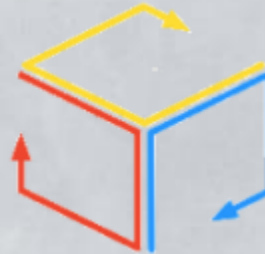


Macroscopic simulation model of a multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system in the supply of shopping malls in Budapest



Budapest University of
Technology and
Economics,
Department of
Material Handling and
Logistics Systems

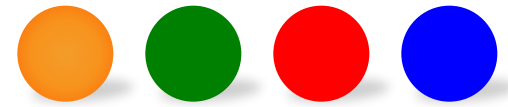


Krisztián Bóna PhD, Dávid Lajos Sárdi

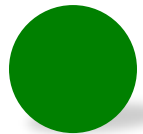


Smart Cities Symposium Prague 2018

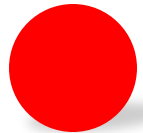
Agenda



Cargo bike systems



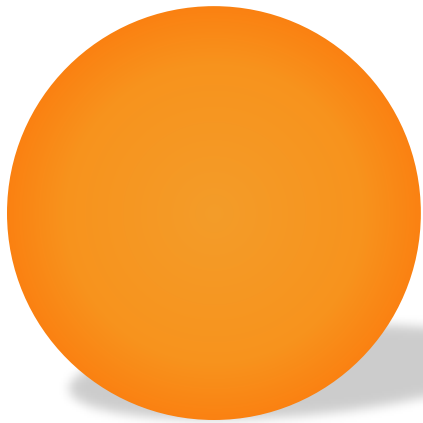
Multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system concepts



Modelling



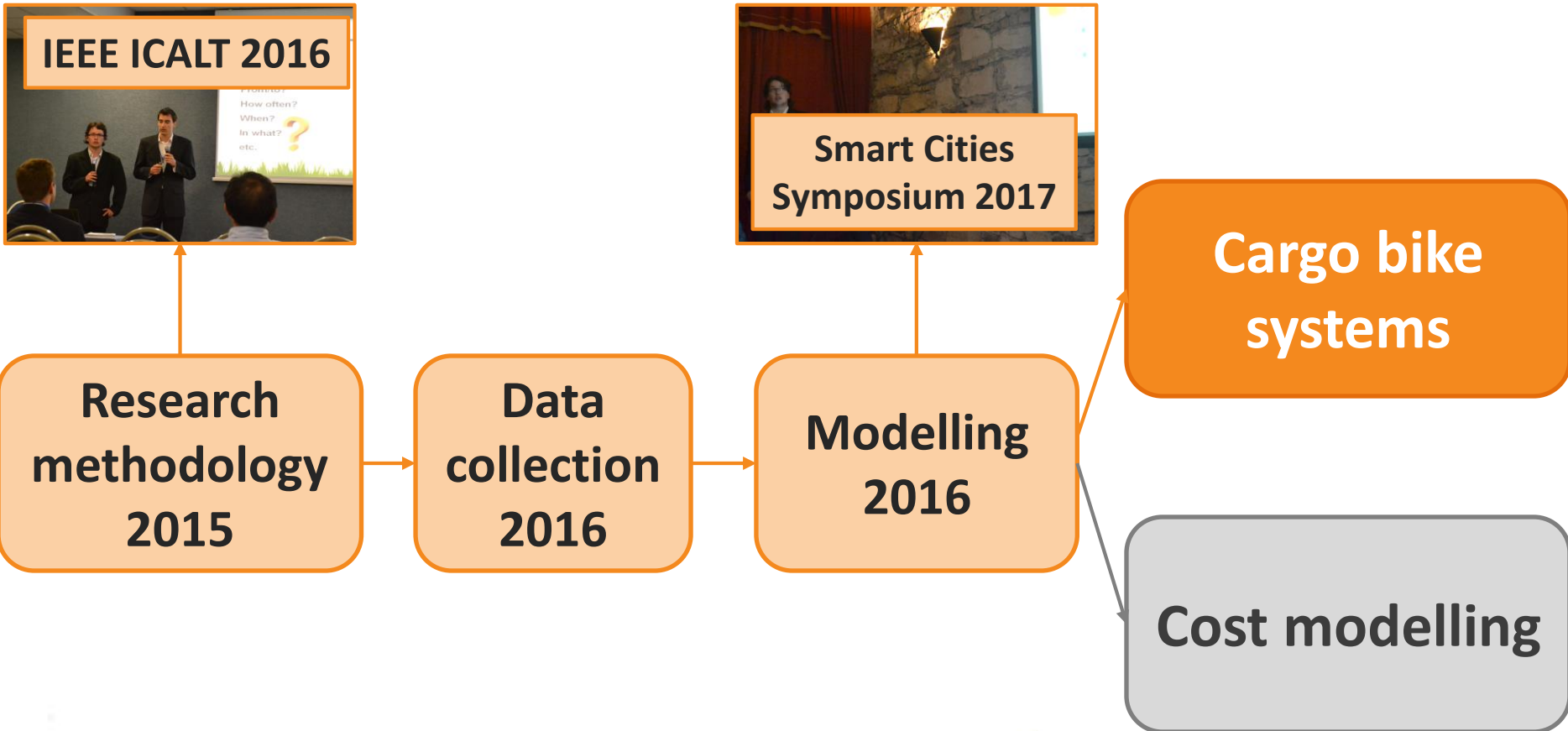
Next steps



Cargo bike systems



Steps of the research project



Cargo bikes

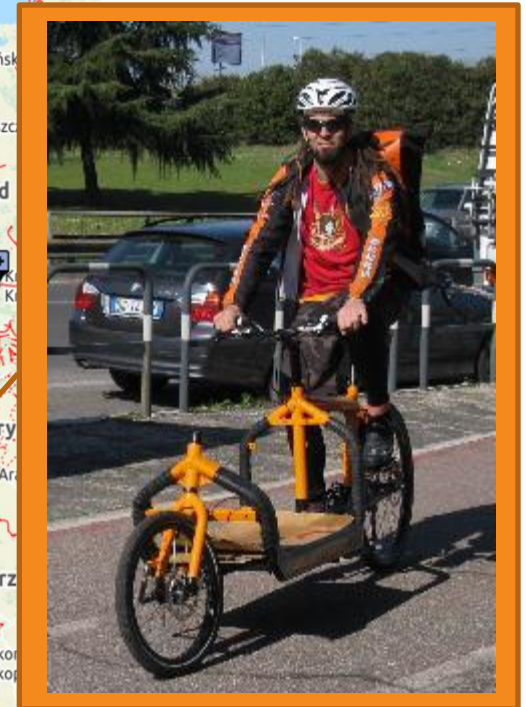


Boxes, pallet
load units

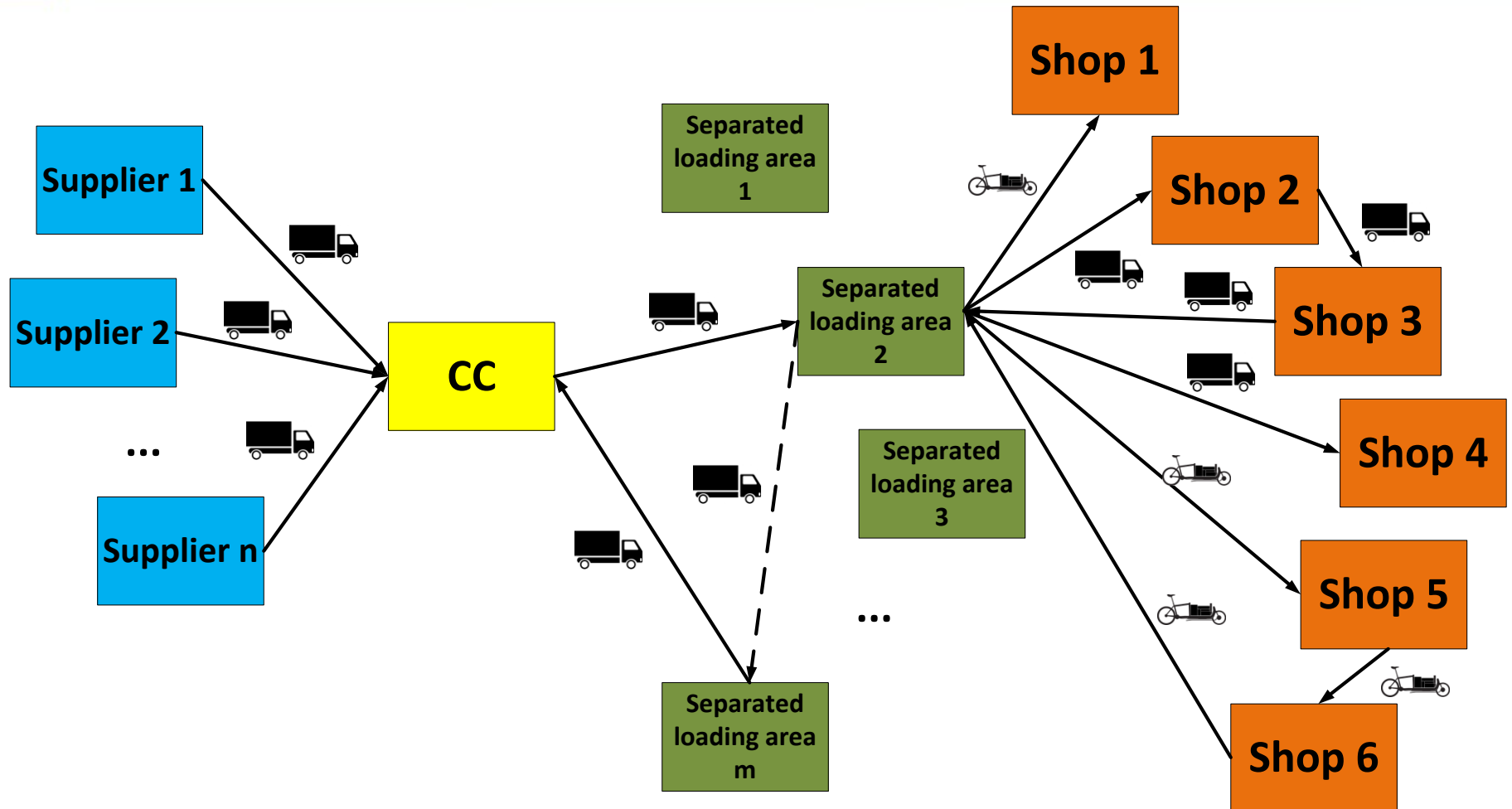
Even 150-180
kg capacity

Every second
delivery!

Cargo bike systems



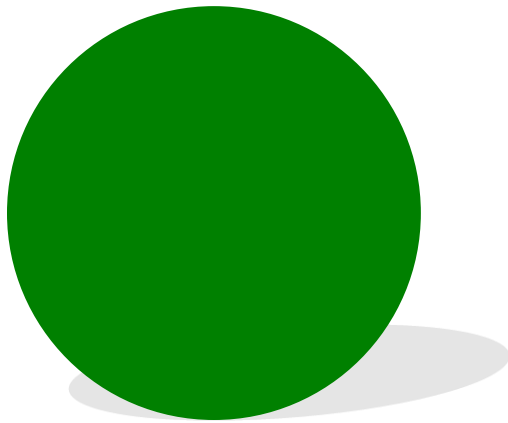
Mobile storage systems



Dynamic system

Mobile
infrastructure

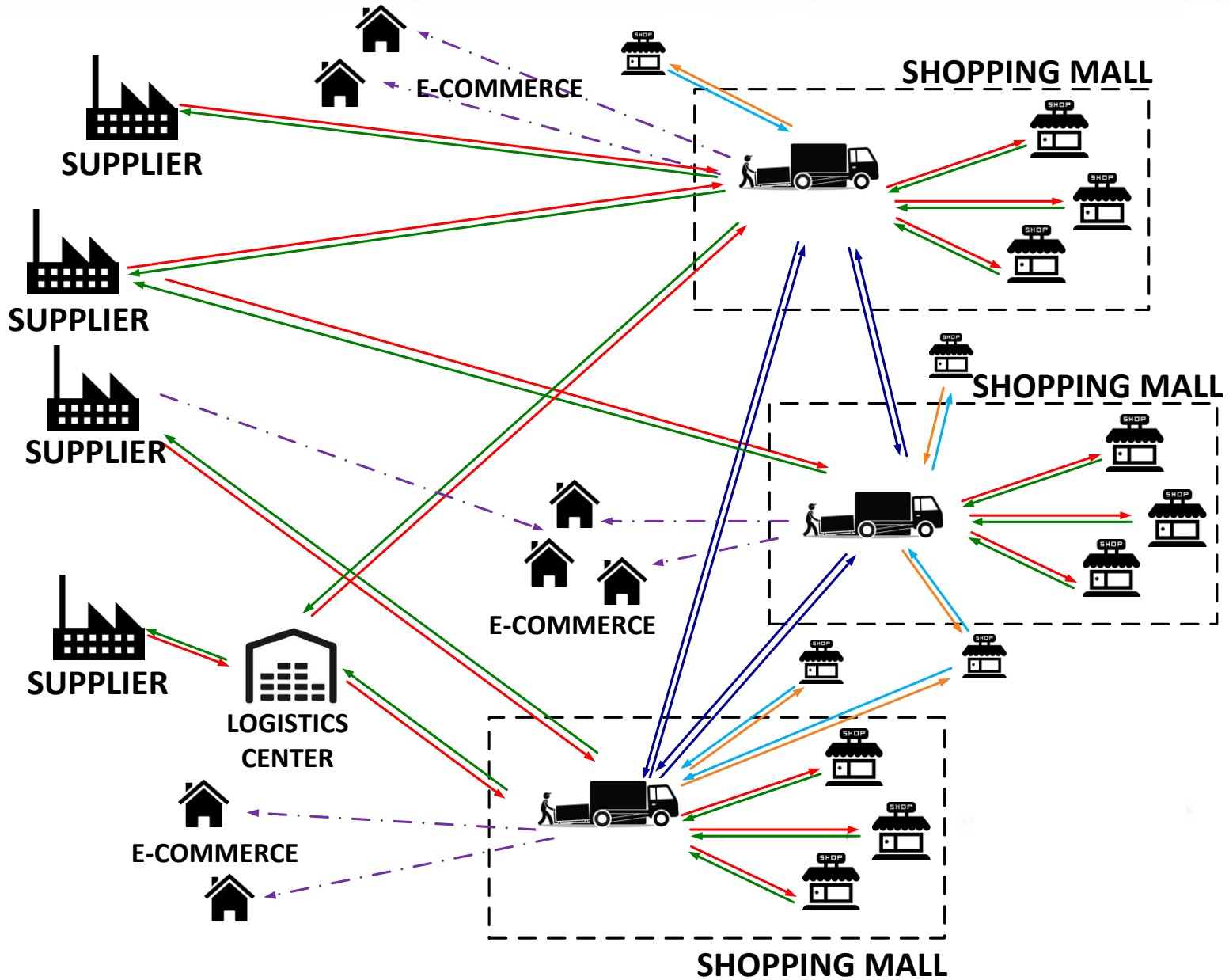
Intermodal units



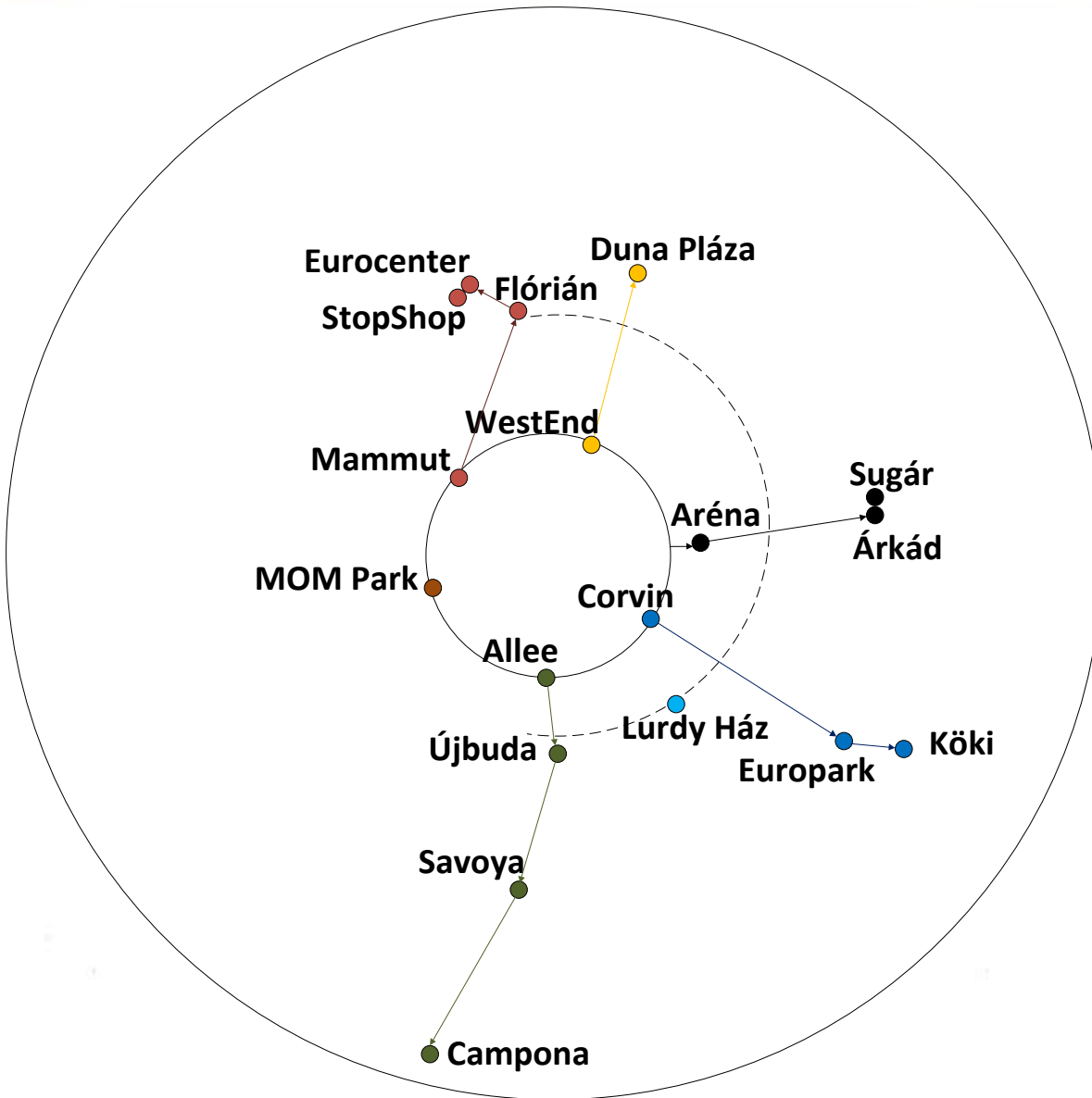
Multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system concepts



Current system



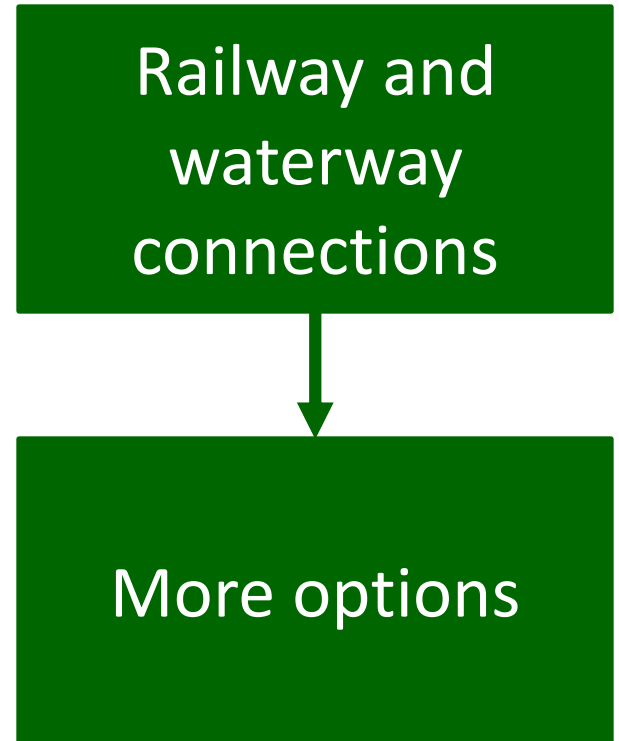
Geometric model



CC: outer ring

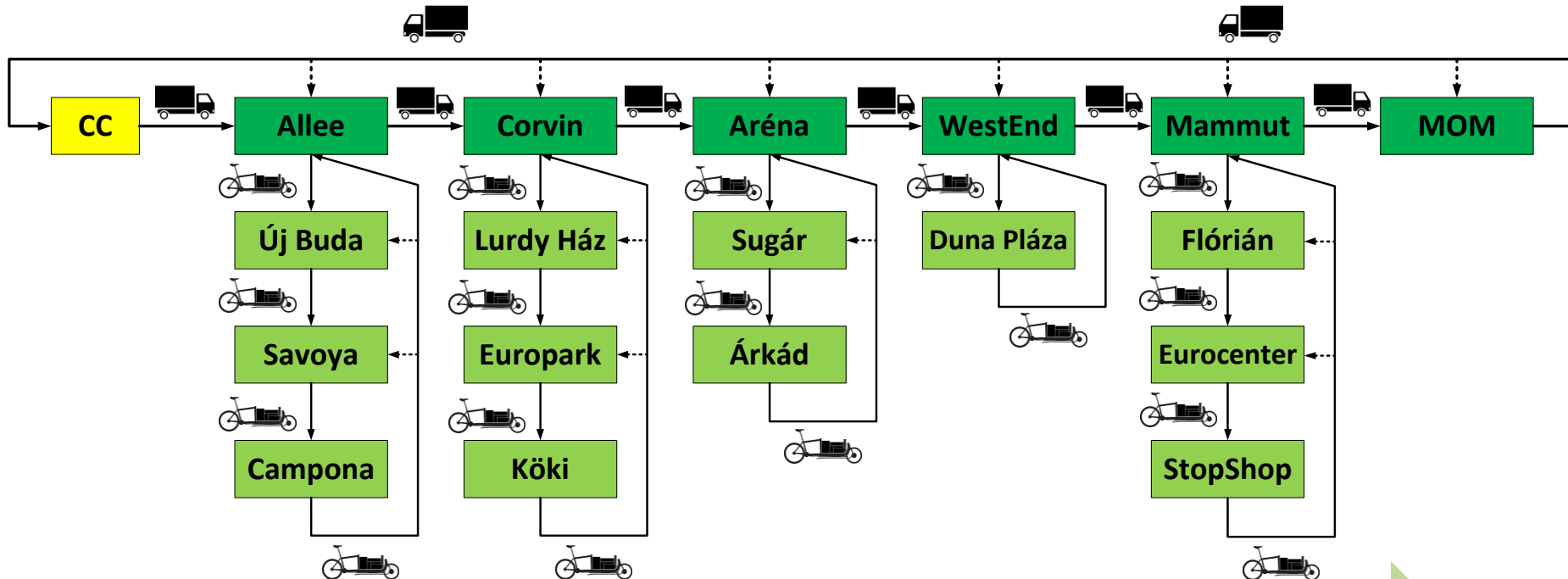
Inner ring of
the city

Rays





Three-stage city logistics system

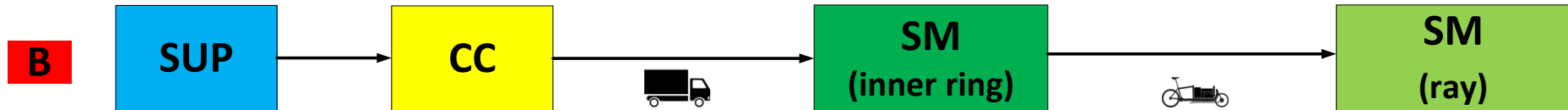
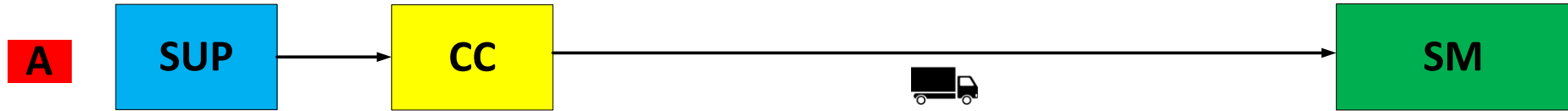


CC

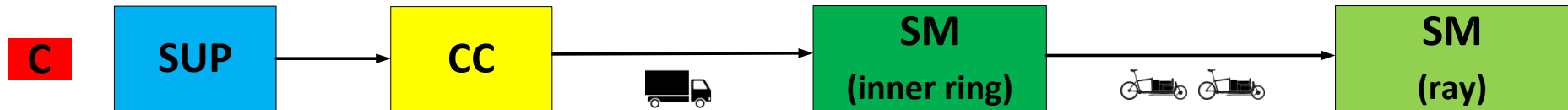
Inner ring

Rays

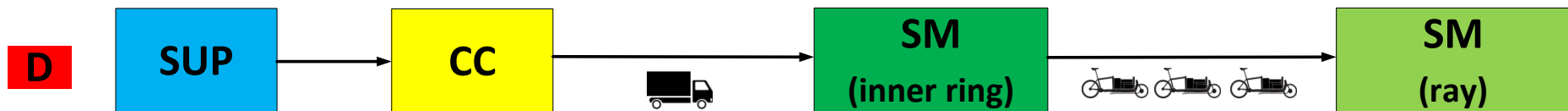
System concepts



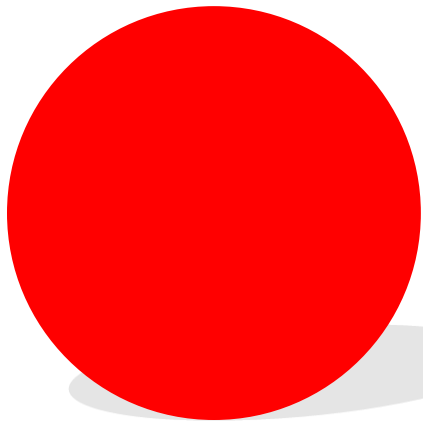
$$Q_{supply} \leq n \cdot C_{bike}^m$$



$$Q_{supply} \leq n \cdot 2 \cdot C_{bike}^m$$



$$Q_{supply} \leq n \cdot 3 \cdot C_{bike}^m$$



Modelling





Data collection

- 3 shopping malls from Budapest, 327 shops

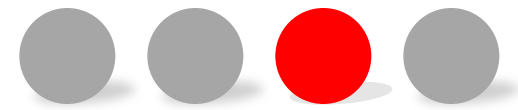
Estimation

- Aggregated data for the 3 examined malls: $x_{i(j)} = M(x)_j^l$

Estimation

- Aggregated data for the other 15 malls: $X_l = \sum_{j=1}^{20} N_j^l \cdot M(x)$

Vehicles



**A, B, C, D
concepts**

**B, C, D
concepts**



Simulation model

Macroscopic modell (in MS Excel)

- based on the mesoscopic model

Aggregated data of the 18 shopping malls

SZUM																													=Input!\$A\$12*"Distance in the city"!K11*Input!\$A\$12/100																												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	A																									
1					Petrol consumption [l/day]																																																				
2	Transport informations				Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26																										
3	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Hour																																																				
4	SM001	SUP0001	SM001	SKU001		15,6	15,2	17,0	13,9	18,3	12,6	20,8	10,1	21,6	9,3	16,8	14,0	16,6	14,3	17,4	13,6	15,4	23,2	7,7	20,8	10,1	21,7	9,1	17,6	13,3	18,2	1																									
5	SM002	SUP0001	SM002	SKU001		9,6	6,5	7,9	11,7	4,5	8,1	7,9	9,5	6,7	8,1	7,9	9,4	6,8	8,1	8,1	7,9	10,6	5,5	8,1	7,9	11,8	4,4	8,1	7,9	9,7	6,4																										
6	SM003	SUP0001	SM003	SKU001		26,6	21,9	40,7	7,8	26,9	21,8	24,3	24,3	24,3	24,3	32,8	15,8	25,2	23,4	31,7	17,0	24,3	24,3	24,3	24,3	49,1	0,0	23,8	46,4	2,4	24,3	2																									
7	SM004	SUP0001	SM004	SKU001		5,4	3,6	4,5	4,5	4,5	4,3	6,7	2,2	5,1	3,9	6,4	2,5	4,5	4,5	4,5	4,3	6,1	2,8	4,6	4,3	6,1	2,8	4,5	4,5	4,3																											
8	SM005	SUP0001	SM005	SKU001		2,4	0,4	2,2	0,6	2,8	0,0	2,6	0,2	2,0	0,8	2,4	0,4	2,0	0,8	1,6	1,2	2,4	0,4	1,6	1,2	1,8	1,0	1,6	1,2	2,2	0,6																										
9	SM006	SUP0001	SM006	SKU001		0,9	0,5	1,1	0,3	0,9	0,5	0,9	0,5	1,2	0,2	1,4	0,0	1,4	0,0	1,4	0,0	0,8	0,6	1,1	0,3	0,9	0,5	0,9	0,5	1,1	0,3																										
10	SM007	SUP0001	SM007	SKU001		30,3	23,5	28,6	25,2	40,1	13,7	28,9	24,9	39,1	14,7	38,5	15,3	43,2	10,6	40,2	13,6	37,8	16,0	36,2	17,6	34,8	19,0	27,0	26,8	41,5	12,3	2																									
11	SM008	SUP0001	SM008	SKU001		10,9	10,2	15,3	5,9	10,6	=Input	12,4	8,7	12,0	9,2	10,6	10,6	15,3	5,8	12,7	8,6	10,6	10,6	13,0	8,1	16,5	4,8	10,6	10,6	16,5	4,6	1																									
12	SM009	SUP0001	SM009	SKU001		10,4	6,3	13,6	3,2	8,4	10,1	6,6	11,9	4,9	8,4	10,7	6,0	11,8	5,1	8,4	10,7	6,0	9,4	7,5	8,4	10,6	6,1	10,1	6,8	8,4	13,3																										
13	SM010	SUP0001	SM010	SKU001		16,0	8,2	12,1	18,9	5,3	12,1	16,7	7,6	12,1	18,2	6,1	12,1	15,5	8,7	12,1	18,9	5,3	12,1	16,4	7,8	12,1	15,1	9,1	12,1	17,4	6,9	1																									
14	SM011	SUP0001	SM011	SKU001		4,2	0,3	4,2	0,4	2,2	3,3	1,2	2,7	1,8	2,2	3,5	0,9	4,3	0,3	2,2	3,8	0,7	2,6	2,0	2,2	3,5	0,9	2,4	2,2	2,2	3,0																										
15	SM012	SUP0001	SM012	SKU001		13,6	0,1	7,9	5,8	6,9	6,8	12,3	1,4	9,1	4,6	8,1	5,6	11,3	2,4	10,3	3,5	7,0	6,7	9,9	3,8	9,4	4,4	12,8	0,9	10,3	3,5	1																									
16	SM013	SUP0001	SM013	SKU001		14,6	10,6	20,1	5,2	12,6	12,6	20,1	5,0	16,4	8,9	12,6	12,6	16,6	8,6	15,6	9,7	12,6	12,6	20,1	5,0	20,0	5,3	12,6	12,6	22,3	2,9	1																									
17	SM014	SUP0001	SM014	SKU001		6,1	1,5	3,7	4,4	3,2	4,1	3,5	3,7	4,2	3,4	3,9	3,7	3,7	6,2	1,4	5,0	2,6	3,7	5,7	1,9	6,0	1,6	3,7	5,4	2,2	5,2																										
18	SM015	SUP0001	SM015	SKU001		18,0	14,2	16,0	22,5	9,7	16,2	16,0	16,0	21,5	10,7	27,0	5,2	16,0	23,3	8,9	17,1	15,1	16,0	18,9	13,3	22,5	9,7	16,0	21,5	10,7	23,1																										
19	SM016	SUP0001	SM016	SKU001		19,5	2,0	13,6	7,9	15,1	6,3	18,4	3,1	11,6	9,9	17,8	3,7	19,0	2,5	17,4	4,2	10,7	12,4	9,1	15,4	6,0	16,8	4,6	17,3	4,2	17,6																										
20	SM017	SUP0001	SM017	SKU001		8,7	2,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,5	7,2	4,2	10,3	1,0	7,8	3,6	9,7	1,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,5	8,4	3,0	10,3																										
21	SM018	SUP0001	SM018	SKU001		7,7	3,6	10,7	0,8	5,7	5,6	7,4	4,0	5,6	11,1	0,3	5,6	10,3	1,1	5,7	5,6	8,5	2,9	5,6	7,3	4,2	5,6	5,7	6,2	5,2	5,6	1																									
22					Fuel consumption [l/day]																																																				
23	Transport informations				Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26																										
24	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Hour																																																				
25	SM001	SUP0001	SM001	SKU001		120,4	117,3	130,6	107,1	140,8	96,9	160,2	77,5	166,3	71,4	129,6	108,1	127,5	110,2	133,6	105,1	118,3	178,5	59,2	160,2	77,5	167,3	70,4	135,7	102,0	139,8	9																									
26					Input	Transport days				Transports				Transport - weight				Transport - volume				Distance in the city				Delivery performance				Consumption				Emission				Output																			

Simulation model (current)



	A	B	C	D	E	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL			
1	Transport informations				Transports per day [t/day]																														Transports parameters		
2					Day	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Sum weight/month	Avg	Var			
3	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Hour																																
4	SM001	SUP0001	SM001	SKU001		139,3	###	94,2	94,9	107,6	69,8	74,2	48,5	117,9	37,7	120,5	78,5	133,4	68,6	55,9	81,6	113,9	113,3	61,9	154,9	47,7	139,3	47,8	78,1	48,3	82,1	2704,9	90,2	35,4			
5	SM002	SUP0001	SM002	SKU001		19,5	34,8	18,2	13,1	24,8	12,7	32,3	34,8	8,0	15,4	23,5	20,2	20,9	20,0	28,7	30,0	32,4	12,0	19,8	15,7	48,5	12,6	35,5	15,1	27,4	16,0	698,9	23,3	9,8			
6	SM003	SUP0001	SM003	SKU001		127,9	###	95,4	115,8	69,6	79,7	142,8	6,7	79,4	40,4	44,2	44,2	100,7	65,7	94,7	49,4	213,9	0,0	66,1	87,4	8,1	113,8	135,5	68,6	76,3	65,5	2347,6	78,3	48,8			
7	SM004	SUP0001	SM004	SKU001		26,3	9,4	36,6	18,6	14,7	22,4	14,3	9,9	21,5	10,3	10,4	20,7	15,0	23,0	25,0	19,1	18,1	29,5	27,3	13,1	28,7	22,6	12,1	24,2	37,0	12,4	611,6	20,4	7,8			
8	SM005	SUP0001	SM005	SKU001		4,1	0,6	4,3	0,7	6,1	2,9	9,3	0,5	2,6	4,4	0,4	9,3	0,6	3,3	1,4	3,9	1,5	4,0	2,9	1,3	5,6	6,6	3,1	6,2	3,8	5,1	105,4	3,5	2,4			
9	SM006	SUP0001	SM006	SKU001		5,7	0,4	2,7	1,0	2,8	2,1	6,9	0,7	3,9	2,3	3,2	1,9	2,1	2,5	5,4	0,4	8,7	0,0	4,1	1,3	7,6	0,8	2,8	0,4	4,0	4,3	95,0	3,2	2,3			
10	SM007	SUP0001	SM007	SKU001		228,7	68,1	109,2	159,4	70,5	112,2	126,8	101,7	176,6	56,9	137,8	70,1	200,4	42,2	83,8	150,9	91,8	106,6	128,1	55,6	197,8	120,1	103,7	62,2	136,1	98,8	3414,3	113,8	46,7			
11	SM008	SUP0001	SM008	SKU001		23,5	25,1	27,5	34,8	80,4	13,6	53,9	51,5	47,6	15,0	28,9	30,1	20,5	46,1	49,7	23,6	61,6	20,2	30,5	35,0	60,7	16,0	75,6	15,0	58,2	49,4	1184,2	39,5	18,4			
12	SM009	SUP0001	SM009	SKU001		19,9	26,6	22,3	32,7	9,8	37,4	54,1	12,3	21,1	38,3	23,1	53,2	24,5	63,9	21,1	36,3	51,9	20,4	37,0	18,5	19,7	23,8	24,0	52,2	23,5	31,8	899,4	30,0	13,4			
13	SM010	SUP0001	SM010	SKU001		53,0	72,4	45,6	54,1	79,1	112,4	54,2	81,0	109,0	35,8	47,3	###	39,3	89,1	54,6	38,8	62,3	46,7	69,6	59,3	42,7	49,9	65,7	89,8	70,1	85,6	1971,7	65,7	25,1			
14	SM011	SUP0001	SM011	SKU001		21,7	23,9	17,7	17,4	14,7	21,2	11,5	5,3	34,9	3,7	19,8	12,4	13,5	29,1	4,1	15,1	9,8	8,8	30,4	8,2	20,4	22,5	14,1	29,5	11,6	11,7	491,7	16,4	8,6			
15	SM012	SUP0001	SM012	SKU001		33,7	12,3	52,3	18,6	48,7	1,3	20,7	8,9	45,3	3,1	56,8	7,1	57,2	6,8	61,9	4,8	33,8	12,8	43,8	7,2	29,2	23,1	42,2	12,7	34,2	13,9	791,9	26,4	18,8			
16	SM013	SUP0001	SM013	SKU001		49,1	38,0	72,7	10,7	68,9	63,6	52,1	42,0	51,7	21,2	69,2	54,5	41,4	28,4	38,5	13,1	44,2	19,9	36,1	63,6	97,5	27,6	28,4	34,3	46,9	36,9	1364,8	45,5	25,4			
17	SM014	SUP0001	SM014	SKU001		12,4	17,5	10,0	6,8	30,6	7,7	17,0	3,8	12,5	11,9	7,4	14,9	17,4	9,3	26,7	7,0	20,9	11,1	12,0	27,1	6,5	18,2	13,6	19,7	10,0	13,3	424,9	14,2	6,6			
18	SM015	SUP0001	SM015	SKU001		27,2	###	28,9	78,8	51,4	32,9	57,2	21,0	74,6	74,8	32,4	###	26,4	82,2	84,7	26,9	99,5	22,3	81,6	94,2	17,0	122,5	22,8	80,7	139,5	24,7	1923,1	64,1	38,6			
19	SM016	SUP0001	SM016	SKU001		42,1	47,7	56,4	21,9	74,1	15,4	41,9	23,3	25,8	16,6	71,4	17,9	57,9	79,0	10,5	62,3	22,6	83,0	11,0	26,1	30,6	36,8	23,5	73,1	17,1	58,4	1208,8	40,3	23,4			
20	SM017	SUP0001	SM017	SKU001		22,4	11,3	23,4	11,0	21,1	7,0	23,6	4,4	16,8	5,3	12,2	12,4	18,4	8,0	11,4	24,8	19,6	24,6	11,9	25,3	5,7	13,9	18,5	22,7	15,1	8,3	468,1	15,6	6,7			
21	SM018	SUP0001	SM018	SKU001		5,0	18,4	25,4	7,5	8,1	47,2	0,9	12,6	22,6	6,8	15,5	11,2	27,5	9,1	10,6	11,7	10,9	8,0	49,3	2,0	14,0	19,4	29,9	7,7	25,1	23,3	501,5	16,7	11,9			
22					Sum																														21207,9	706,9	
23																																					
24																																					
25																																					
26																																					
27																																					
28																																					
29																																					
30																																					
31																																					

Input

Transport days

Transports

Transport - weight

Transport - volume

Distance in the city

Delivery performance

Consumption

Emission

Output

⊕

Number of deliveries

Weight and volume

Delivery performance

Consumption, emission

Simulation model (new concepts)



SUP-CC
deliveries

CC-SM
deliveries

Performance,
distance

Consumption,
emission,
vehicles

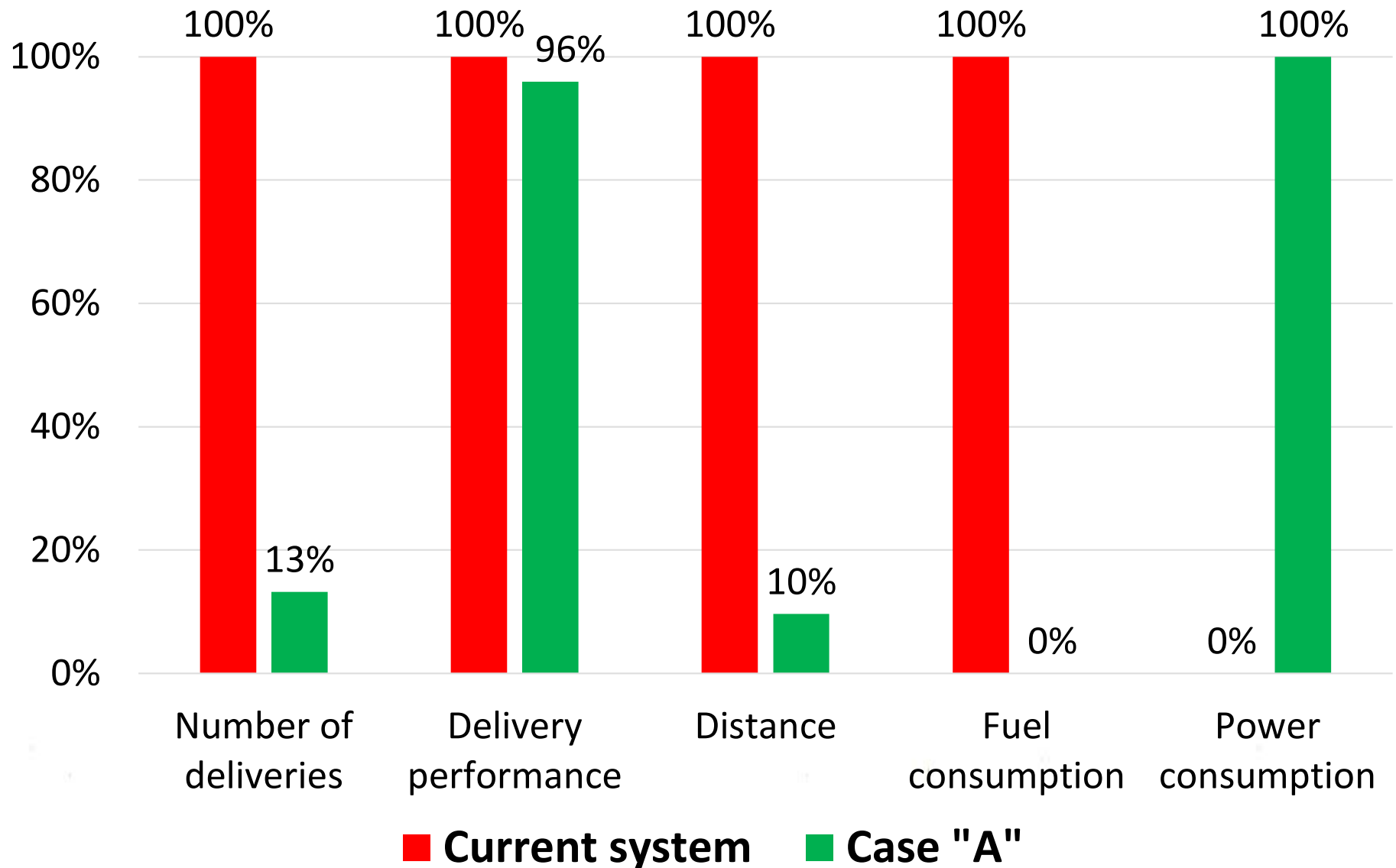
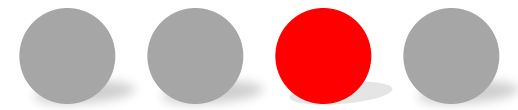
Component 1

Component 2

A1

FTL and LTL routes based on the
geometric model

Current system and concept "A"





EMOSS CM 12

- “B”-“D” concepts: 96 delivery/day

Delivery
performance:
6550-6635 tkm/day

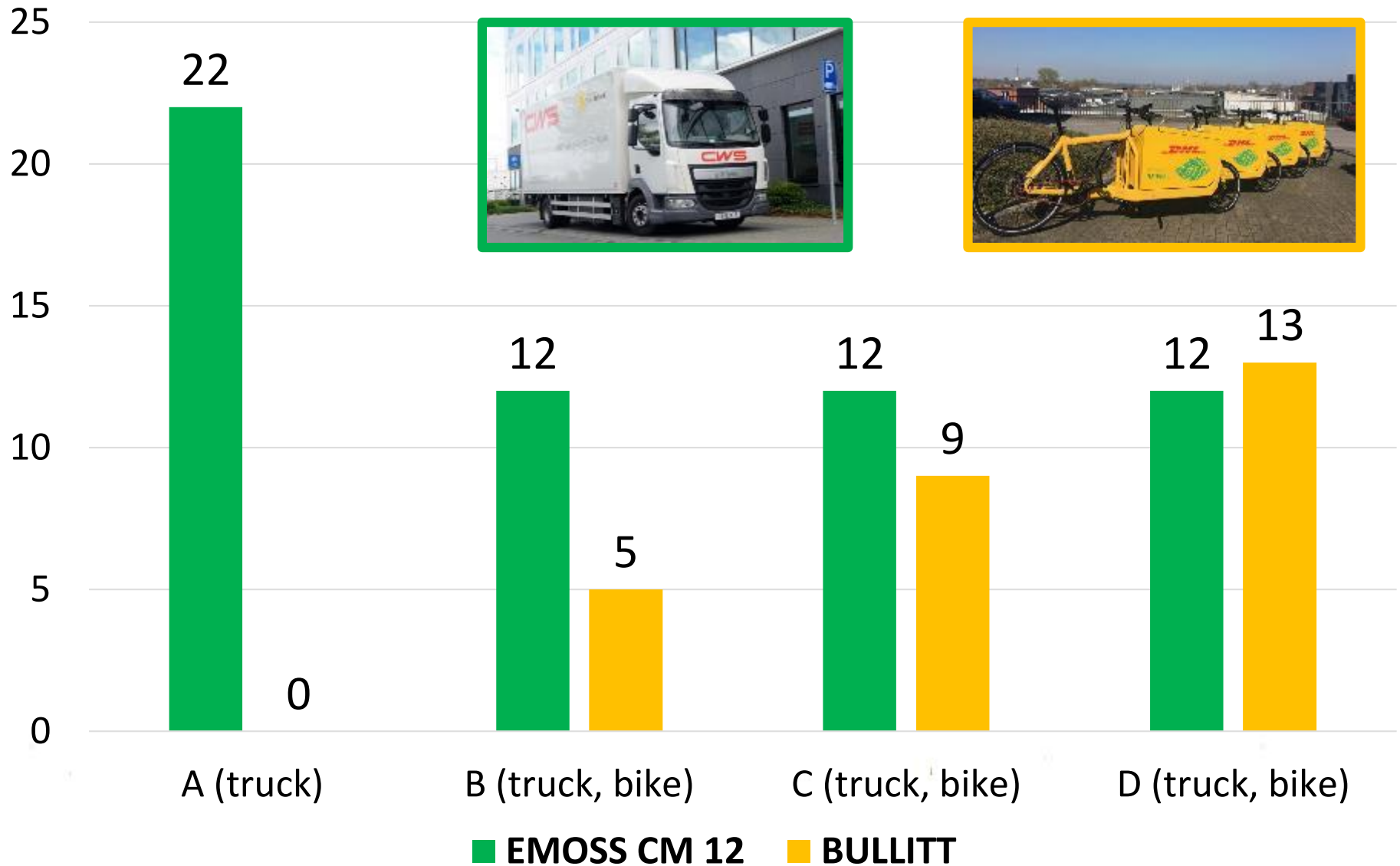


BULLITT

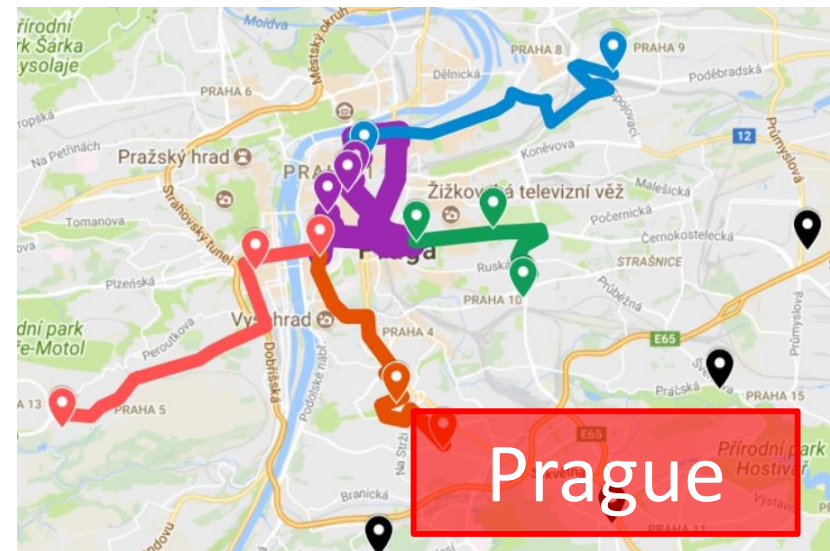
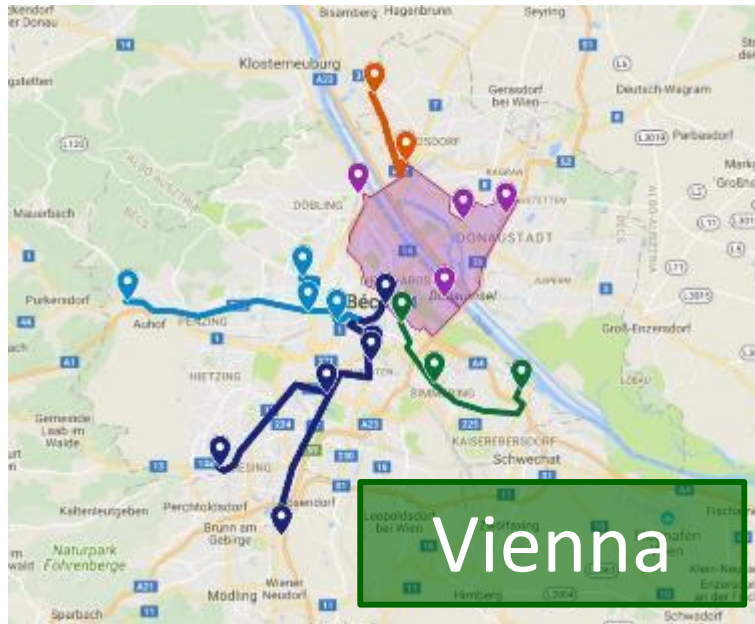
- “B” concept:
21 delivery/day
- “C” concept:
119 delivery/day
- “D” concept:
184 delivery/day

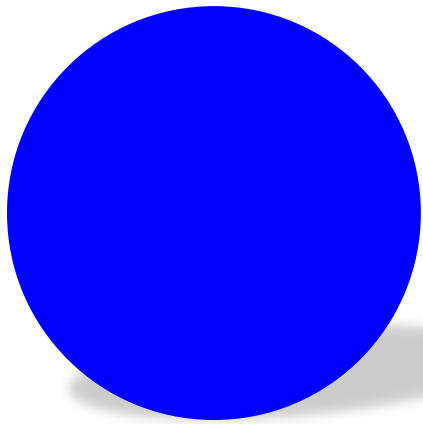
Energy
consumption: **1823-
1833** kWh/day

Number of vehicles



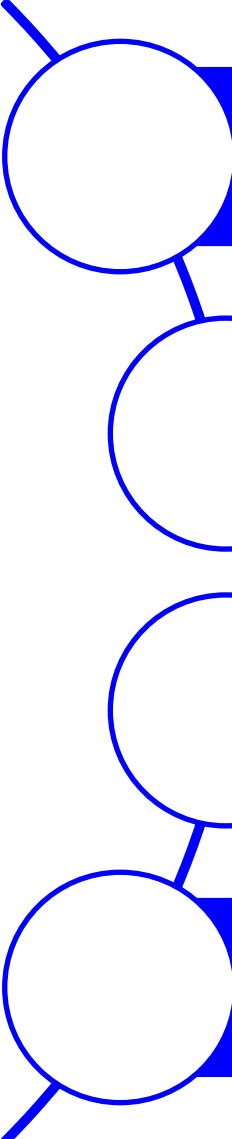
Other cities





Next steps





Adding other supplies to the concepts

Inverse logistics processes

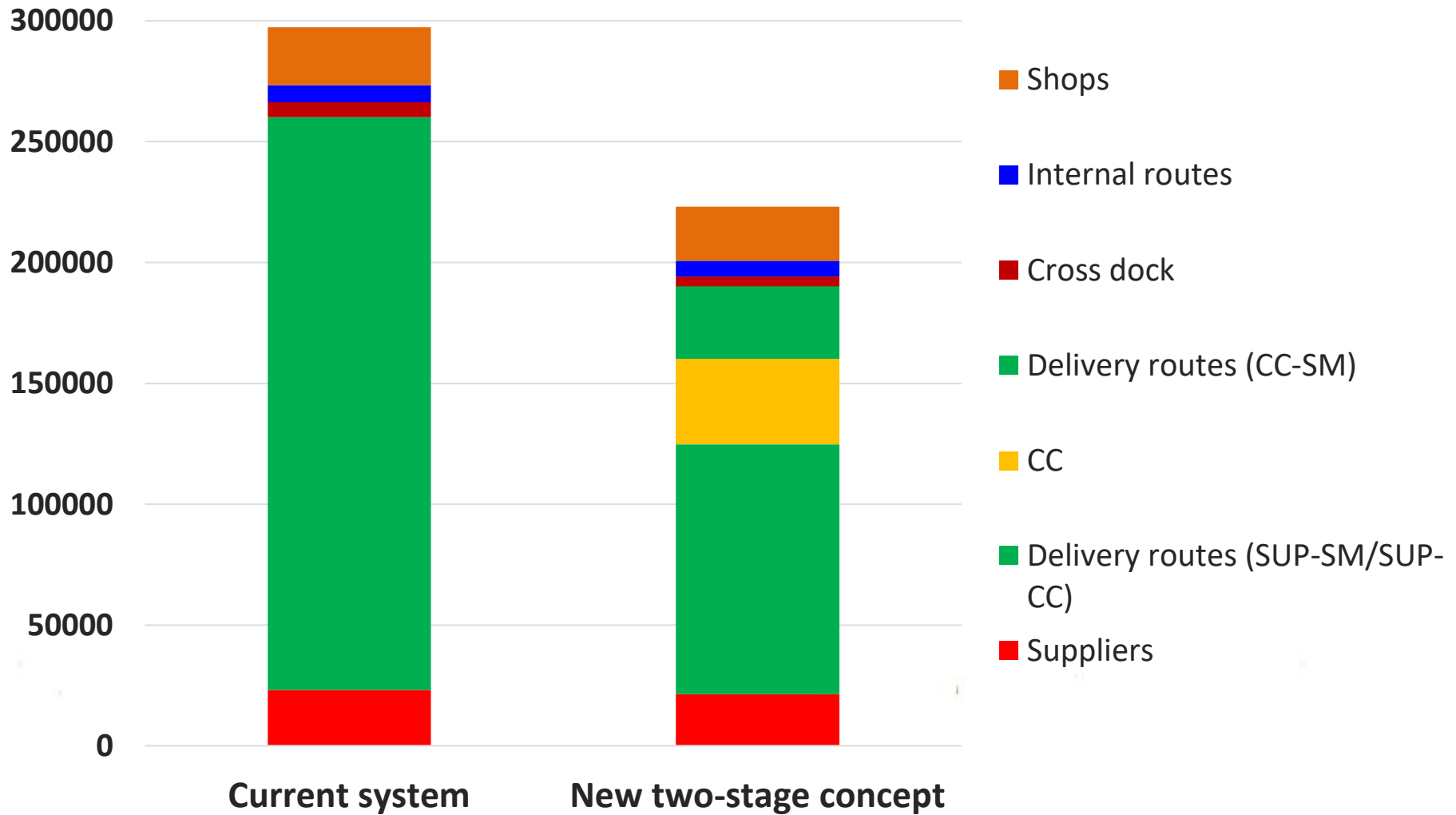
Cost modelling on macroscopic level

Use of other transport modes (train, tram, cargo boat)

Costs (concept “A”)

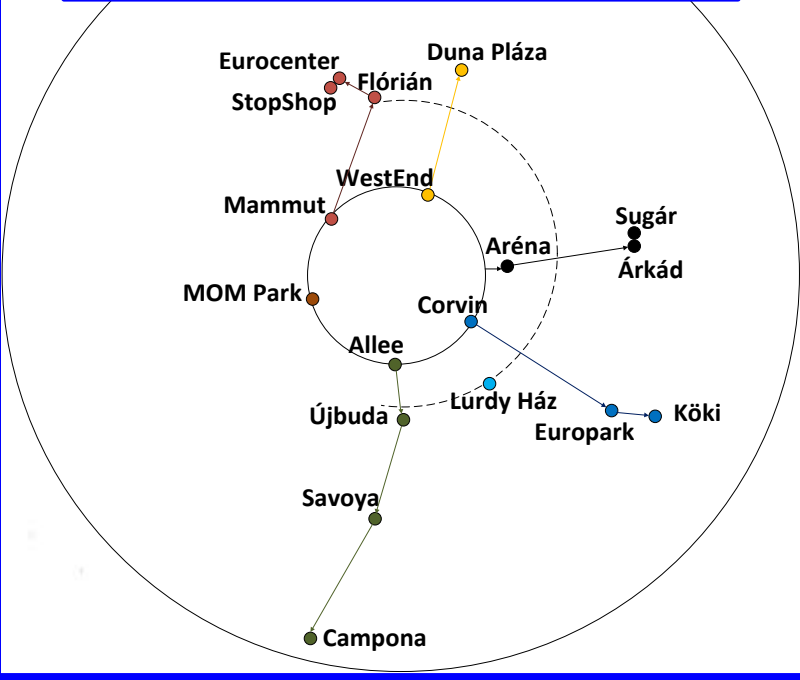


Sum of logistics costs for 178 shops [EUR/month]



Multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system concepts

Geometric model



Simulation model

Performances, emissions and number of vehicles

Macroscopic simulation model of a multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system in the supply of shopping malls in Budapest



Budapest University of Technology and Economics, Department of Material Handling and Logistics Systems

Krisztián Bóna PhD
krisztian.bona.@logisztika.bme.hu

Dávid Lajos Sárdi
david.sardi@logisztika.bme.hu



SUPPORTED BY THE ÚNKP-17-2 NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM OF THE
MINISTRY OF HUMAN CAPACITIES