, két egymást követő jármű orrának megjelenése között eltelt időtartam	s
Keresztmetszeti sebesség ( $v_l$ )	Adott keresztmetszeten történő áthaladáskor mérhető sebesség	km/h m/s

$$N=1/t_k$$

# A közúti áramlat jellemzői tér-idő felületen (makroszkopikus lehatárolás)

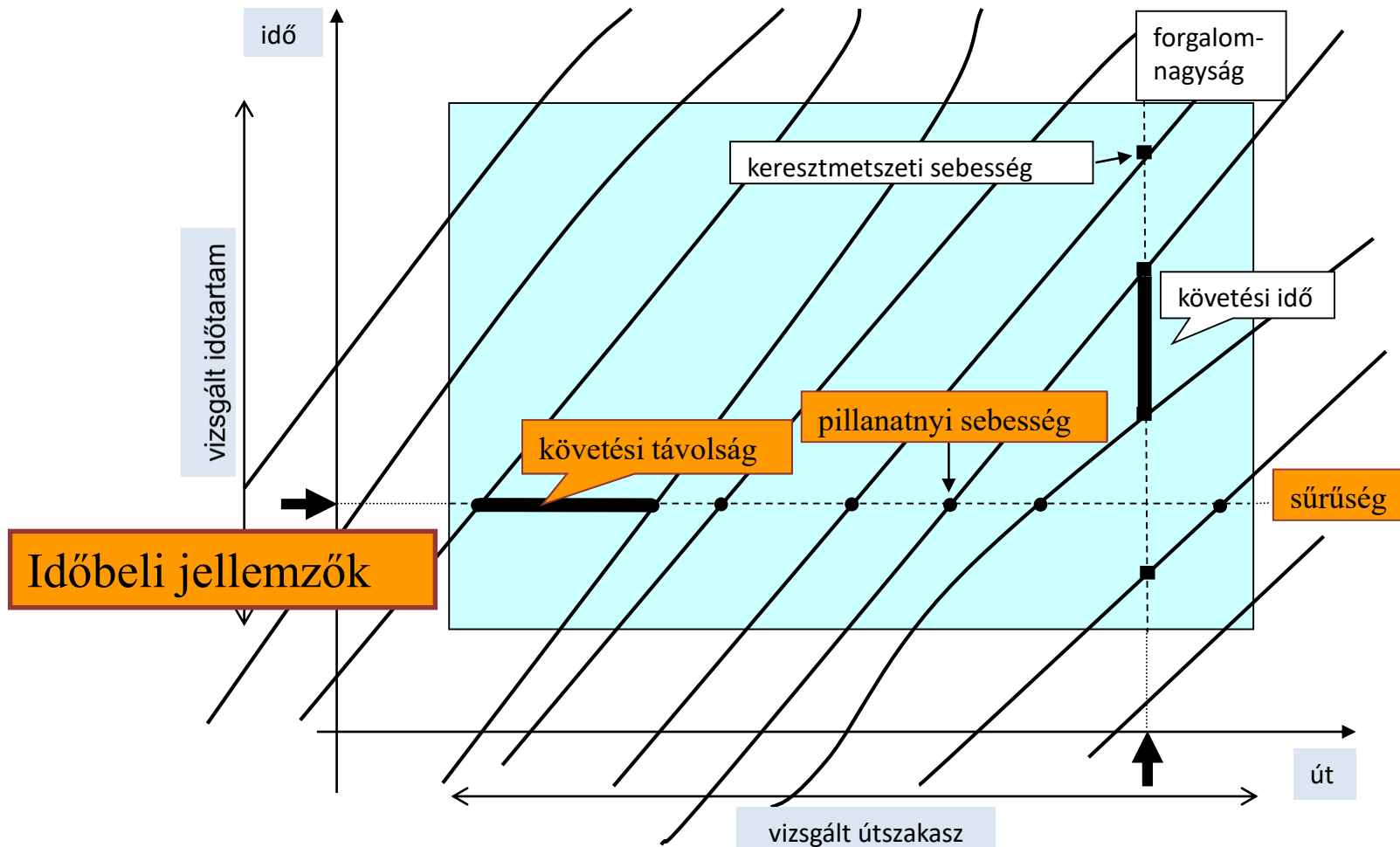


# A forgalmi áramlat időbeli jellemzői (melyek a távolságra vonatkoznak)

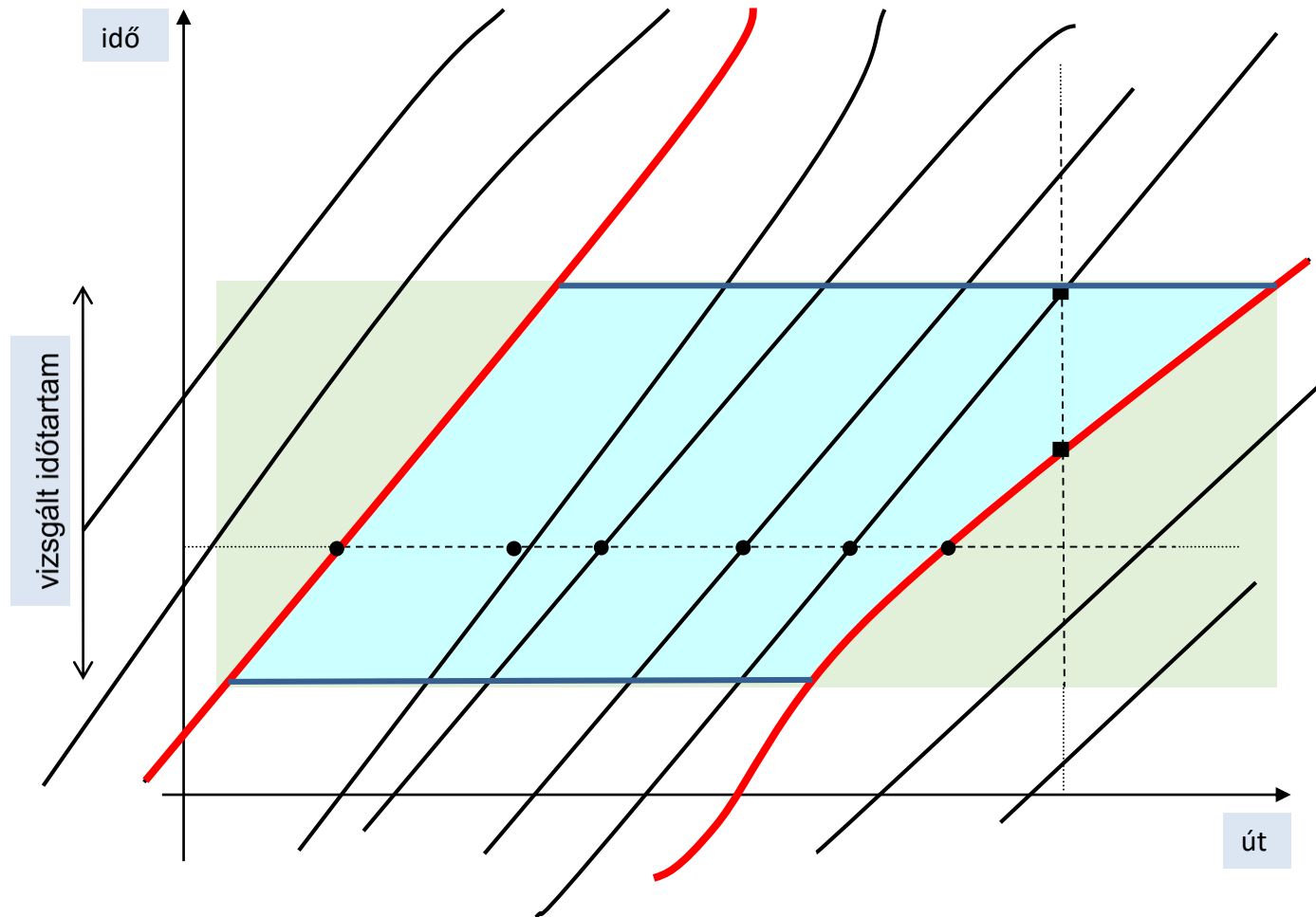
Jellemző	Meghatározás	Mértékegység
Sűrűség (S)	Adott pillanatban egységnyi úthosszon lévő járművek darabszáma (járművek száma és a nyomok össz hosszának hányadosa)	jármű/km
Követési távolság ( $l_k, l_{rk}$ )	Adott pillanatban két egymást követő jármű orra között mérhető távolság	m
Pillanatnyi sebesség ( $v_m$ )	Adott pillanatban a jármű sebessége	km/óra m/s

$$S=1/l_k$$

# A közúti áramlat jellemzői tér-idő felületen (makroszkopikus lehatárolás)



# A közúti áramlat jellemzői tér-idő felületen (mikroszkopikus lehatárolás)



# Alapösszefüggés az átlagos forgalomnagyság, sűrűség és sebesség között

Egy 1 km hosszú körpályán folyamatosan halad **4 db jármű**, rendre **30, 40, 50, illetve 60 km/h** sebességgel. A járművek előzése biztosított, a vizsgálat **1 órán keresztül** tart.

Egy kiválasztott keresztmetszeten rendre 30, 40, 50, ill. 60 alkalommal haladnak át az órában, tehát **a forgalom nagysága 180 jm/h**, a **sűrűség** pedig 4 jm/km. A **lokális (keresztmetszeti) sebességek** átlaga:

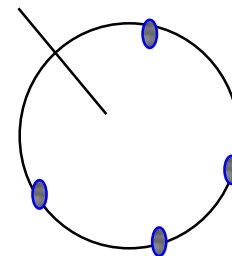
$$\bar{V}_\rho = (30 \cdot 30 + 40 \cdot 40 + 50 \cdot 50 + 60 \cdot 60) / 180 = 47,78 \text{ km/h}$$

A **momentán (pillanatnyi) sebességek** átlaga (bármelyik időpillanatban):

$$\bar{V}_m = (30 + 40 + 50 + 60) / 4 = 45 \text{ km/h}$$

A **fundamentális összefüggés**:

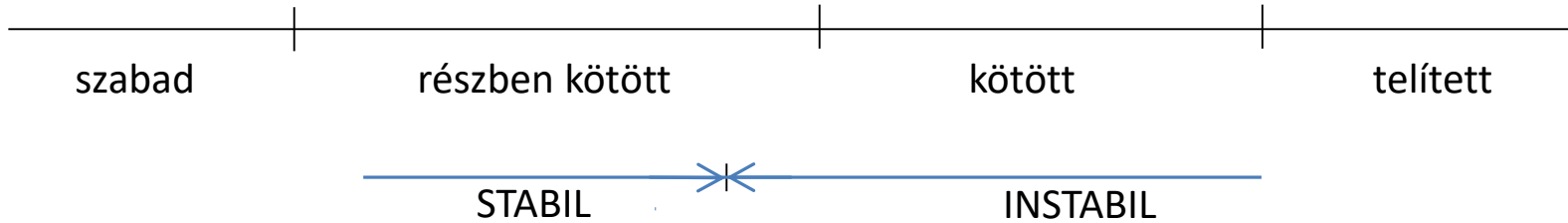
$$\bar{N} = \bar{S} * \bar{V}_m = 180 \text{ jm/h} = 4 \text{ jm/km} * 45 \text{ km/h}$$





# A közúti áramlatok modellezése

A modellek többsége a következő **osztályozáson** alapul:

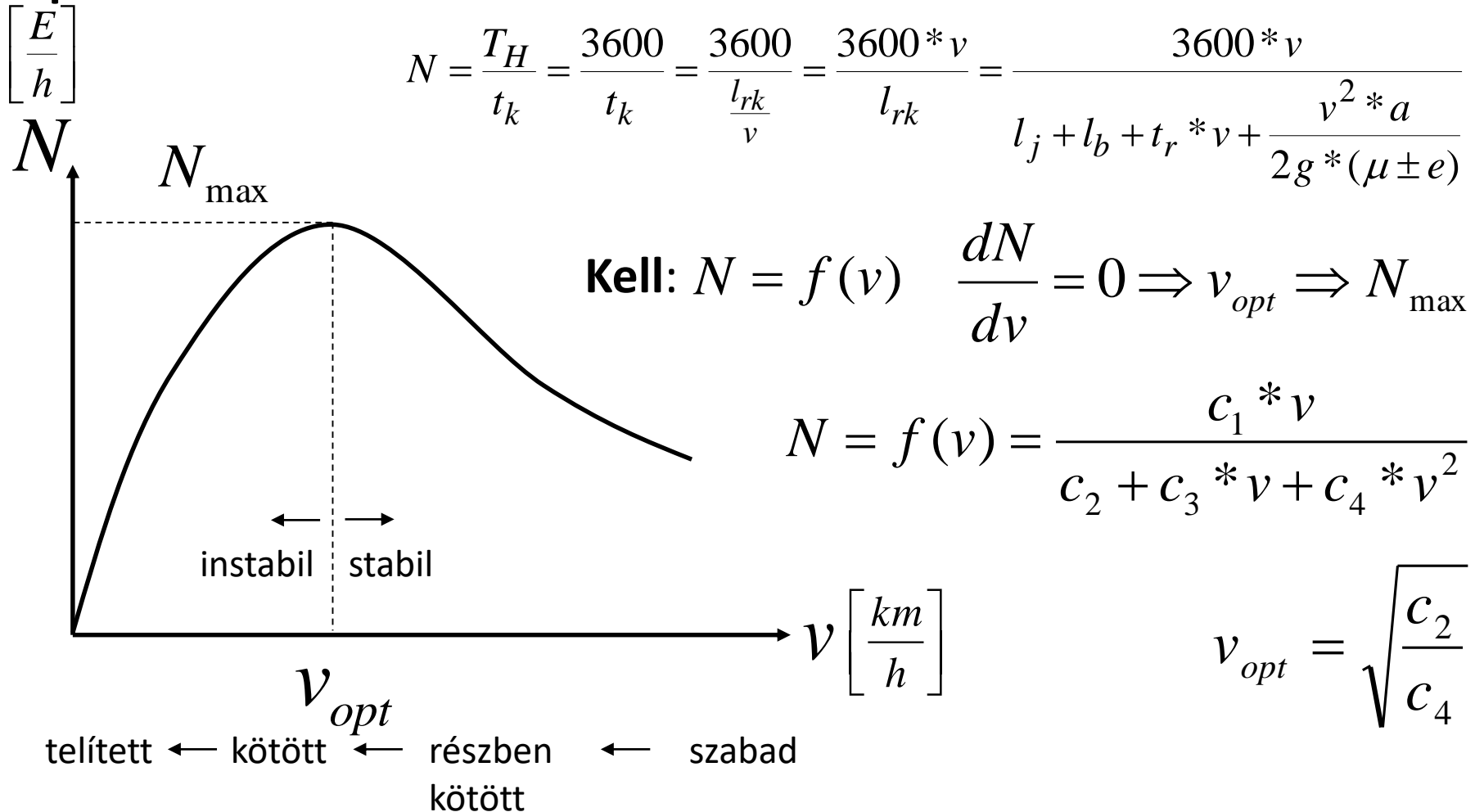


**Modell 1 célja:** a forgalom nagyságát meghatározni a forgalom lebonyolódására jellemző mennyiségekből (pályajellemzők, emberi tényező, sebesség, stb.), a **teljesítmény függvény felhasználásával**.

**Modell 2 célja:** a forgalom nagyságát a térbeni-időbeni felületre vonatkoztatva a forgalomsűrűségből és a pillanatnyi sebességből kifejezni a **folytonossági törvény felhasználásával**.

# A teljesítmény függvény

A teljesítmény függvény **mikroszkopikus jellemző, tér tengelyhez kapcsolt** modell.

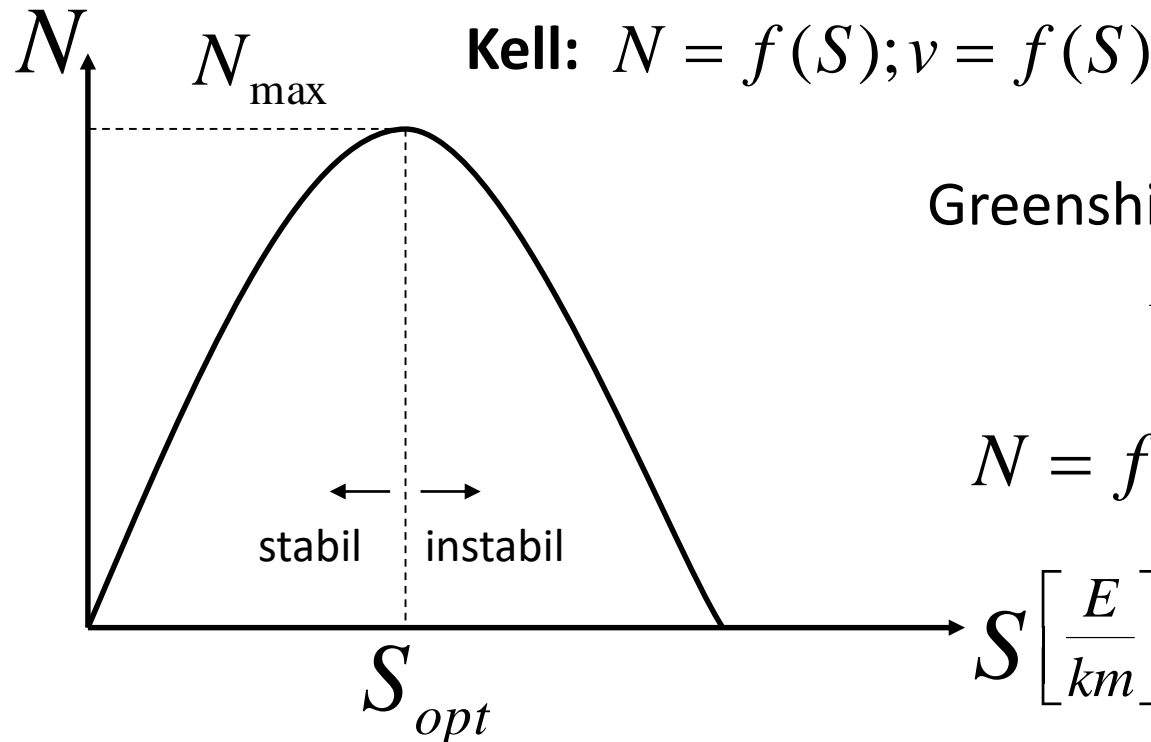


# A fundamentális vagy bázis diagram

A fundamentális diagram **makroszkopikus jellemző, idő tengelyhez kapcsolt** modell.

A diagram alapja a **folytonossági törvény**:  $\bar{N} = \bar{S} * \bar{v}_m$

**Kell:**  $N = f(S); v = f(S) \quad \frac{dN}{dS} = 0 \Rightarrow S_{opt} \Rightarrow N_{max}$



Greenshields lineáris közelítése:

$$v = f(S) = a - b * S$$

$$N = f(S) = S * (a - b * S)$$

$$S_{opt} = \frac{a}{2 * b}$$

szabad → részben → kötött → telített  
kötött

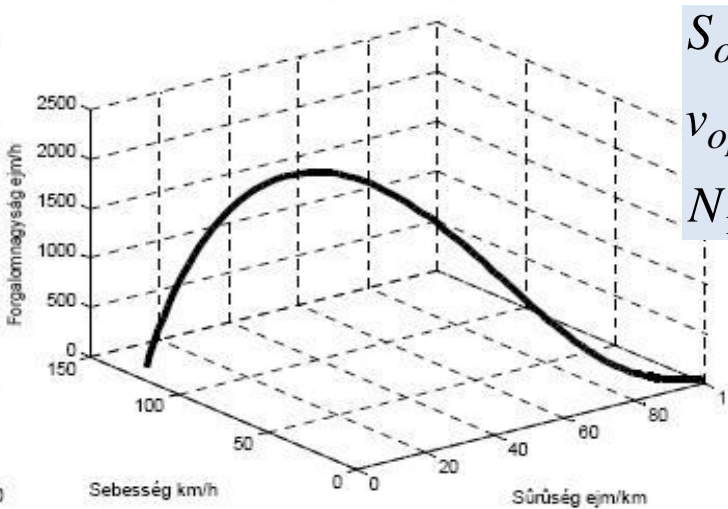
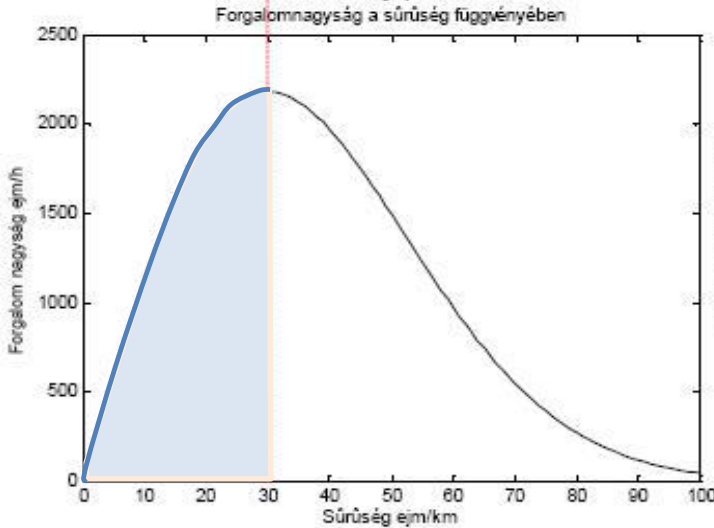
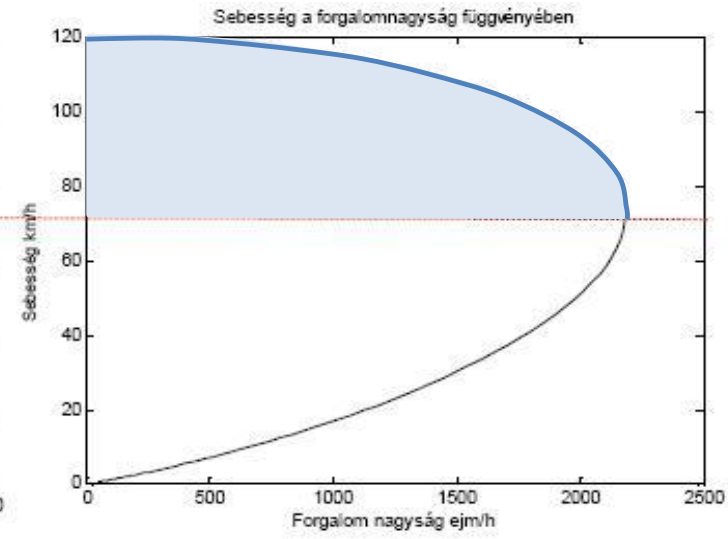
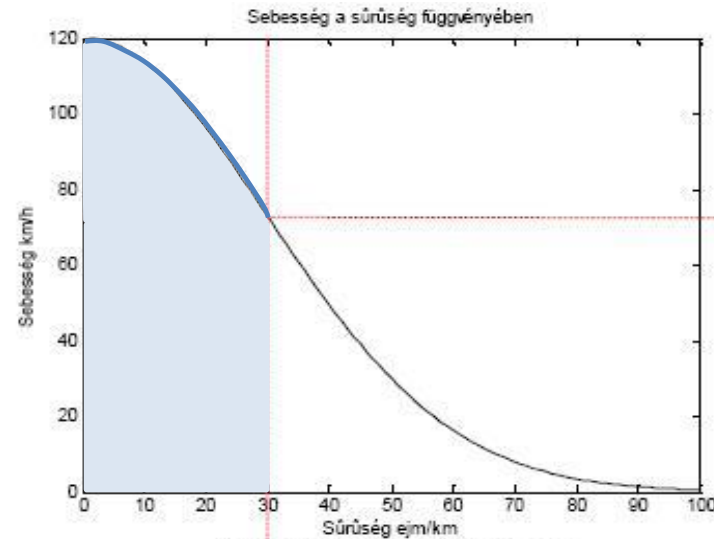
# A forgalomnagyság, sűrűség és sebesség közötti kapcsolat

SHOCKWAVE TRAFFIC JAMS  
RECREATED FOR FIRST TIME

Footage courtesy of  
University of Nagoya,  
Nagoya, Japan

<https://www.youtube.com/watch?v=Suugn-p5C1M>

# A forgalom nagyság, sűrűség és sebesség közötti kapcsolat



$S_{opt} = 30 - 40 \left[ \frac{E}{km} \right]$   
 $v_{opt} = 50 - 65 \left[ \frac{km}{h} \right]$   
 $N_{max} = 1800 \left[ \frac{E}{h} \right]$

$$\overline{N} = \overline{S} * \overline{v}_m$$

stabil áramlat határa

stabil áramlat „tartománya”

# A forgalomnagyság, sűrűség és sebesség közötti kapcsolat

**Traffic-Simulation.de**

Time=150.1 scale=2.1

**Speed Color Scale:**

- 0 km/h
- 20 km/h
- 40 km/h
- 60 km/h
- 80 km/h
- 100 km/h

**Control Panel:**

- Stop
- Ringroad
- Onramp
- Offramp
- RoadWorks
- Uphill
- Routing
- Disturb Traffic

**Simulation Parameters:**

Density	38 /km/lane
Truck Fraction	4 %
Max Accel a	0.3 m/s <sup>2</sup>
Lane Chg	to be implemented

**Simulation Settings:**

Timewarp	8.0 times
Max Speed v0	108 km/h
Time Gap T	1.5 s
Min Gap s0	2.0 m
Comf Decel b	3.0 m/s <sup>2</sup>

**Traffic Flow Models:**

- Acceleration Model
- Lane-Changing Model
- Boundary Conditions

**Using this Simulation:**

- Ring Road
- On-Ramp
- Lane Closing / Speed Limit
- Offramp
- Uphill Grade
- Routing (docu not yet av.)
- The Role of Bottlenecks
- ... But Why?

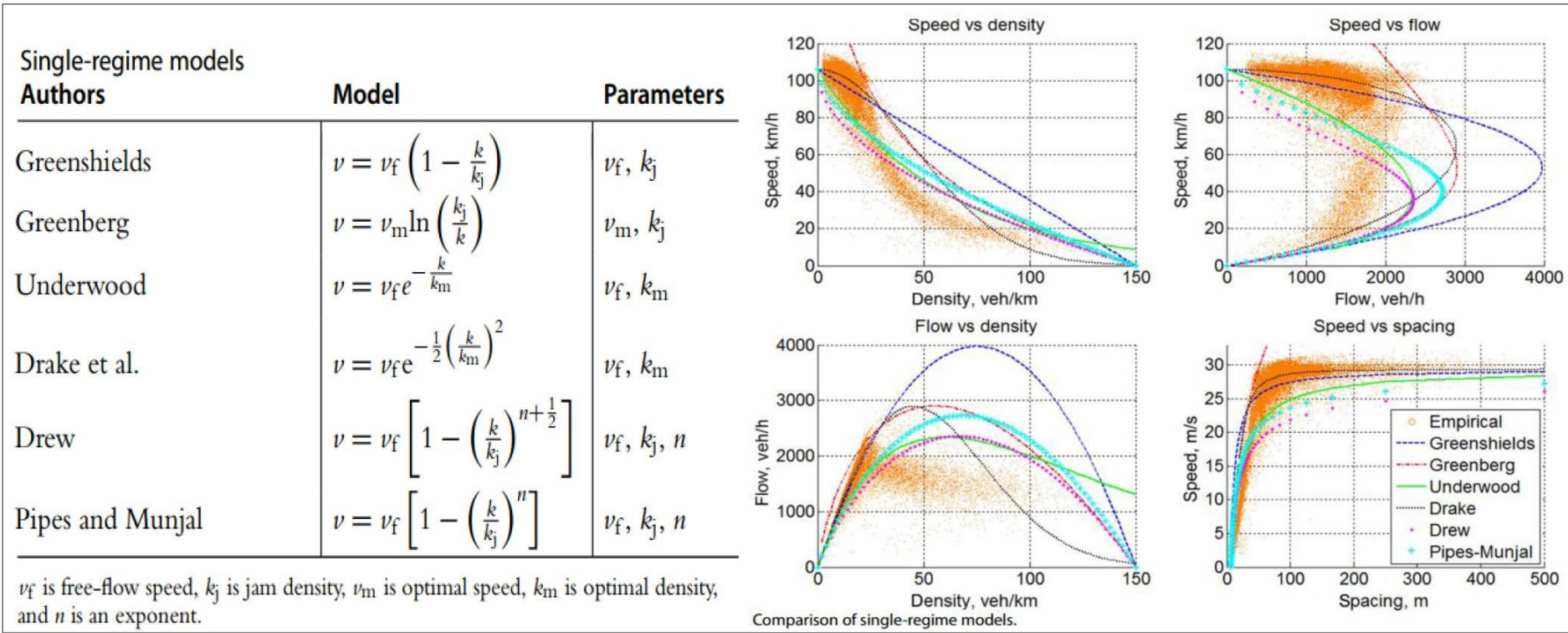
**Links:**

- Sources and Docu at GitHub
- Local Simulation

© Martin Treiber

<http://www.traffic-simulation.de/>

# A forgalomnagyság, sűrűség és sebesség közötti kapcsolat



# Sebesség–sűrűség közötti összefüggések (példák)

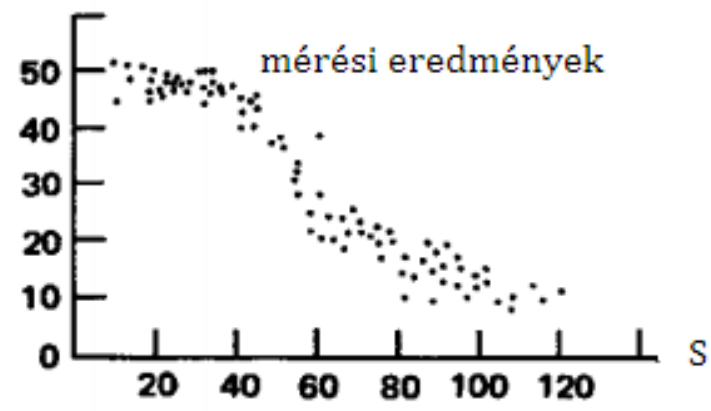
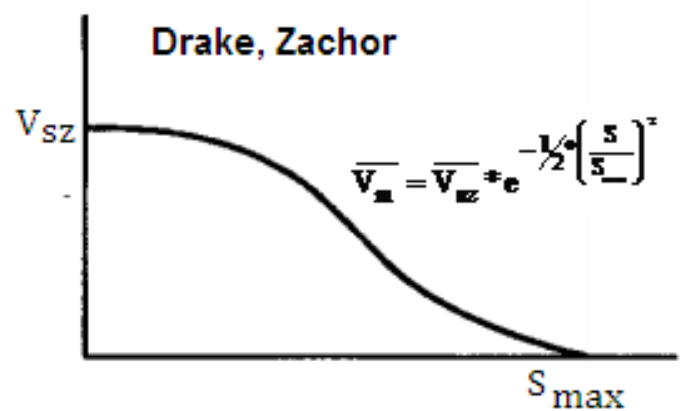
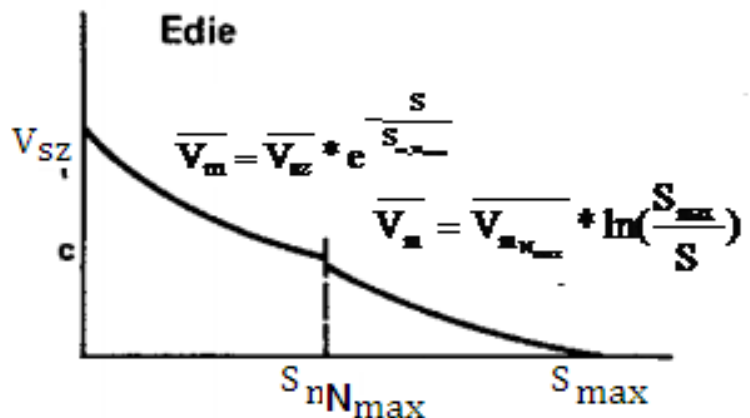
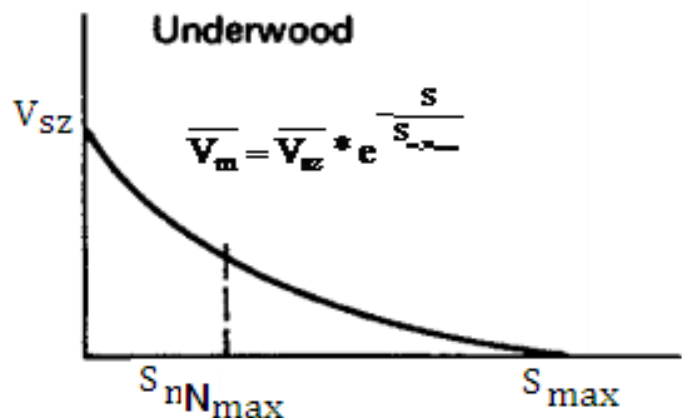
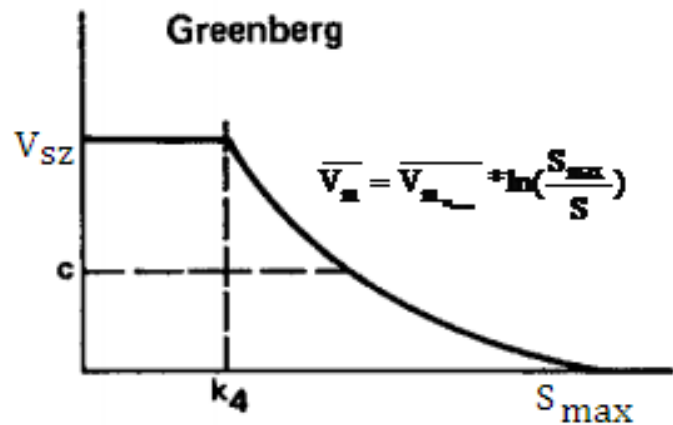
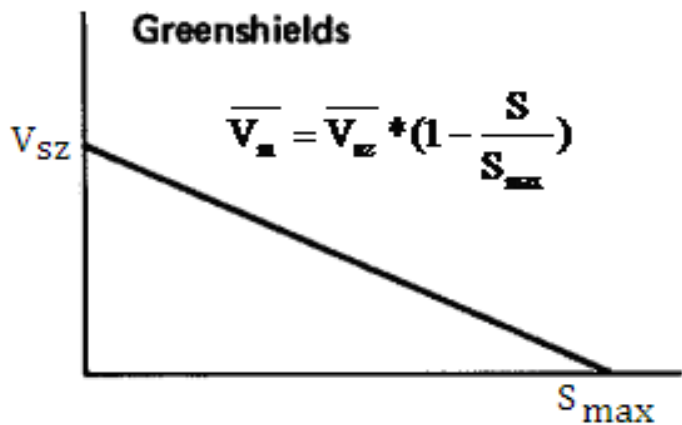
Greenshields Modell(1935)	$V = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	$v_{x,y,z}$ : szabad sebesség
Greenberg Modell (1959)	$V = v_m \log \frac{k_j}{k}$	$k_{x,y,z}$ : maximális sűrűség
Underwood Modell(1961)	$V = v_f \exp\left(-\frac{k}{k_j}\right)$	
Northwestern Modell(1967)	$V = v_f \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_0}\right)^2\right)$	
Drew Modell(1968)	$V = v_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j}\right)^{n+\frac{1}{2}}\right]$	
Pipes–Munjal Modell(1967)	$V = v_f \left(1 - \left(\frac{k}{k_j}\right)^n\right)$	
Newell Modell	$V = v_f \left[1 - \exp\left\{-\frac{z}{v_f} \left\{\frac{1}{k} - \frac{1}{k_j}\right\}\right\}\right]$	
Modified Greenshields Modell	$V = v_0 + (v_f - v_0) \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)^\alpha$	
Kerner and Konhäuser (1994)	$V_e = v_f \left( \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{k - 0.25}{0.06}\right)} - 3.72 \times 10^{-6} \right)$	
Del Castillo Modell(1995)	$V = v_f \left\{1 - \exp\left[\frac{ C_i }{v_f} \left(1 - \frac{k_j}{k}\right)\right]\right\}$	
Van Aerde Modell (1995)	$k = \frac{1}{c_1 + \frac{c_2}{v_f - v} + c_3 v}$	
MacNicholas Modell(2008)	$V = v_f \left(\frac{k_j^n - k^n}{k_j^n + m k^n}\right)$	



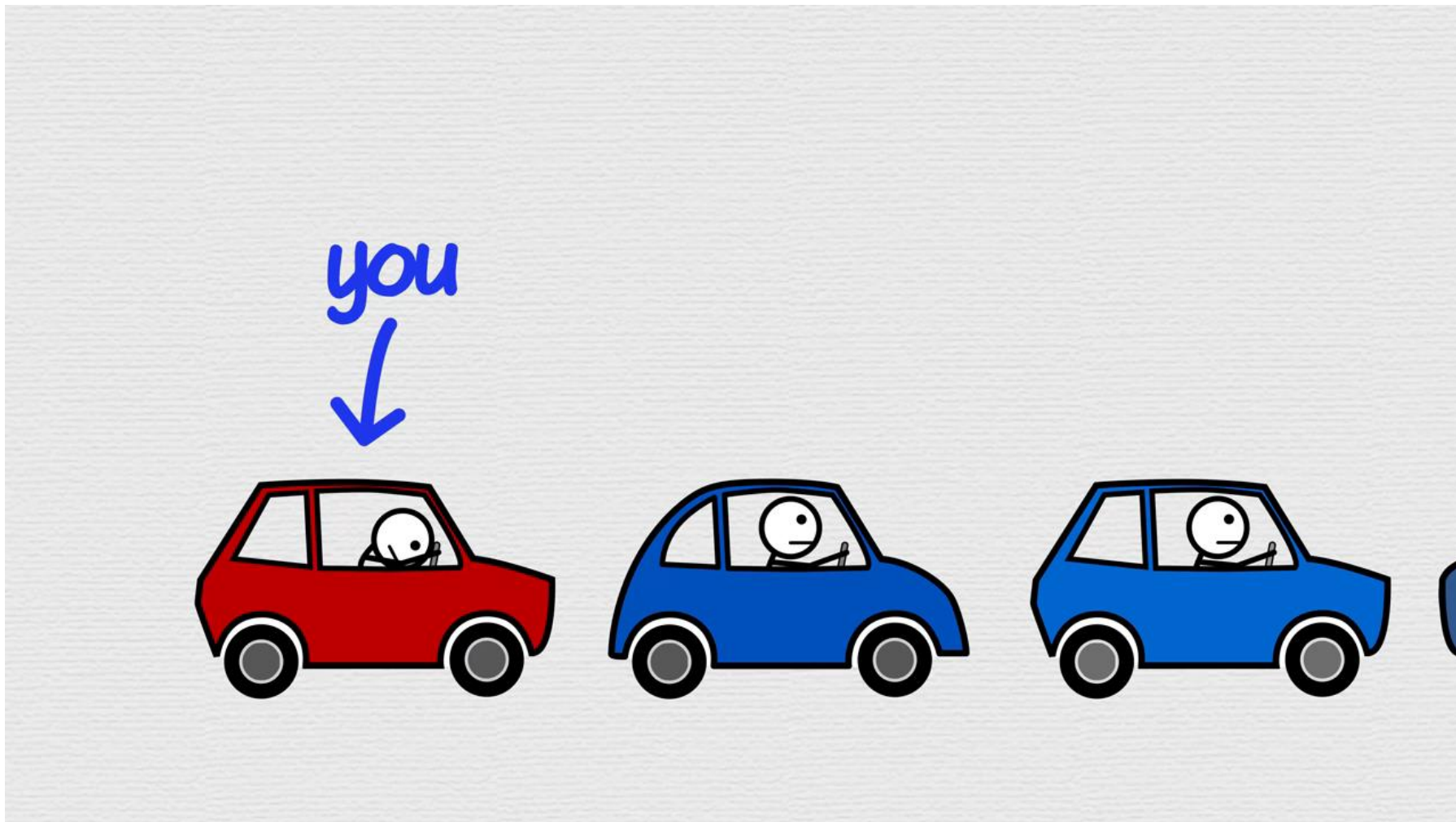
# Forgalomsűrűség, forgalomnagyság és sebesség közötti összefüggések

szerzői név	sebesség-sűrűség	forgalomnagyság-sűrűség	forgalomnagyság-sebesség
<u>Greenshields</u> (lineáris)	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * \left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right)$	$N = \bar{V}_{sz} * S * \left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right)$	$N = S_{max} * \bar{V}_m * \left(1 - \frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)$
<u>Klodek</u>	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * \left[1 - e^{-\gamma \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_{max}}\right)}\right]$	$N = \bar{V}_{sz} * S * \left[1 - e^{-\gamma \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_{max}}\right)}\right]$	$N = \frac{\bar{V}_m}{\frac{1}{S_{max}} - \frac{1}{\gamma} * \ln\left(1 - \frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)}$
<u>Greenberg</u> (logaritmikus)	$\bar{V}_m = \bar{V}_{m,max} * \ln\left(\frac{S_{max}}{S}\right)$	$N = \bar{V}_{m,max} * S * \ln\left(\frac{S_{max}}{S}\right)$	$N = S_{max} * \bar{V}_m * e^{-\left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{m,max}}\right)}$
<u>Pipes and</u> <u>Munjal</u>	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * \left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right)^n, n > 1$	$N = \bar{V}_{sz} * S * \left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right)^n, n > 1$	$N = S_{max} * \bar{V}_m * \left[1 - \left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)^{\frac{1}{n}}\right], n > 1$
<u>Drew</u>	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * \left[1 - \left(\frac{S}{S_{max}}\right)^{\frac{n+1}{2}}\right], n > -1$	$N = \bar{V}_{sz} * S * \left[1 - \left(\frac{S}{S_{max}}\right)^{\frac{n+1}{2}}\right], n > -1$	$N = S_{max} * \bar{V}_m * \left(1 - \frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)^{\frac{2}{n+1}}, n > -1$
<u>Underwood</u>	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * e^{\frac{-S}{S_{m,N,max}}}$	$N = \bar{V}_{sz} * S * e^{\frac{-S}{S_{m,N,max}}}$	$N = S_{m,N,max} * \bar{V}_m * \left[-\ln\left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)\right]$
<u>Drake;</u> <u>Zachor</u>	$\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{S}{S_{m,N,max}}\right)^2}$	$N = \bar{V}_{sz} * S * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{S}{S_{m,N,max}}\right)^2}$	$N = S_{m,N,max} * \bar{V}_m * \left[-2 * \ln\left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$
<u>Edie</u>	<p>kis sűrűség:</p> $\bar{V}_m = \bar{V}_{sz} * e^{\frac{-S}{S_{m,N,max}}}$ <p>nagy sűrűség:</p> $\bar{V}_m = \bar{V}_{m,N,max} * \ln\left(\frac{S_{max}}{S}\right)$	<p>nagy sebesség = kis sűrűség:</p> $N = \bar{V}_{sz} * S * e^{\frac{-S}{S_{m,N,max}}}$ <p>alacsony sebesség = nagy sűrűség:</p> $N = \bar{V}_{m,N,max} * S * \ln\left(\frac{S_{max}}{S}\right)$	<p>nagy sebesség = kis sűrűség:</p> $N = S_{m,N,max} * \bar{V}_m * \left[-\ln\left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{sz}}\right)\right]$ <p>alacsony sebesség = nagy sűrűség:</p> $N = S_{max} * \bar{V}_m * e^{-\left(\frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_{m,N,max}}\right)}$

# Öt sebesség-sűrűség összefüggés



# Autonóm járművek hatása az alapösszefüggésekre



<https://www.youtube.com/watch?v=iHzzSao6ypE>

# Autonóm járművek hatása az stabilitásra

Dissipation of stop-and-go traffic  
waves via control of a single  
autonomous vehicle



# Függvénykapcsolatok felhasználási területei

Forgalomszabályozás (sebességajánlás, felhajtás-korlátozás):

- stabil forgalmi állapot elérése
- sorfelépülés megakadályozása
- maximális átbocsátóképesség biztosítása

Mérési feladatok egyszerűsítése:

- adott útszakaszra érvényes összefüggések felállítása
- később csak bizonyos (pl. könnyen, olcsón mérhető) paraméterek felvételére kell sort keríteni

Forgalomszimuláció során:

- modell környezetben a beépített függvények segítségével a valóság leképezése