



7. OPTIMIZACIJA DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA Z METODO GRAVITACIJSKIH TOČK



Poglavje obravnava problem optimizacije logističnega omrežja z uporabo gravitacijske točke (metoda gravitacijske točke). Omrežje oskrbovalne verige pretvarja surovine v končne izdelke in jih seveda dostavlja končnim kupcem (potrošnikom). Vključuje različne vrste objektov. Načrtovanje omrežja oskrbovalne verige (SCND) je pomembno vprašanje, povezano z upravljanjem oskrbovalne verige (SCM). Najpomembnejša vprašanja, obravnavana v tem poglavju, vključujejo:

- omrežje oskrbovalne verige,
- distribucijsko omrežje,
- metoda gravitacijske točke.

7.1. Uvod

Oblikovanje omrežja oskrbovalne verige (SCND) je pomembno vprašanje, povezano z upravljanjem oskrbovalne verige (SCM). Oskrbovalno verigo razumemo kot zapleteno omrežje podjetij in objektov, ki so večinoma razporejeni na velikem geografskem območju. Ta oskrbovalna veriga mora prek omrežja sinhronizirati številne medsebojno povezane dejavnosti.

Omrežje oskrbovalne verige pretvarja surovine v končne izdelke in jih seveda dostavlja končnim kupcem (potrošnikom). Vključuje različne vrste predmetov. Zato se načrtovanje in oblikovanje omrežja oskrbovalne verige osredotoča na določitev števila in vrst posameznih



povezav ter usklajevanje dejavnosti med njimi. Tipične povezave v omrežju oskrbovalne verige sestavljajo dobavitelji in podizvajalci, proizvodni in montažni obrati, distribucijski centri, skladišča in kupci (Govindan et al., 2017). Tipični tokovi materiala potekajo od dobaviteljev do kupcev. Ločimo lahko tudi povratne tokove (tako imenovana povratna logistika). Ne pozabite tudi na potrebo po načrtovanju in oblikovanju tokov ter obravnavanju problemov, povezanih s številnimi različicami/vrstami izdelkov. Analiza, povezana z lokacijo določenega objekta v dobavni verigi, je pomembno vprašanje za delovanje te verige in stroške.

7.2. Logistično omrežje

Kompleksnost omrežja oskrbovalne verige je pomembna in vpliva na odločitve o načrtovanju skupaj s klasičnimi odločitvami o dodelitvi lokacij za doseganje integriranega sistema (Govindan et al., 2017).

Ob upoštevanju treh ravni odločanja je treba na strateški ravni sprejeti odločitve o oskrbovalni verigi, kot so (1) število, (2) lokacija in (3) zmogljivost objektov. Strateške odločitve imajo običajno časovno obdobje od treh do petih let. Strateške odločitve v zvezi z zasnovo logističnega omrežja vplivajo na uspešnost storitev, povezanih s povpraševanjem strank. Odločitev o načrtovanju ni mogoče sprejeti brez upoštevanja vpliva na operativne odločitve. **Taktične odločitve** običajno zajemajo obdobje od treh mesecev do treh let. Na primer, odločitve o cenah so običajno umeščene na raven taktičnega načrtovanja. **Operativne odločitve (na primer odločitve o usmerjanju vozil) pogosto obsegajo od ene ure do enega trimesečja (Govindan et al., 2017).** Seveda je lahko obseg sprejetih odločitev odvisen od narave oskrbovalnih verig.

Pri izbiri najboljše lokacije za poslovni objekt se lahko upošteva splošna ali posebna lokacija. Splošna lokacija opredeljuje določeno območje, kjer naj bi se nahajal določen gospodarski objekt.

Na lokacijo predmeta v dobavni verigi vpliva veliko dejavnikov. Ti so med drugim:

- viri surovin in lokacije trgov za proizvodne materiale (predvsem surovine, sestavni deli),



- industrijske tradicije regije, vključno z dostopnostjo do dobaviteljev in kupcev (zlasti pomembno za dejavnost vmesnih povezav),
- delovno silo (zaposlitvene možnosti, plačilo, razpoložljivost, stopnja usposobljenosti),
- možnosti zagotavljanja energetskih dejavnikov,
- davčnih predpisov in upravnih omejitev,
- podnebne in terenske razmere,
- razpoložljivost cest in transportnih točk,
- značilnosti prebivalstva, družbenopolitični odnosi,
- značilnosti infrastrukture (ceste, šole, komunikacije),
- možnost razširitve objekta.

Podrobna lokacija pa označuje določeno nepremičnino ali območje, kjer bo objekt zgrajen. Izbira podrobne lokacije je povezana na primer z njeno tehnično infrastrukturo, razpoložljivostjo prometne infrastrukture (lokalne ceste) in lokalnim razvojnim načrtom.

Podrobneje morate upoštevati tudi:

- plače v sosednjih obratih,
- možnosti komunikacije za posadko in potne stroške,
- možnost nakupa zelenega zemljišča v izbrani regiji,
- ceste, avtoceste in urejanje zemljišč z vodovodnim in plinskim omrežjem,
- varnostna območja za vonjave, hrup in onesnaženje,
- teren, ki omogoča gradnjo proizvodnih in pomožnih objektov, parkirišč
- možnost prihodnje širitve glede na potrebe proizvodnega procesa in zahteve arhitekturnih in gradbenih organov.

Ta študija ne zajema podrobne lokalizacije.

Pomembno se je zavedati, da oskrbovalne verige delujejo v spreminjajočem se okolju. Pogosto se zgodi, da se objekti v določenem obdobju načrtovanja zaprejo, odprejo ali ponovno odprejo več kot enkrat. Zaradi dinamike trga je treba sprejeti še eno odločitev, tj. vprašanje povečanja, zmanjšanja ali prenosa proizvodnih zmogljivosti obratov v logistični mreži. Drugo



pomembno vprašanje so vse vrste **motenj** v delovanju oskrbovalnih verig. Motnja v delovanju oskrbovalne verige je dogodek, ki se lahko pojavi v delu oskrbovalne verige na primer zaradi naravnih nesreč (npr. potresov in poplav) ter namernih ali nenamernih človeških dejanj (npr. vojn in terorističnih napadov). Opredeljen je kot dogodek, ki prekine pretok materialov v dobavni verigi, zaradi česar se pretok blaga nenadoma ustavi. Že majhna motnja ima lahko uničujoč vpliv na delovanje dobavnih verig, saj se kaskadno širi po verigi (Grzybowska in Stachowiak, 2022). In ker so oskrbovalne verige zapletene in heterogene strukture, so občutljive na grožnje in jih je težko upravljati.

Distribucijsko omrežje, ki je pogosto spodnji del omrežja SC, sestavljajo tokovi izdelkov od skladišč do kupcev ali trgovcev na drobno. Načrtovanje takega omrežja zahteva reševanje dveh zahtevnih kombinatoričnih optimizacijskih problemov, vključno z določitvijo lokacije objekta in poti vozil za oskrbo kupcev.

7.3. Koncept uporabe gravitacijskega modela v logističnem omrežju

Ključ do razvoja regionalne logistike je izgradnja razumnega logističnega omrežja. Gravitacijski model izhaja iz Newtonove gravitacije in spomnimo se: gravitacijski zakon je zakon univerzalne gravitacije, katerega namen je opisati silo, s katero se telesa medsebojno privlačijo.

Postopoma se je koncept uporabe gravitacijskega modela po analogiji s fiziko začel uporabljati tudi v drugih študijah, na drugih področjih in področjih. V svoji kasnejši širitvi se je poleg dokazovanja obstoja same teorije gravitacijskega modela uporabljal na številnih področjih. Med njimi so najbolj razvite raziskave, povezane s trgovino, prostorskimi povezavami mest in logistiko

- Reilly je prvi uporabil gravitacijski model za preučevanje odnosov med mesti (1929),
- Stewart je predlagal koncept gravitacijskega modela (1948),
- Tinbergen je uvedel gravitacijski model (GM) za mednarodno trgovino (1962),
- Huff je predlagal uporabo gravitacijskega modela za oceno tržnega deleža (1963);



- Bergstrand je pojasnil ponudbeno stran gospodarstev in s konstantno elastičnostjo transformacije (CET) (1989) nakazal teoretične temelje odnosa med opremljenostjo s proizvodnimi dejavniki in trgovino,
- Kong in drugi so preučevali načrtovanje omrežij zelenih površin z uporabo gravitacijskega modela (2010),
- Duanmu in drugi so razvili povezan gravitacijski model in genetski algoritem za preučevanje porazdelitve naboja (2012),
- Puertas in drugi so za analizo logističnega omrežja uporabili gravitacijski model in ocenili indeks logistične učinkovitosti (2014),
- Zhu in Fan sta uporabila gravitacijski model za preučevanje intenzivnosti logističnih povezav v regionalni celinski logistiki (2017).

Razdalja v Newtonovem modelu je približek upora pri gibanju, tj. dejavnik, ki slabi silo privlačnosti. To pomeni, da bolj ko sta partnerja oddaljena drug od drugega, manj intenzivno je njuno medsebojno trgovanje. Glavni razlog za to so stroški trgovinskih transakcij, ki se z naraščajočo geografsko razdaljo povečujejo. Ti stroški med drugim vključujejo stroške transporta ali zavarovanja tovora (Bukowska, 2018).

Geografska lokacija je bila vedno dejavnik, ki je določal poslovno dejavnost. Pomen in možnosti transporta so se spremenili. Geografija je eden glavnih virov trgovinskih stroškov, tj. prostorskih značilnosti držav, ki vplivajo na njihove domače in mednarodne transportne stroške. Značilnosti, ki se upoštevajo, vključujejo geografsko razdaljo med objekti ali državami. V primeru analize držav analiza vključuje odgovore na vprašanja: ali imajo države skupno mejo, ali gre za celinske države, ali gre za otoške države? Intuicija kaže, da večja geografska razdalja, odsotnost skupne meje in/ali večja oddaljenost od trgovinskega partnerja negativno vplivajo na stroške transporta. Zato negativno vpliva na mednarodno trgovino. Te posledice je mogoče ublažiti z razvojem infrastrukture, kot so gradnja avtocest, predorov, letališč in pristanišč (Azmi idr., 2024).

Eden od dejavnikov pri lokaciji poslovnih objektov je bližina prodajnega trga. Ta bližina dobi nov in ključen pomen. Po izkušnjah s pandemijo COVID-19 in v zvezi z izboljšanjem odpornosti oskrbovalnih verig na motnje postaja ponovno velika prednost.



To velja zlasti za podjetja, ki:

- proizvajajo ali dobavljajo hitro pokvarljivo blago,
- za katere je značilna visoka cenovna elastičnost ponudbe ali ponujenih storitev,
- proizvajajo izdelke, za katere je značilna velika spremenljivost povpraševanja,
- proizvajajo ali prevažajo blago, ki je obremenjujoče za transport.

7.4 Tipičen postopek odločanja o lokaciji objekta v oskrbovalni verigi

Kratkoročno mora vodja delovati v okviru omejitev, ki jih nalaga lokacija. Dolgoročno pa lokacija postane spremenljivka in vodja lahko sprejme odločitev o spremembi lokacije, da bi izpolnil zahteve kupcev, dobaviteljev ali spremembe, ki jih uvajajo konkurenti.

Zunanji dejavniki, ki vplivajo na motivacijo za analizo lokacije novega objekta ali spremembo lokacije objekta, so:

- širitev na nove trge,
- premikanje stanovanjskih skupin,
- grožnje konkurence,
- nastanek novih dobavnih trgov.

Lokacija mora izpolnjevati dve merili: kvantitativno (stroški) in kvalitativno. Najprej se upoštevajo kvantitativna merila. Vzorec lokacije objekta ima obliko:

$$C = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

kjer:

C - masno središče

d_i - razdalja od točke 0 v mreži do lokacije vira surovin i

D_i - razdalja od točke 0 v mreži do točke, kjer se nahaja vir prodajnega trga

S_i - količina mase surovin, kupljenih iz dobavnih virov i

M_i - masa količina končnih izdelkov, prodanih na trgu i

r_i - hitrost transporta končnega izdelka i



R_i - stopnja transporta za surovino i .

To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:

masno središče = $a + b / c + d$

$a = \text{SUM} [\text{stopnja transporta surovine}(i) * \text{razdalja od točke 0 mreže do točke, kjer se nahaja vir surovine}(i) * \text{prostornina teže surovine}(i)]$



$b = \text{SUM} [\text{stopnja transporta za končni proizvod}(i) * \text{razdalja od točke 0 na mreži do točke, kjer se nahaja vir trga}(i) * \text{prostornina teže končnega proizvoda}(i)]$

$c = \text{SUM} [\text{stopnja transporta za surovine}(i) * \text{prostornina teže surovin}(i)]$

$d = \text{SUM} [\text{stopnja transporta za končni proizvod}(i) * \text{razdalja od točke 0 na mreži do točke, kjer se nahaja vir trga}(i)]$

7.5 Razčlenjeni in združeni gravitacijski modeli

Obstaja veliko različic gravitacijskega modela, ki se lahko uporabljajo za simulacijo tokov med trgovci na drobno in potrošniki. Izbira modela je odvisna od namena njegove uporabe in od razpoložljivih podatkov, ki jih je mogoče prilagoditi modelu. Pri izbiri gravitacijskega modela je pomemben dejavnik tudi raven agregacije. Nakupovalne interakcije med potrošniki in trgovci na drobno je mogoče predstaviti v dezagregiranem modelu, ki ocenjuje vedenje potrošnikov. Lahko pa so predstavljeni tudi v **agregiranem modelu**. V tej različici se maloprodajna mesta na območju ocenjujejo kolektivno (Schlaich, 2020). V agregatnih modelih značilnosti posameznih trgovin in natančne razdalje med potrošnikom in trgovcem na drobno izginejo. Po drugi strani pa se z združevanjem v območja bistveno zmanjša kompleksnost modela, saj se zmanjša nabor destinacij.



Med vsemi modeli prostorske interakcije v maloprodaji je Huffov (1963) gravitacijski model eden od najbolj uporabljenih. V svoji začetni obliki ta model izračunava verjetnost obiska glede na velikost trgovine in prevoženo razdaljo.

Pri gravitacijskih modelih je pomembno določiti spremenljivko, ki opisuje "moč vzajemne privlačnosti" trgovinskih partnerjev, tj. modelsko pojasnjeno (odvisno) spremenljivko. Gravitacijski modeli geografom in ekonomistom zagotavljajo prilagodljivo orodje za analizo.

7.6 Uravnoteženi gravitacijski model

Metoda uravnoteženega težišča se uporablja za določitev lokacije posameznega gospodarskega objekta (npr. skladišča). Upošteva vire povpraševanja različnega pomena in lokacije. Lokacija se določi z uporabo koordinat (X, Y), ki označujejo položaj točke na zemljevidu. Pomembnost je povezana na primer z obsegom dostave, številom ljudi, ki živijo na določeni lokaciji, ali vrednostjo prodaje. Uporabite lahko tudi drug kazalnik, pomembno je, da je ustrezno prilagojen razmeram. Opisana metoda uporablja utežene koeficiente oskrbovalnih točk, ki ustvarijo točko na zemljevidu, označeno s koordinatami.

Za metodo obteženih centroidov uporabite model:

$$X^* = \frac{\sum W_i \cdot X_i}{\sum W_i}$$
$$Y^* = \frac{\sum W_i \cdot Y_i}{\sum W_i}$$

kjer,

X_i, Y_i - koordinate i-tega vira povpraševanja

W_i - utež i-tega vira povpraševanja

Utežene koordinate(X^*, Y^*) , izračunane s pomočjo modela, kažejo ustrezno lokacijo oskrbne točke, pri čemer se upošteva pomembnost (pomembnost) posameznih virov povpraševanja.



To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:



Koordinate točke oskrbe (X) = SUM [(ponderirani kazalnik vira povpraševanja_(i) * koordinate X_(i))] / SUM koordinate X_(i)

Koordinate točke oskrbe (Y) = SUM [(tehtani kazalnik vira povpraševanja_(i) * koordinate Y_(i))] / SUM koordinate Y_(i)

Metoda uravnoveženega težišča omogoča določitev lokacije gospodarskega objekta na izbranem geografskem območju. Metoda je preprosta za uporabo in pomeni določitev dveh parametrov na geografski mreži.

Razširitev te metode je model:

$$Koordinate_{(X,Y)} = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

kjer je

Koordinate_(X,Y) - težišče

r_i - hitrost transporta končnega izdelka *i*

d_i - razdalja od točke *O* v mreži do lokacije vira surovin *i*

S_i - količina mase surovin, kupljenih iz dobavnih virov *i*

R_i - stopnja transporta za surovino *i*

D_i - razdalja od točke *O* v mreži do točke, kjer se nahaja vir prodajnega trga *i*

M_i - masa količina končnih izdelkov, prodanih na trgu *i*

Izračuni se izvajajo za navpične in vodoravne koordinate.

To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:



Števec(X) = SUM (stopnja transporta za končni izdelek_(i) * razdalja od točke 0 v mreži do lokacijske točke vira surovin_(xi) * prostornina teže surovin, kupljenih iz virov oskrbe_(i)) + SUM (transportna stopnja za surovine_(i) * razdalja od točke 0 na mreži do lokacijske točke tržnega vira_(xi) * obseg teže končnih proizvodov, prodanih na trgu_(i))



Imenovalec = SUM (transportna stopnja za končni izdelek_(i) * utežni volumen surovin, kupljenih od dobaviteljev_(i))) + SUM (tovorna stopnja za surovine_(i) * masni obseg končnih izdelkov, prodanih na trgu_(i)))

Koordinate oskrbovalne točke (X) = števec_{((X))} / imenovalec

Števec(Y) = SUM (stopnja transporta za končni izdelek(i) * razdalja od točke 0 na mreži do lokacijske točke vira surovin(Yi) * prostornina teže surovin, kupljenih od virov oskrbe(i)) + SUM (stopnja transporta za surovine(i) * razdalja od točke 0 na mreži do točke lokacije vira na trgu(Yi) * masa končnih izdelkov, prodanih na trgu(i))_i)

Imenovalec = SUM (tovorna stopnja za končni izdelek_(i) * volumen teže surovin, kupljenih iz dobavnih virov_(i)) + SUM (transportna stopnja za surovine_(i) * masni obseg končnih izdelkov, prodanih na trgu_(i))

Koordinate oskrbovalne točke (Y) = števec (Y) / imenovalec

7.7 Gravitacijski model v mednarodni trgovini

Tinbergen (1962) je prvi intuitivno razložil dvostranske trgovinske tokove v mednarodni trgovini. Njegova odkritja so postavila temelje sodobnemu gravitacijskemu modelu, ki predpostavlja, da je trgovina med državami neposredno sorazmerna z velikostjo njihovih gospodarstev in obratno sorazmerna s stroški trgovine. To je treba razumeti na naslednji način:

- od večjih držav se pričakuje, da bodo več trgovale,
- Pričakuje se, da bodo države, ki so bolj oddaljene, manj trgovale (morda zaradi višjih trgovinskih stroškov).

Od takrat se model pogosto uporablja v industrijski literaturi za razlago mednarodnih trgovinskih tokov. Zaradi učinkovitosti gravitacijskega modela pri raziskovanju trgovine smo



priča precejšnjemu povečanju uporabe gravitacijskega modela za oceno različnih vidikov mednarodne trgovine (Azmi et al. 2024).

$$X_{ij} = \alpha_i + \beta_1 \cdot GDP_i + \beta_2 \cdot GDP_j + \beta_3 \cdot TC_{ij} + \mu_i$$

kjer:

X_{ij} - tok mednarodne trgovine iz države I v državo J

GDP_i in GDP_j - bruto domači proizvod države izvora in namembne države

TC_{ij} - stroški trgovine med dvema državama, ocenjeni na podlagi geografske razdalje med glavnimi mesti

μ_i - naključna napaka

α_i - presečišče modela;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - koeficienti, ki merijo vpliv pojasnjevalnih spremenljivk.

To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:



Trgovinski tok = intercept + koeficient₍₁₎ * dohodek države izvoznice + koeficient₍₂₎ * dohodek države uvoznice + koeficient₍₃₎ * stroški trgovine med dvema državama + naključna napaka

Znane so tudi različne različice predstavljenega modela. Tukaj je ena od njih:

$$X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot y_i + \beta_2 \cdot y_j + \beta_3 \cdot n_j + \beta_4 \cdot n_i + \beta_5 \cdot d_{i,j} + \beta_6 \cdot D_{ij} + \mu_{ij}$$

kjer:

X_{ij} - blagovni tok (izvoz ali uvoz iz države i v državo j)

y_i - dohodek države izvoznice i

y_j - dohodek države uvoznice

n_j - prebivalstvo države j ,

$d_{i,j}$ - razdalja med državama i in j

D_{ij} - navidezna spremenljivka z vrednostjo 1, če sta državi i in j članici posebnih preferencialnih trgovinskih območij, in 0 v nasprotnem primeru.



β_0 - predstavlja presečišče

$\beta_1 - \beta_6$ - koeficienti $y_i, y_j, n_j, n_i, d_{i,j}, D_{ij}$ respectively

μ_i - naključna napaka.

To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:



Trgovinski tok = intercept + koeficient₍₁₎ * dohodek države izvoznice + koeficient₍₂₎ * dohodek države uvoznice + koeficient₍₃₎ * prebivalstvo države j + koeficient₍₄₎ * prebivalstvo države i + koeficient₍₅₎ * razdalja med državami + koeficient₍₆₎ * fikcija + naključna napaka

7.8 Gravitacijski model za lociranje konkurenčnih predmetov

Večina konkurenčnih modelov lokacije objektov predpostavlja, da se vsa razpoložljiva kupna moč razdeli med konkurenčne objekte.

Vodilo vseh konkurenčnih lokacijskih modelov je obstoj medsebojnih povezav med štirimi spremenljivkami: kupna moč (povpraševanje), razdalja, privlačnost objekta in tržni delež. Prve navedene spremenljivke so neodvisne spremenljivke, medtem ko je tržni delež odvisna spremenljivka.

Vsak konkurenčni objekt, npr. komercialni objekt, ima "območje vpliva". To je določeno z njegovo stopnjo privlačnosti. Privlačnejši objekti imajo večji polmer svojega vplivnega območja. Kupna moč, ki jo potrošnik porabi v vplivni sferi več objektov, se enakomerno razdeli med konkurenčne objekte (Drezner in Drezner, 2016).

Konkurenčni lokacijski modeli se uporabljajo na številnih področjih, npr. omogočajo lokacijo nakupovalnih središč, trgovin (npr. trgovin z živili, specializiranih trgovin - gospodinjski aparati, obutev, knjigarne, računalniki, nakit ...), restavracij (hitra prehrana, kavarne, sladoledarne ...), bencinskih servisov, bančnih poslovalnic in drugih



7.9 Gravitacijski model za medcelinsko oskrbovalno verigo

Gravitacijski modeli lahko služijo kot ustrezna orodja za ocenjevanje dostave tovara v pristanišča, pri čemer imajo pomembno vlogo stroški časa in razdalje (Wang in Li, 2021). Za analizo interakcijskih vzorcev maloprodajnih regij, povezanih z različnimi aglomeracijami, je Reilly ustvaril naslednji gravitacijski model blagovnih tokov:

$$X_{ij} = \alpha \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2}$$

kjer:

X_{ij} - pretok v dobavni verigi

d_{ij} - prostorska razdalja

P_i, P_j - število prebivalcev v kraju izvora i in namembnem kraju j

α - gravitacijski koeficient, konstanta, enaka 1.

To pojasnjuje formula, ki se uporablja v programu Excel:



**pretok v oskrbovalni verigi = gravitacijski koeficient *
prebivalstvo v kraju_(i) * prebivalstvo v kraju_(j) / prostorska
razdalja²**

V tem modelu je lokacija vseh vozlišč znana. Gravitacijski vpliv med mesti je mogoče določiti z velikostjo in prostorsko oddaljenostjo mesta.

VPRAŠANJA

1. Kateri zunanji dejavniki vplivajo na odločitev o preselitvi objekta?
2. Katere so glavne prednosti in omejitve uporabe različnih različic gravitacijskega modela za simulacijo tokov med trgovci na drobno in potrošniki?



LITERATURA

Azmi, S. N., Khan, K. H., & Koch, H. (2024). Assessing the effect of INSTC on India's trade with Eurasia: an application of gravity model. *Cogent Economics & Finance*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2313899>

Bergstrand J.H. (1989) The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade, *Review of Economics and Statistics*, 71(1), 143-153.

Bułkowska M. (2018) Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (529), 39-47.

Drezner, T., & Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: Comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246, 1-15.

Duanmu J., Foytik P., Khattak A. & Robinson R.M. (2012) Distribution analysis of freight transportation with gravity model and genetic algorithm. *Transportation research record*, 2269(1), 1-10.

Govindan K., Fattahi M. & Keyvanshokoo E. (2017) Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, *European Journal of Operational Research*, 263(1), 108-141.

Grzybowska K. & Stachowiak A. (2022) Global changes and disruptions in supply chains – preliminary research to sustainable resilience of supply chains. *Energies*, 15 (art. 4579), 1-15.

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, 39(1), 81-90.

Kong F., Yin H., Nakagoshi N. & Zong Y. (2010) Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and urban planning*, 95(1-2), 16-27.



- Puertas R., Martí L. & García L. (2014) Logistics performance and export competitiveness: European experience. *Empirica*, 41, 467-480.
- Reilly, W. J. (1929). *Methods for the study of retail relationships* (Vol. 44). Austin: University of Texas, Bureau of Business Research.
- Schlaich T., Horn A.L., Fuhrmann M. & Friedrich H.(2020) A Gravity-Based Food Flow Model to Identify the Source of Foodborne Disease Outbreaks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(2):444. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020444>
- Stewart J.Q. (1948) Demographic gravitation: evidence and applications. *Sociometry* 11(1/2), 31-58.
- Tinbergen J. (1962) *Shaping The World Economy Suggestions for an International Economic Policy*, The Twentieth Century Fund, New York.
- Wang H. & Li M. (2021) Improved gravity model under policy control in regional logistics. *Measurement and Control*, 54(5-6), 811-819. doi:10.1177/0020294020919849
- Zhu X. & Fan Y. (2017) Research on the construction of regional hub-and-spoke logistics network in Guangxi under the gravity model. *Bus Econ Res*, 9, 214-217.