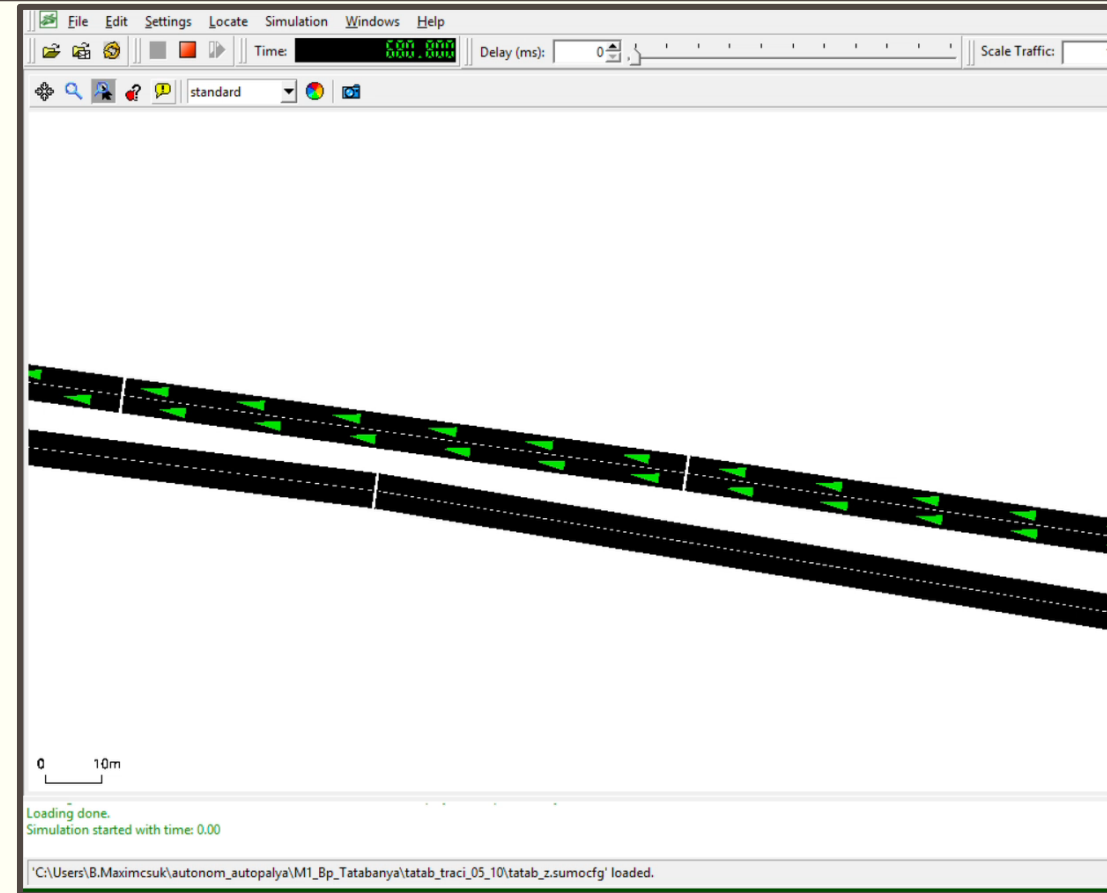


# AUTONÓM JÁRMŰVEKKEL ELÉRHETŐ LEGNAGYOBB JÁRMŰFOLYAMOK MEGÁLLAPÍTÁSA MAKROSZKOPIKUS FUNDAMENTÁLIS DIAGRAMOK RÉVÉN

Készítette: Maximcsuk Balázs

Konzulens: Tettamanti Tamás, PhD.



# Tartalom

---

- Dolgozat háttere



- Megvalósítás elmélete



- Eredmények





# DOLGOZAT HÁTTERE

**ALAPKÉRDÉS** : Az autonóm járművek elterjedésével elégségesek tekinthetők-e a jelenlegi tervezési és forgalomtechnikai előírások?

**KÉRDÉS** : Autonóm járművekből álló homogén forgalom (kétsávos

autópályán) mekkora magasabb sebességhatárok elvárásokat teljesítve?

**VÁLASZ**: Egy összefüggés, elérhető maximális sűrűségértékeket

teljesítményszaximumot, biztonságosabb és gazdaságosabban (fog) üzemelni

**FELTÉTELEZÉS II** : A felhasználók, üzemeltetők és egyéb érintettek érdeke, hogy ezen előírások alkalmazására kerüljenek

$$Q_{max}(v_{free})$$

$$\rho_{krit}(v_{free})$$

# Szakirodalom

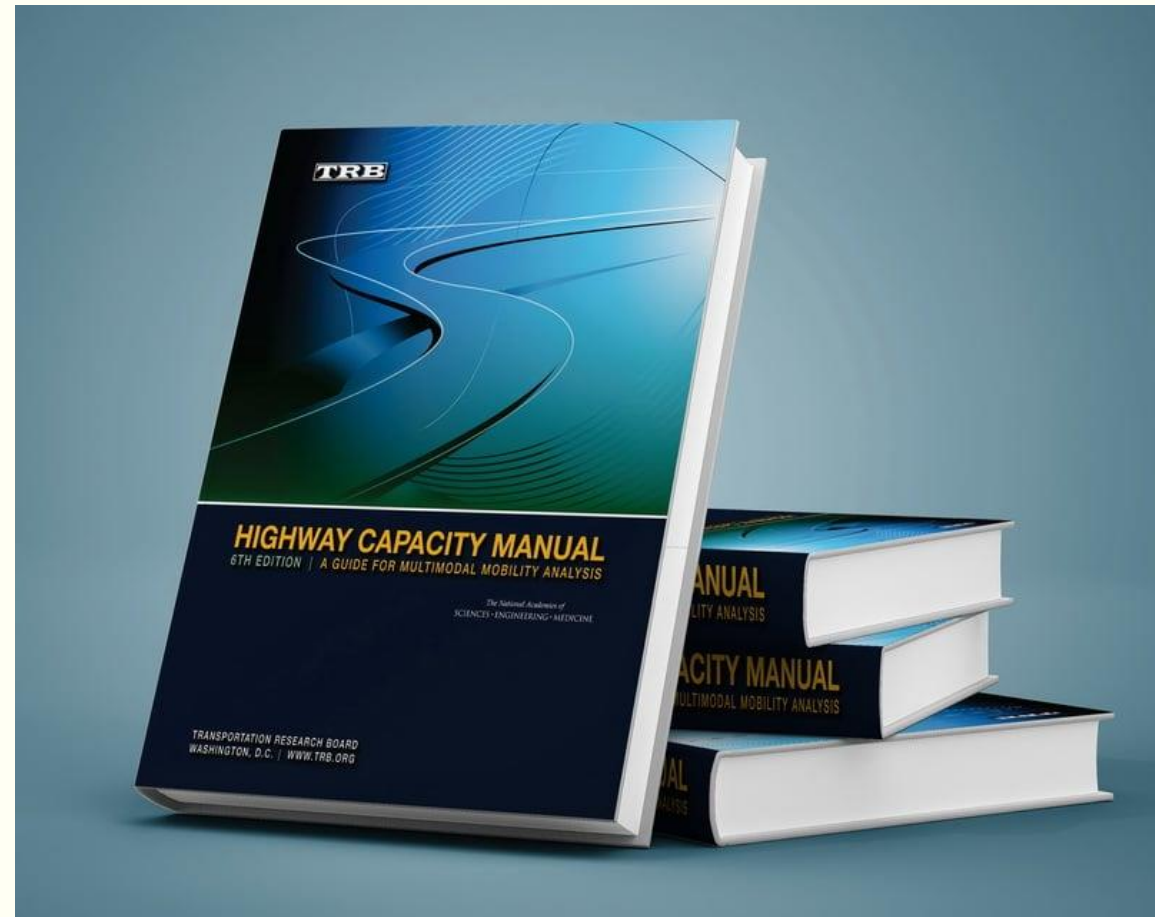


- Első kiadás : 1950
- Hatodik kiadás : 2016
- Saturation flow : 1800 jm/h/sáv  
0.5 jm/sec/sáv

**Table 1: Previous studies' saturation flow rates**

Study	Country	Mean (pc/h/ln)	Sample Size
Webster & Cobbe	UK	1800	100
Kimber et al.	UK	2080	64
Miller	Australia	1710	-
Branston	UK	1778	5
H.E.L.Athens	Greece	1972	35
Shoukry & Huizayyin	Egypt	1617	18
Hussain	Malaysia	1945	50
Coeyman & Meely	Chile	1603	4
Bhattacharya & Bhattacharya	India	1232	20
De Andrade	Brazil	1660	125

*C.J.Bester & W.L. Meyers : Saturation Flow Rates (2019)*



*Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis (2016)*

# Előnyök



## Tervezés

Magasabb  
várható  
kapacitás  
kihasználás

Azonos igények  
kielégítése  
kisebb  
ráfordítással



MTI Fotó/Krizsán Csaba - 2018



Shutterstock.com - 2017



# Előnyök



Szabályozás

Jelenlegitől  
eltérő  
forgalmi  
dinamikák

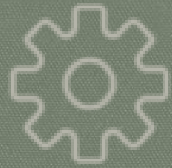
Korszerű  
távközlés- és  
vezérlés



Wikipedia



Photography by NHTSA, Ford, and General - 2019  
<http://www.aidrlogetrfficcontrollers.com.au>



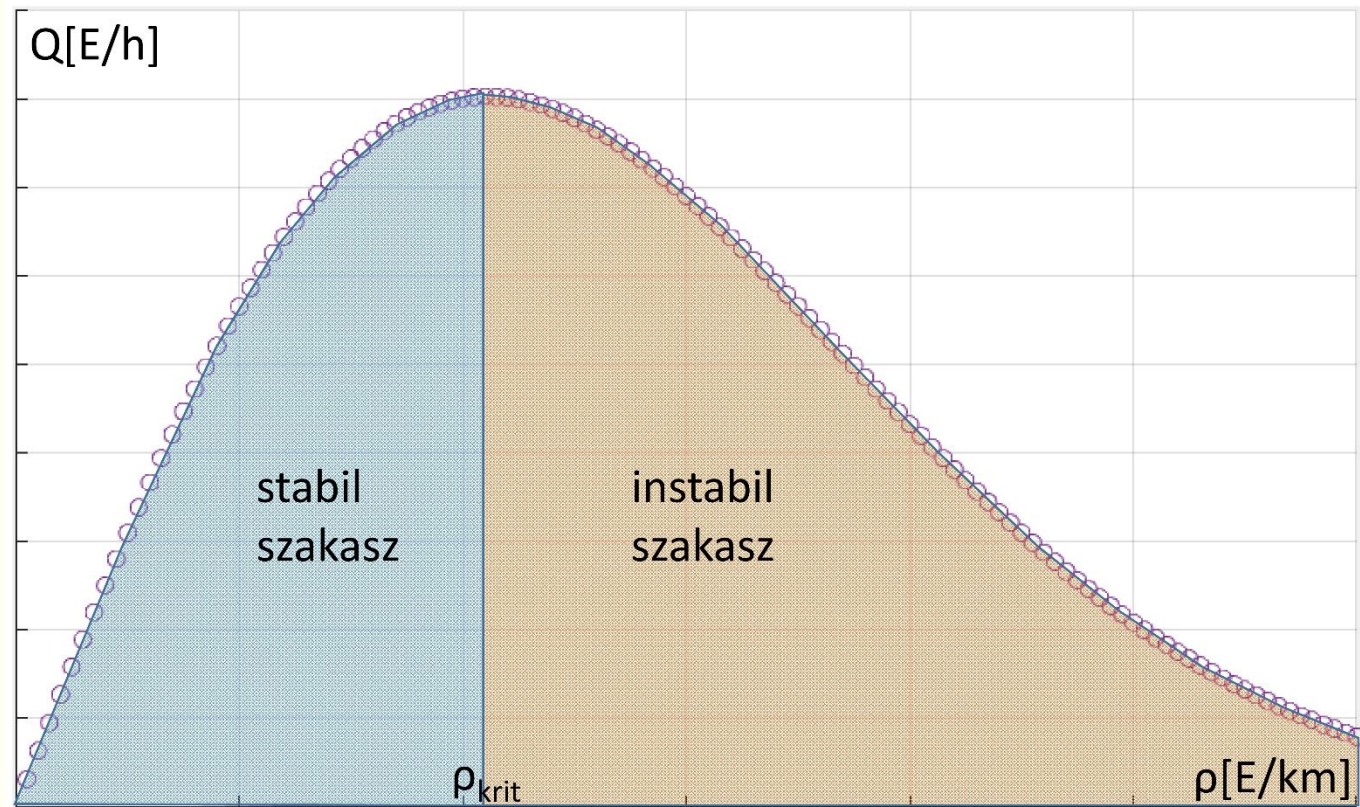
# MEGVALÓSÍTÁS MENETE



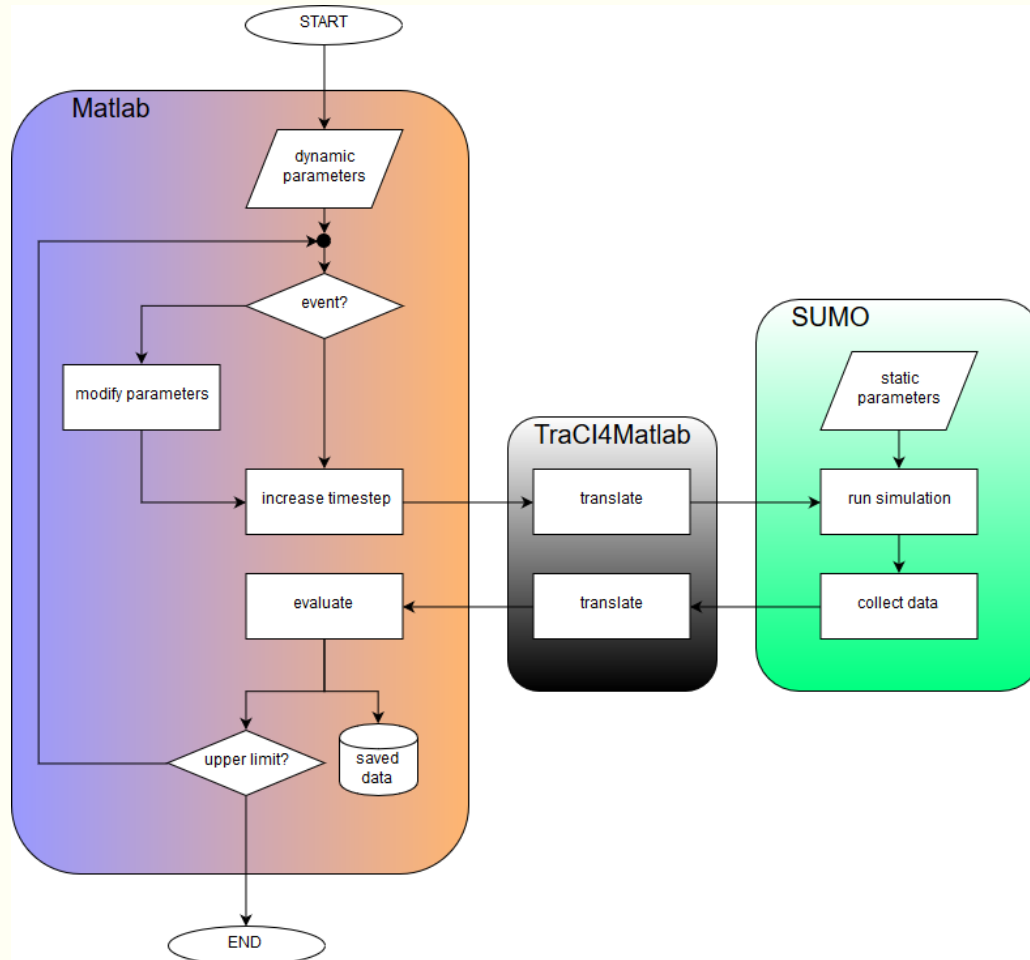
# Makroszkopikus fundamentális diagram

---

- Forgalom lefolyásának vizsgálatára
- Képzése a sűrűség-sebesség adatpontokból, a fundamentális összefüggés alapján:  $Q = \rho \cdot v$
- Stabil és instabil területek
- Cél a perem (maximális teljesítmény) kirajzolása

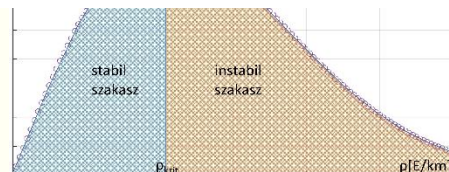
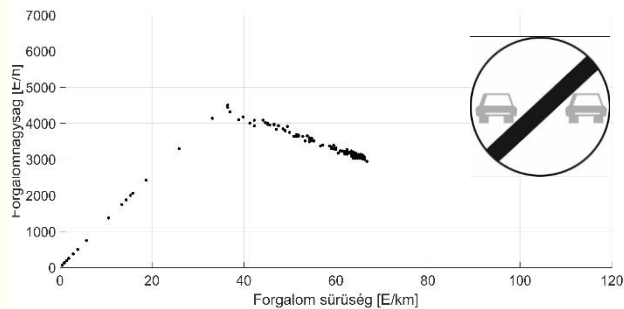
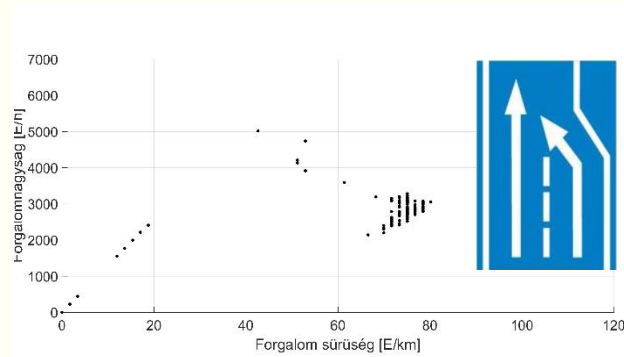
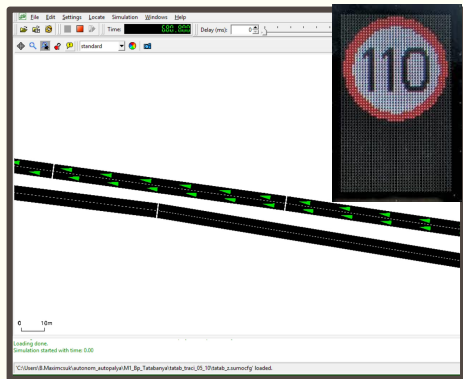


# Megvalósítás elmélete



- SUMO : forgalom szimulálására
- Matlab : eredmények kiértékelése és vizsgálatok elvégzése
- TraCI4Matlab : interfész a két program között

# Megvalósítás menete



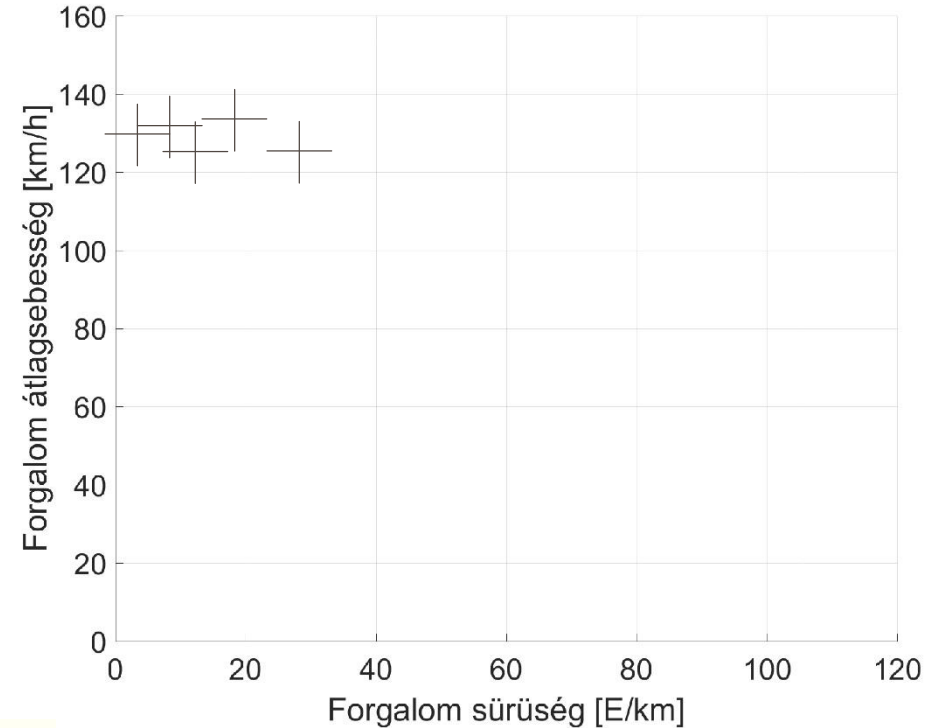
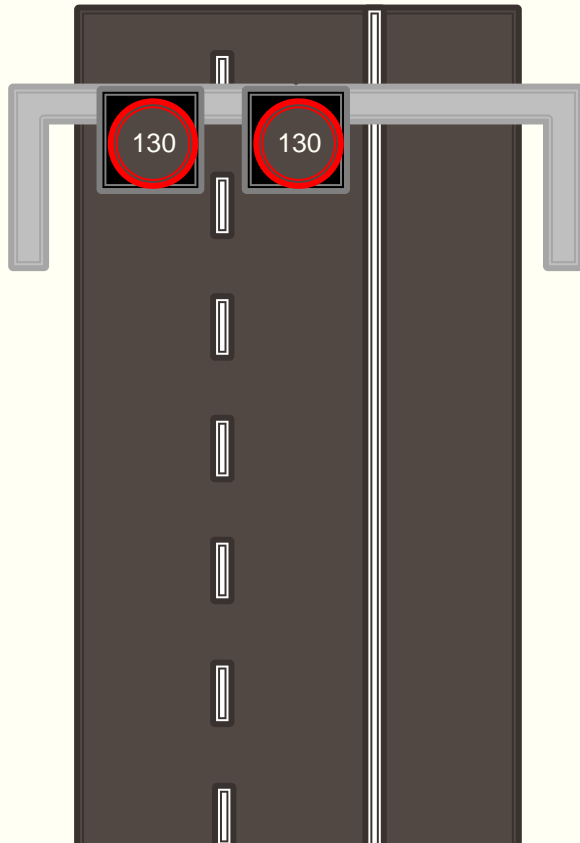
- **Szimulátor:** Forgalom növelése a teljesítőképesség maximumáig
- **Szimulátor:** Zavarás révén a forgalom instabil tartományba vezérlése
- **Matlab:** Mért sűrűségi és időpillanatbeli átlagsebességek alapján MFD-k kirajzolása
- **Matlab:** MFD-k vizsgálatával teljesítménymaximum és kritikus sűrűségértékek meghatározása
- **Matlab:** Mért értékekre az előzőekben említett, sebességhatár alapú modellt illetve összefüggés felállítása sebességhatár és elméleti forgalomnagyság maximum között

# Vizsgált járművezérlési módok



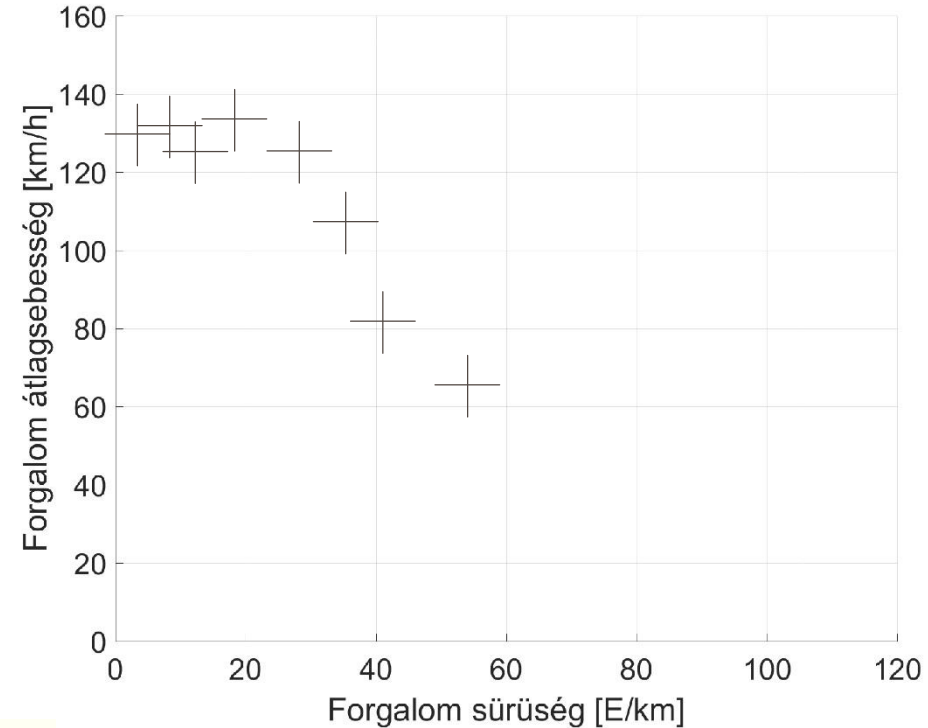
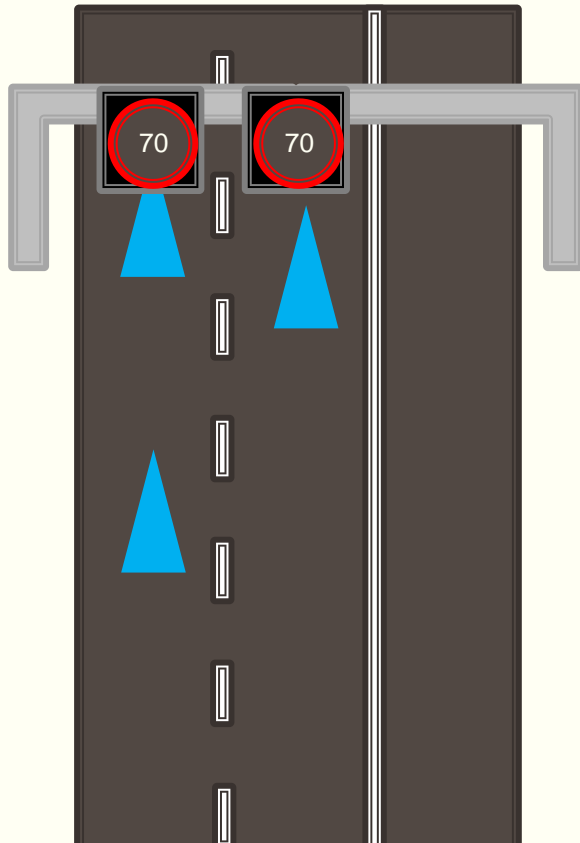
Acc	Dec	Sigma	Tau	Seb.
$2.6 \frac{m}{s^2}$	$4.5 \frac{m}{s^2}$	0.5	1.0	130-250
Acc	Dec	Sigma	Tau	Seb.
$3.7 \frac{m}{s^2}$	$5.5 \frac{m}{s^2}$	0.0	0.6	130-250
Legalább SAE level 4 szintű automatizáltság				
Acc	Dec	Sigma	Tau	Seb.
$3.7 \frac{m}{s^2}$	$5.5 \frac{m}{s^2}$	0.0	0.2	130-250
Egyszerűsített modell				

# Sűrűség-sebesség görbe kirajzolása I.



- Forgalom áramoltatása maximális megengedett sebességkorlát mellett
- Bemenő forgalom fokozatos növelése
- Maximális forgalmi teljesítmény monitorozása

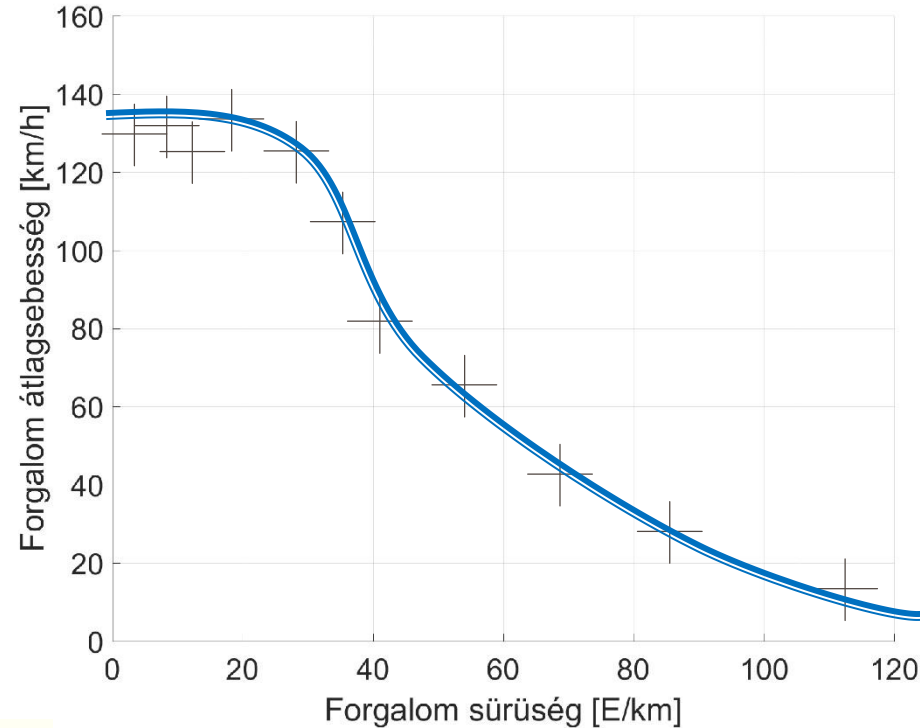
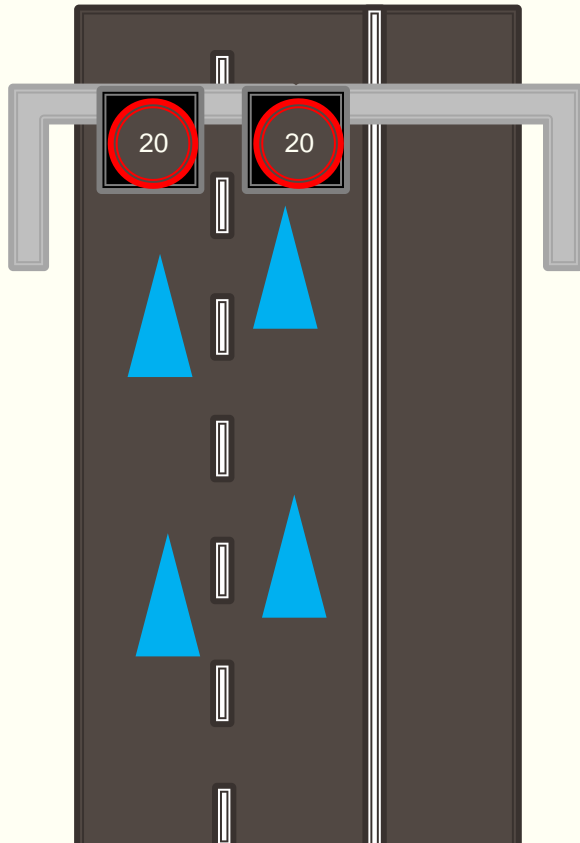
# Sűrűség-sebesség görbe kirajzolása II.



- Sebességkorlátoztatása fokozás csökkenést forgalom mértékétől függően
- Bemutató növelése forgalmi sűrűségi szűrtartáson alapuló nitorozása



# Sűrűség-sebesség görbe kirajzolása III.



- **Sebességközöt**  
állományok redukálása  
lassítás teljesítmény
- **Paragráfikon**  
exponenciális  
összefüggés alapján  
függvényállítás

$$v(\rho) = v_{free} \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{krit}}\right)^a\right)$$

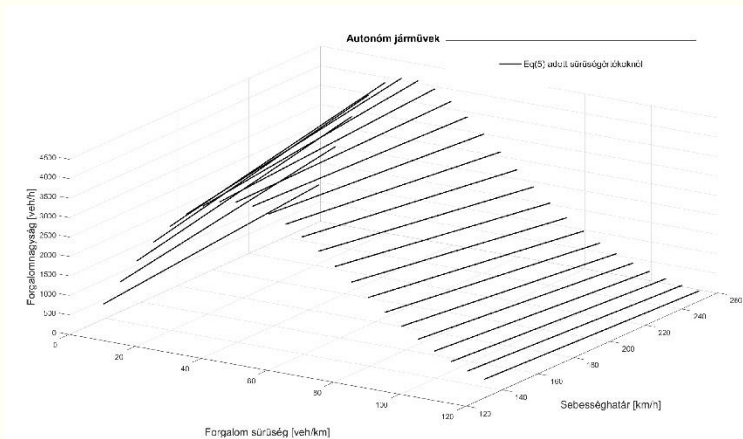


# Végsebesség alapú forgalomnagyság modell felállítása



- A kapott MFD felületre eltérő közelítő egyenletekkel illesztések kerültek
- A legpontosabb illesztést a harmadfokú egyenlettel való közelítés adta
- Az elsőfokú polinom közelítés is megfelelőnek tekinthető

$$Q(v_{free}) \Big|_{\rho=konst} = t_{end_Q} \Big|_{\rho=konst} \cdot v_{free} + c_2 \Big|_{\rho=konst} + flow_0 \Big|_{\rho=konst}$$



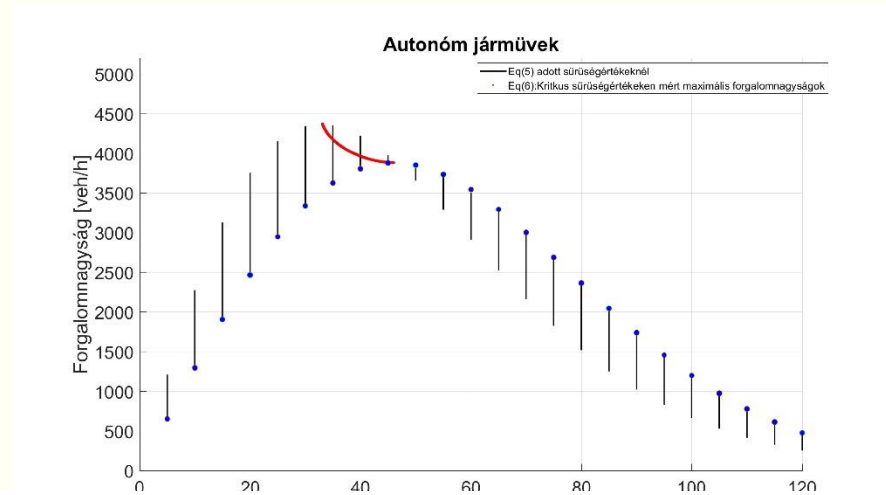
Sűrűség [ $\frac{E}{km}$ ]	ember		AV		CAV	
	$t_{end_Q}$	$flow_0$	$t_{end_Q}$	$flow_0$	$t_{end_Q}$	$flow_0$
1	0.982	2.470	0.994	0.821	1.000	0.018
10	6.424	421.906	8.153	233.303	9.775	33.739
20	5.475	1469.750	10.739	1065.988	17.859	307.301
30	1.119	2436.038	8.373	2246.685	22.348	1049.859
40	-2.952	2881.186	3.448	3354.096	22.021	2340.545
50	-5.124	2767.220	-1.626	4058.598	16.958	4029.836
60	-5.417	2288.656	-5.289	4226.888	8.685	5748.060
70	-4.559	1682.764	-7.010	3911.523	-0.253	7016.591
80	-3.303	1121.407	-7.034	3277.057	-7.227	7434.027
90	-2.132	685.911	-5.977	2514.860	-10.563	6858.349
100	-1.250	388.383	-4.480	1781.126	-10.163	5484.659
110	-0.673	204.801	-3.018	1169.736	-7.329	3758.753
120	-0.335	100.986	-1.840	714.275	-3.906	2164.179

# Végsebesség alapú modell maximális forgalomnagyság és kritikus sűrűség meghatározására



Az elsőfokú polinomok által kifeszített felületen a maximális forgalomnagyságokra és hozzájuk tartozó sűrűségérték pontokra görbe került illesztésre

$$\begin{bmatrix} Q_{max} \\ \rho_{krit} \end{bmatrix} = C_1 \cdot v_{free} + C_2$$



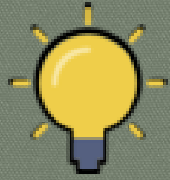
$\rho$	Fit	Ember	AV	CAV
$Q$	Poly1	0.733	0.771	0.810
$Q$	Poly2	0.984	0.986	0.987
$Q$	Poly3	0.997	0.998	0.997
$Q$	Exp1	0.749	0.785	0.831

$f_{re}$

$C_i$

	C1	C2	C3	C4
Ember	$\begin{bmatrix} -3.565E-05 \\ 2.914E-07 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.040 \\ 0.000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -8.784 \\ -0.153 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3150.635 \\ 50.628 \end{bmatrix}$
AV	$\begin{bmatrix} -5.647E-05 \\ 4.079E-06 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.062 \\ -0.002 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -13.137 \\ 0.181 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4662.933 \\ 46.572 \end{bmatrix}$
CAV	$\begin{bmatrix} -1.337E-04 \\ 3.205E-06 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.139 \\ -0.002 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -27.275 \\ 0.093 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8510.813 \\ 74.096 \end{bmatrix}$

Sebességhatár [km/h]



# EREDMÉNYEK

# Eredmények – elérhető maximális forgalomnagyságok



A lefuttatott szimulációk alapján

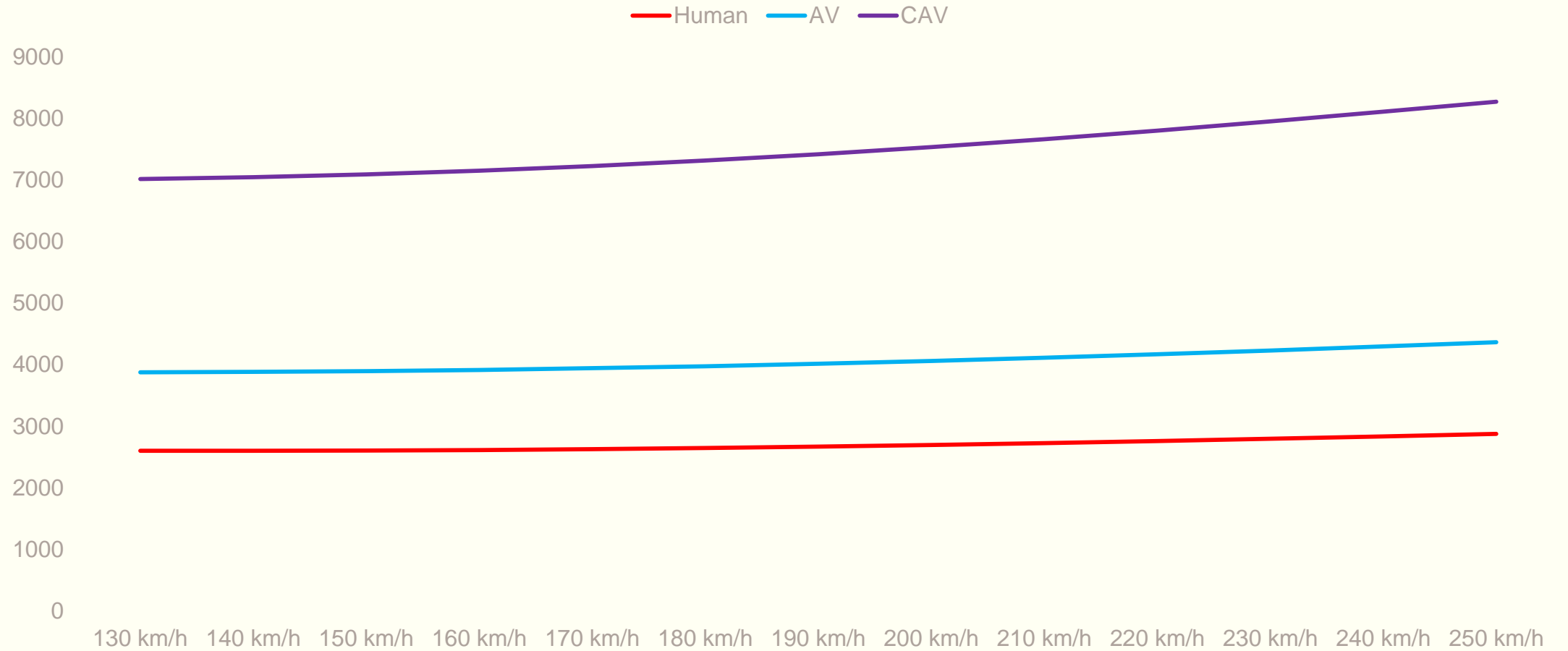
- Emberi vezérlés nem éri el az elméleti maximumot még 250 km/h mellett sem
- Autonóm járműforgalom közel 50%-os teljesítmény növekedést jelent
- Összekapcsolt autonóm járművek 170-180%-os teljesítmény növekedés

Sebességhatár [km/h]	Ember		AV			CAV		
	[E/h]	"A"	[E/h]	"A"	"B"	[E/h]	"A"	"B"
130	2601	—	3877	—	49.06%	7014	—	169.82%
140	2601	0.01%	3883	0.15%	49.33%	7045	0.45%	171.09%
150	2606	0.18%	3895	0.32%	49.54%	7091	0.65%	172.29%
160	2615	0.36%	3915	0.51%	49.75%	7151	0.85%	173.58%
170	2629	0.53%	3942	0.68%	49.94%	7225	1.04%	174.82%
180	2647	0.69%	3975	0.84%	50.09%	7315	1.24%	176.16%
190	2670	0.84%	4015	1.00%	50.26%	7417	1.40%	177.42%
200	2696	0.98%	4061	1.15%	50.61%	7534	1.57%	179.21%
210	2726	1.11%	4112	1.27%	50.83%	7662	1.70%	180.76%
220	2760	1.25%	4169	1.38%	51.07%	7801	1.81%	182.34%
230	2796	1.32%	4231	1.47%	51.36%	7949	1.91%	184.11%
240	2835	1.39%	4296	1.55%	51.64%	8107	1.98%	185.96%
250	2878	1.50%	4366	1.63%	51.86%	8271	2.03%	187.78%

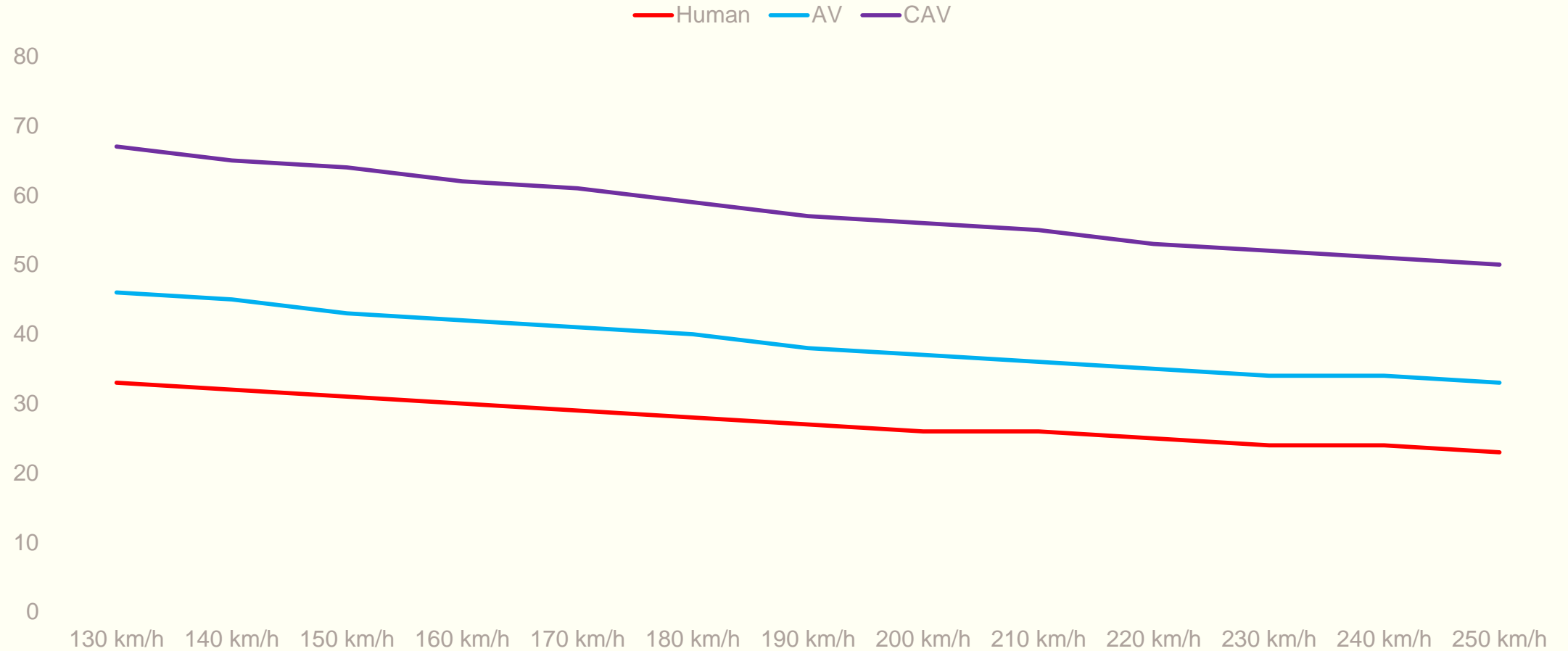
*Szimuláció eredményei 2 sávós autópályára, eltérő vezérlési metódusok mellett*



# Eredmények – maximális forgalomnagyságok



# Eredmények – kritikus sűrűségértékek

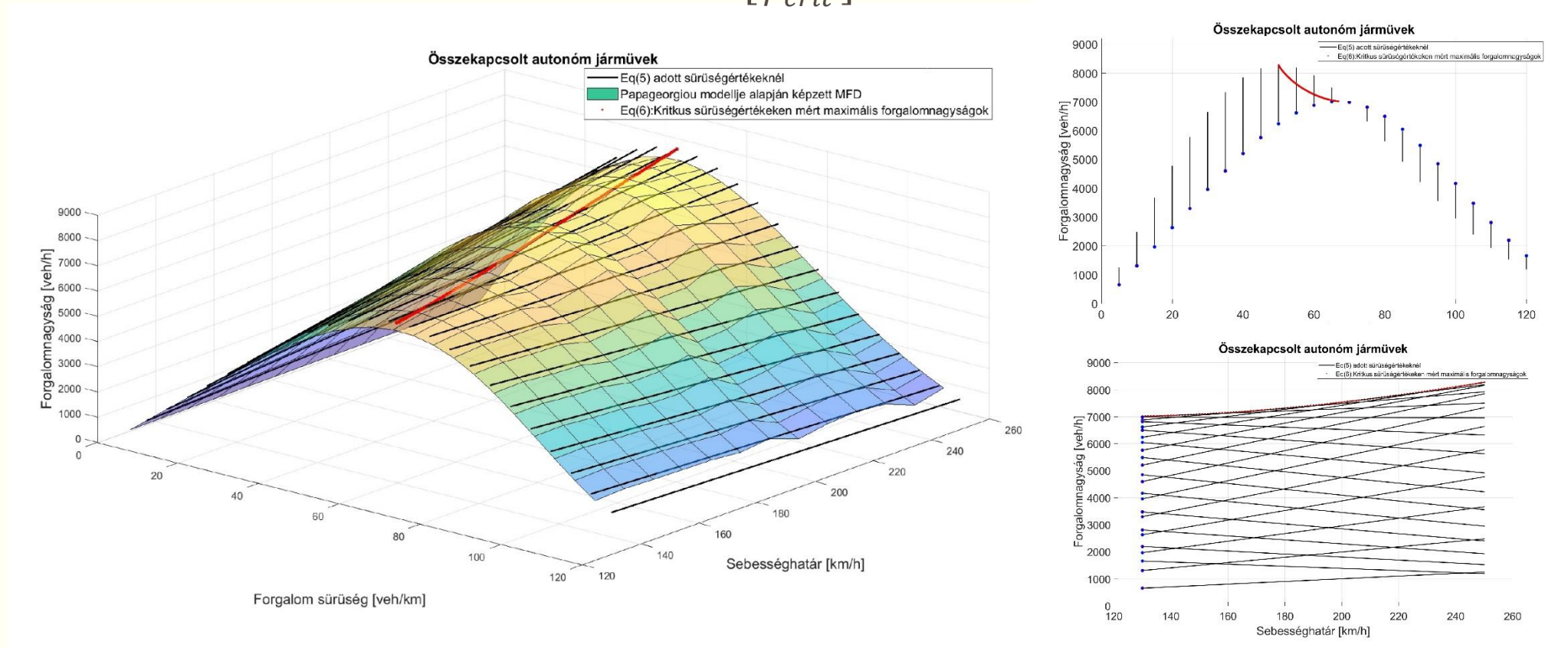


# Eredmények – elérhető maximális forgalomnagyságok és kritikus sűrűségek a sebességhatár függvényében



$$Q(v_{free}) = tend_Q \cdot v_{free} + flow_0$$

$$\left[ \begin{matrix} Q_{max} \\ \rho_{crit} \end{matrix} \right] = C_1 \cdot v_{free}^3 + C_2 \cdot v_{free}^2 + C_3 \cdot v_{free} + C_4$$





---

---

# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Maximcsuk Balázs - 2019

---

---

EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001: Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm jármű irányítási technológiák területén - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.