

## Kohalike teede liiklussageduse kaudse hindamise meetod

Indirect Method for Estimating Traffic Flow of Local Roads

Ardo Kubjas<sup>a</sup>, Dago Antov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Tartu kolledž, Inseneriteaduskond, Tallinna Tehnikaülikool

<sup>b</sup>Mehaanika ja tööstustehnika instituut, Inseneriteaduskond, Tallinna Tehnikaülikool  
Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, Eesti

E-mail: Ardo.Kubjas@taltech.ee

Copyright © 2019 by Kubjas, Antov.

### Abstract

This article considers a method for estimating the traffic volume indirectly without directly counting the movements. The method is based on spatial microsimulation. Spatial microsimulation and demographic data are used for finding the movement counts and to model traffic requirements for the road network.

The developed method can be used to estimate the traffic volume on local roads which consist of major part of Estonian road network. Estimating the traffic volume is necessary for assigning the road maintenance levels in transportation and traffic studies and while planning for road renovations.

### Key words:

Traffic volume, local roads, counting the movements, transportation, spatial microsimulation

## 1. Sissejuhatus

Majandus- ja taristuministri 14.07.2015. aasta määruses nr 92 „Tee seisundinõuded”<sup>1</sup> on määratud avalikult kasutatavate teede seisundinõudeid vastavalt tee seisunditasemele. Seisunditaseme määramise aluseks on aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL, edaspidi liiklussagedus), tee tüüp ja teekatte tüüp. Lisaks on eraldi nõuded talviste ning suviste tingimuste jaoks.

---

<sup>1</sup> „Tee seisundinõuded”, Majandus- ja taristuministri määrus 14.07.2015 nr 92 - RT I, 15.07.2015, 13. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>. [Vaadatud: 09-jaan-2017].

Eesti riigimaanteed liiklussageduste leidmiseks viidi aastatel 2009-2012 läbi suuremahuline liiklusloendus. Loendusandmete põhjal modelleeriti liiklussagedus riigimaanteed võrgustikule. Järgnevate liiklusloenduste andmete põhjal uuendati olemasolevaid liiklussageduste väärtusi modelleerimise abil. Teede Tehnokeskuse liiklusloenduse aruandes<sup>2</sup> kirjeldatud liiklussageduste modelleerimine toimub olemasolevate liiklusloenduse andmete kandmisel homogeensetele teelõikudele ja nende baasil kogu teedevõrgu teelõikude liiklussageduste leidmisel. Nimetatud aruande üks järeldusi oli aga see, et kogu Eesti teedevõrku katva ühe liiklusmodeli loomine pole olnud seni võimalik, sest see oleks olnud liiga mahukas ja ajakulukaks.

Ainsaks dokumendiks Eesti kohalike teede liiklussageduse leidmise teoreetilistest käsitlustest, on Maanteeameti riigihanke nr. 166229<sup>3</sup> „Kohalike teede andmete inventeerimine” „Liiklussageduste hindamise metoodika” osa, milles analüüsiti teedevõrgu liiklussageduse määramise võimalusi (modelleerimine, liiklusuuringutel põhinev statistiline analüüs ja eksperthinnangud). Uuringus tehi ettepanek, kus liiklussageduse määramiseks soovitati läbi viia regulaarseid liiklusloendusi loenduspunktides, mille kohta on ka tehtud ettepanek nende asukohtadest. Nimetatud uuringus aga ei esitata sobivat meetodit kõikide kohalike teede liiklussageduste hindamiseks teeseisunditaseme määramise mõttes.

Just kohalike teede suur arv ja kilometraaz on peamiseks põhjuseks, mis ei võimalda kasutada liiklusloendusele baseeruvat meetodit liiklussageduse hindamiseks. Käesolev artikkel käsitlebki võimalusi rakendada liiklussageduse hindamiseks kaudset meetodit, mis on sobilik just eelkõige kohalike teede liiklussageduste hindamiseks.

## 2. Ülevaade liiklussageduse määramise meetoditest

### Liiklusloendusele baseeruvad meetodid

Maailmas kasutati liiklussageduse leidmiseks palju erinevaid meetodeid. Teoreetiliste käsitluste kohaselt on liiklussageduse leidmiseks võimalik kasutada kahte meetodit: loendustele baseeruvat meetodit ja kaudset (s.o ilma liiklusloendusteta) liiklussageduse hinnangut<sup>4</sup>. Nimetatuid esimest, liiklusloendusele baseeruvat meetodit, loeti peamiseks liiklussageduse leidmise viisiks, mis leiab ka tavapraktikas rohket kasutamist.

Kaudsete meetoditena kasutati tavaliselt mitmeid teisendatavaid parameetreid, näiteks autode läbisõit ajaühikus, mis võrdub liiklussageduse ja teelõikude pikkuste korrutisega, või siis modelleerimist, mille idee seisneb statistiliselt olulise seose näitamises kõigi teedevõrgustike sisse/väljapääse läbivate autode arvu ja liiklust genereerivate, liikuvust mõjutavate või kirjeldavate parameetrite, näiteks leibkondade arvu vahel. See omakorda võimaldab liiklussagedust hinnata

<sup>2</sup> „Liiklusloenduse tulemused 2016. aastal”, Teede Tehnokeskus, Tallinn, Töö nr 2017-x, 2017.

<sup>3</sup> „Kohalike teede andmete inventeerimine (166229)”, Riigihangete Register 2.7.20.2, 2015. Kättesaadav: <https://riigihanked.riik.ee/register/hange/166229>. [Vaadatud: 14-märts-2017].

<sup>4</sup> Fricker, J., Kumapley, R. „Updating procedures to estimate and forecast vehicle-miles traveled”, Jt. Transp. Res. Program, lk 214, 2002.

kaudsete näitajate kaudu ilma liiklust kogu piirkonnas monitoorimata<sup>5</sup>. Teistest kaudsetest liiklussageduse leidmise meetoditest on olulisemaks peetud sotsiaalmajanduslikel andmetel (nagu rahvastik, kütuse müük jne)<sup>6</sup> põhinevaid mudeleid. Kaudsete meetoditena on välja toodud veel liiklussageduste hindamist teetüüpide ja aegridade kaudu<sup>7</sup>, GPS-kasutusel baseeruvad uuringuid<sup>8</sup> ja liiklussageduse leidmist aasta keskmiste liiklussageduste muustrite alusel<sup>9</sup>. Lisaks on liiklussageduste hindamisel rakendatud geoinfosüsteemide (GIS) kasutamist, kus GISi vahendite abil koostati teatud teede valimid ning neile leiti liiklussagedused<sup>10</sup>. Need omakorda on aluseks teid ümbritsevate transporditsoonide liiklussageduse arvutamisel. Nimetatud meetodi valideerimiseks kasutati statistiliselt olulise positiivse seose näitamist liiklussageduste ja transporditsoonide liiklustiheduste vahel. Selle alusel leiti tsoonide kaudu liiklussageduste väärtused kogu funktsionaalsele teedevõrgustikule. Uuringus öeldi, et kirjeldatud meetod ei ole rakendatav piirkondades, kus puuduvad liiklusloenduste tulemused.<sup>11</sup>

Liiklussageduse uurimisel arvestati ka mitmeid erinevaid seoseid, nagu näiteks seoseid maakasutuse või ajaperioodide vahel. Sesoosete komponentide arvestamisel arvutati liiklussagedus aasta keskmise ja teisaldatavate liiklusloenduspunktide tulemuste kaudu<sup>12</sup> või leiti sesoonsed kordajad lineaarse regressiooni abil. Sesoonse komponendi arvestamine võimaldab paremini hinnata teede aasta keskmisi liiklussagedusi kuid ei sobi hõreda liiklusega maapiirkondade liiklussageduse arvutamiseks. Teede valimile tuginevaid liikluse loendusandmeid on võimalik kasutada liiklusmodelite väljatöötamiseks, et prognoosida liikluse kasvumäärasid maakondade tasemel.<sup>13</sup>

Enamasti vajavad liiklussageduse hindamiste uuringutes kasutatavad meetodid suurt hulka liiklusloendusandmeid, millede kogumine on kulukas, aeganõudev ja sageli ebatäpne. Seetõttu on ka välja töötatud meetodikaid, mis ei vaja kõikidel teedel loendusandmeid. Näiteks on võimalik

<sup>5</sup> Wang, S.-G., Bai, L., Bao, Y. „Modeling and algorithms of VMT and AADT estimation for community area traffic networks“, IFAC Proc. Vol., kd 44, nr 1, lk 13858–13863, 2011.

<sup>6</sup> Liu, F., Kaiser R., G. „Forecasting truck VMT growth at the county and statewide levels“, National Urban Freight Conference, 2006.

<sup>7</sup> Lingras, P., Sharma, S., C., Osborne, P., Kalyar, I. „Traffic Volume Time-Series Analysis According to the Type of Road Use“, Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng., kd 15, nr 5, lk 365–373, 2000.

<sup>8</sup> Boilé, M., Golias, M. „Truck Volume Estimation via Linear Regression Under Limited Data“, Journal of the Transportation Research Forum, 2010, kd 45.

<sup>9</sup> Castro-Neto, M., Jeong, Y., Jeong, M. K., Han, L. D. „AADT prediction using support vector regression with data-dependent parameters“, Expert Syst. Appl., kd 36, nr 2, lk 2979–2986, 2009.

<sup>10</sup> Lee, M., Eason, J. „Using GIS to Develop a Sampling Program for Traffic Counts on Local Functional Systems in Small Urban and Rural Areas“, esitatud Transportation Research Board 91st Annual Meeting Transportation Research Board, 2012.

<sup>11</sup> Lee, M., Eason, J. „Using GIS to Develop a Sampling Program for Traffic Counts on Local Functional Systems in Small Urban and Rural Areas“, esitatud Transportation Research Board 91st Annual Meeting Transportation Research Board, 2012.

<sup>12</sup> Zhao, F., Yang, S., Lu, C. „Alternatives for Estimating Seasonal Factors on Rural and Urban Roads in Florida, Phase II“, veebr 2008.

<sup>13</sup> Barrett, M., L., Graves, R. C., Allen, D. L., Pigman, J. G., Abu-Lebdeh, G., Aultman-Hall, L., Bowling, S. T. „Analysis of Traffic Growth Rates“, Ky. Transp. Cent. Res. Rep., aug 2001. Kättesaadav: <https://doi.org/10.13023/KTC.RR.2001.15>. [Vaadatud: 22-aprill-2017].

kasutada liiklussageduste leidmiseks liiklussageduse mediaanväärtust<sup>14</sup>. Selle väärtuse alusel teed segmenteeriti ning teedele, kus liiklusloenduse andmed puuduvad, kanti liiklussageduse mediaanväärtused. See omakorda võimaldab leitud väärtuste abil katta ruudustikega kogu funktsionaalse teedevõrgu kaart ning ruudu liiklussageduse mediaanväärtuste hindamiseks kasutatada ruudu juhuslikke liiklussagedusi. Liiklussageduste määramiste meetoditena<sup>15</sup> on välja toodud veel tavalist lineaarset regressiooni<sup>16</sup>, geograafiliselt kaalutud regressiooni<sup>17</sup>, *kriging*-meetodil interpoleerimist<sup>18</sup>, tehisnärvivõrgu arvutuslikku arhitektuuri<sup>19</sup>, liikumisnõudluse modelleerimist<sup>20</sup>, lähte- ja sihtkoha keskpunktide meetodit<sup>21</sup> ja nn Florida's Turnpike mudelit<sup>22</sup>.

Kõik eelpool loetletud liiklusloenduste ja liiklussageduste leidmise meetodid toetuvad vähemal või rohkemal määral liiklusloenduste andmestikele.

## Nõudlusmudel

Oma olemuselt jagunevad transpordiplaneerimises kasutatavad nõudlusmudelid makroskoopilisteks ja mikroskoopilisteks mudeliteks. Kui mikroskoopilised mudelid on

---

<sup>14</sup> Frawley, W. „Random Count Site Selection Process for Statistically Valid Estimations of Local Street Vehicle Miles Traveled“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, kd 1993, lk 43–50, jaan 2007.

<sup>15</sup> Staats, W., N. „Estimation of annual average daily traffic on local roads in Kentucky“, 2016.

<sup>16</sup> Pan, T. „Assignment of estimated average annual daily traffic on all roads in Florida“, 2008.

Shen, L. D., Zhao, F., Ospina, D., I. „Estimation of annual average daily traffic for off-system roads in Florida“, Florida Department of Transportation, 1999.

Zhao, F., Chung, S. „Contributing factors of annual average daily traffic in a Florida county: exploration with geographic information system and regression models“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 1769, lk 113–122, 2001.

Lowry, M., Dixon, M. „GIS tools to estimate average annual daily traffic“, *Univ. Idaho. ID USA Final Rep*, nr 12, 2012.

Mohamad, D., Sinha, K., Kuczek, T., Scholer, C. „Annual average daily traffic prediction model for county roads“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 1617, lk 69–77, 1998.

<sup>17</sup> Zhao, F., Park, N. „Using geographically weighted regression models to estimate annual average daily traffic“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 1879, lk 99–107, 2004.

<sup>18</sup> Selby, B., Kockelman, K. „Spatial prediction of AADT in unmeasured locations by universal kriging“, *Transportation Research Board 90th annual meeting*, 2011.

Eom, J., Park, M., Heo, T.-Y., Huntsinger, L. „Improving the prediction of annual average daily traffic for nonfreeway facilities by applying a spatial statistical method“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 1968, lk 20–29, 2006.

Shamo, B., Asa, E., Membah, J. „Linear spatial interpolation and analysis of annual average daily traffic data“, *J. Comput. Civ. Eng.*, kd 29, nr 1, lk 4014022, 2012.

Wang, X., Kockelman, K. „Forecasting network data: Spatial interpolation of traffic counts from Texas data“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 2105, lk 100–108, 2009.

<sup>19</sup> Sharma, S., Lingras, P., Xu, F., Kilburn, P. „Application of neural networks to estimate AADT on low-volume roads“, *J. Transp. Eng.*, kd 127, nr 5, lk 426–432, 2001.

<sup>20</sup> Wang, T. „Improved annual average daily traffic (AADT) estimation for local roads using parcel-level travel demand modeling“, 2012.

Zhong, M., Hanson, B., L. „GIS-based travel demand modeling for estimating traffic on low-class roads“, *Transp. Plan. Technol.*, kd 32, nr 5, lk 423–439, 2009.

Wang, T., Gan, A., Alluri, P. „Estimating annual average daily traffic for local roads for highway safety analysis“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, nr 2398, lk 60–66, 2013.

<sup>21</sup> Lowry, M. „Spatial interpolation of traffic counts based on origin–destination centrality“, *J. Transp. Geogr.*, kd 36, lk 98–105, 2014.

<sup>22</sup> Adler, T. J., Dehghani, Y., Doherty, M., Olsen, W. „Florida's Turnpike State Model: Development and Validation of an Integrated Land Use and Travel Forecasting Model“, *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, 2007.

orienteeritud ühele taristuelemendile ja üksikutele sõidukitele, siis makroskoopilised mudelid mingile piirkonnale ja/või võrgustikule ning nende uurimisel kasutati enamasti nõudlusmudeleid, mis võimaldavad hinnata olemasoleva liiklussüsteemi toimimist ja teha prognoose. Nõudlusmudelite puhul on liikumisvajadused ja liikumisvõimalused käsitletavad eraldi ning nende kombineeritud koosmõju annab analüüsitava tulemuse.

Nõudluse modelleerimise ajaloos on suuresti domineerinud 4-astmeline liikumisnõudluse mudel (ingl. k *four-step travel demand forecasting model*)<sup>23</sup>. Teoorias mõisteti liikumise (reisi) all inimese tegevusel põhinevat liikumise nõudlust, mis praktikas modelleeriti kas liikumis- või tegevuspõhisel meetodil. Liikumispõhine meetod tähendab lähte- ja sihtpunkti vahelise liikumise optimeeritud lahenduse modelleerimist. Vähem kasutatav tegevuspõhine meetod tugineb liikumisuuringute põhjal tehtud inimese liikumisvajadusest tulenevate liikumiste modelleerimisele. Ajalooliselt tekkis 4-astmeline liikumisnõudluse mudel eelkõige siis, kui tekkis vajadus uurida liikumisnõudlust keerukamates ja komplekssetes transpordisüsteemides.

4-astmelise liikumisnõudluse modelleerimise neli sammu on: liikumiste arvu genereerimine lähte-kohtade alusel (ingl. k *trip generation*), genereeritud liikumiste jaotamine sihtkohtade vahel (ingl. k *trip distribution*), genereeritud nõudluse jaotamine transpordiliigi alusel (ingl. k *mode split*) ja genereeritud liikumiste detailsem jaotamine marsruutide alusel (ingl. k *trip assignment*). Aktiivsete tegevuste süsteem (ingl. k *activity system*) kujutab endast transporditsooni (ingl. k *traffic analyse zone*), mille kohta on teada demograafilised, sotsiaalmajanduslikud ja maakasutusega seotud andmed. Analüüsiühik võib varieeruda inimeste arvu, leibkondade arvu, transporditsoonide või mõnel suuremal andmete agregeerituse tasemel. Transpordisüsteem kujutab endast teedevõrgustiku kirjeldust (graafi), mille elementideks on teedevõrgu lõigud (lingid) ja tippudeks sõlmed (ristmikud), mis on omakorda lõikude otspunktid. Linkidele ja sõlmedele saab omistada erinevaid atribuute (näiteks lõigu pikkus, läbilaskvus, piirkiirus, piirangud põõretel jne).

Kui lihtsamate võrgustike oodatav liikumisnõudlus on vahetult määratav ja selle kaudu on lihtsalt leitavad ka liiklussageduse väärtused, siis komplekssete ja keerukamate võrgustike liiklussageduste leidmiseks tuleb kasutada alternatiivseid mudeleid. Komplekssete juhtumite kirjeldamiseks ongi välja töötatud eelnimetatud 4-astmelise modelleerimise loogika, mida kasutati praktikas valdavalt liikumispõhiste liikumiste modelleerimisel, vähem tegevuspõhiste ja liikumisvajadusest tulenevate liikumiste modelleerimisel. Kui viimase nelja kümnendi jooksul on maailmas tehtud hulganisti kontseptuaalseid ja transporditsoonidega seotud uuringuid, mis kirjeldavad inimeste ja leibkondade igapäevast ning potentsiaalset liikumisvajadust, siis varasemal perioodil oli liikumiste kirjeldamisel domineeriv pigem indiviidi ajalis-ruumilisel käitumisel põhinev lähenemisviis. Kuigi modelleerimise teoreetiliseks tasandiks oli mikrotasand, siis mudelite praktilisel kasutamisel keskenduti liikumistele transpordielementidel, näiteks ristmikel või liiklussõlme elementidel. Alles 1990. aastate alguses, seoses arvutustehnika uute võimalustega, sealhulgas eriti

<sup>23</sup> McNally, M. G. „The Four-Step Model“, Handbook of Transport Modelling, kd 1, 0 kd, Emerald Group Publishing Limited, 2007, lk 35–53.

geoinfosüsteemide kasutuselevõtuga, tekkis võimalus seniste mikrotasandi liikumisvajaduste uuringute puhul hakata kasutama ka ruumilise analüüsi vahendeid.<sup>24</sup>

### 3. Andmed ja meetod

#### Andmed

Eestis on läbi viidud hulganisti erinevaid inimeste liikumise ja rändega seotud uuringuid ning modelleeritud erinevaid liikumisi. Uuringus „Toimepiirkondade määramine”<sup>25</sup> analüüsiti rahvastiku pendelrännet ning määrati toimepiirkonnad kogu Eesti kohta. Töö tulemused annavad üldise pildi pendelrändest, kuid ei ole sobivad liiklussageduse hindamiseks.

„Uuring era- ja avalike teenuste ruumilise paiknemise ja kättesaadavuse tagamisest ja teenuste käsitlemisest maakonnaplaneeringutes”<sup>26</sup> annab ülevaate inimestele vajalike teenuste ja nende kättesaadavuse normidest. Uuring võib olla tulevikus sobilik genereeritud liikumiste jaotamise paremaks kirjeldamiseks. „Regionaalne pendelrände uuringu”<sup>27</sup> eesmärgiks oli igapäevase liikuvuse kaardistamiseks. Uuringus kasutati mobiilpositsioneerimise meetodit. Mobiilpositsioneerimise andmed võivad omada tulevikus suurt tähtsust liikumiste marsruutide kirjeldamisel. Täna puuduvad võimalused selliste andmete kasutamiseks, kuna detailsete andmete kasutamist täpsete liikumiste osas piirab andmekaitseadustik. Magistritöös „Ühistranspordi teenindustase Eesti maakonnaliinidel” kasutati ühistranspordi ühendussageduste ja kättesaadavuste analüüsimisel 1x1km ruudustikule jagatud elanike arvu andmeid<sup>28</sup>. Töös jagati rahvastikuruudu elanike arv võrdselt selle ruudu piires asuvate elu- ja ühiskondlike hoonete vahel ning rahulolu hinnati läbi reisiks kulunud aja.

Täna on lihtsasti kättesaadavad ka mitmed avaandmed. Näiteks Google Maps rakenduse liikluse kaardikihil (ingl. k. *Traffic Layer*)<sup>29</sup> on nähtavad reaajas agregeeritud liiklussageduse andmed, kuid need katavad Eestis ainult tiheda liiklusega piirkondi ega pole kasutatavad kohalike teede korral.

Käesoleva töö üheks eesmärgiks oli välja töötada meetod, mis baseeruks just arvandmetel ei nõuaks kulukaid lisauuringuid ega täiendavate, sageli ebausaldusväärsete lähteandmete kasutamist.

<sup>24</sup> Buliung, R. N., Kanaroglou, P., S. „A GIS toolkit for exploring geographies of household activity/travel behavior”, J. Transp. Geogr., kd 14, nr 1, lk 35–51, jaan 2006.

<sup>25</sup> „Toimepiirkondade määramine”, Siseministeerium, Statistikaamet, 2014.

<sup>26</sup> Sepp, V., Kivi, T., Puolokainen, T., Tali, T., Themass, E., Valgma, Ü. „Uuring era- ja avalike teenuste ruumilise paiknemise ja kättesaadavuse tagamisest ja teenuste käsitlemisest maakonnaplaneeringutes”. Tartu Ülikool, 2015.

<sup>27</sup> Ahas, R., Silm, S., Leetmaa, K., Tammaru, T., Saluveer, E., Järv, O., Aasa, A., Tiru, M. „Regionaalne pendelrändeuuring”, Siseministeerium, Tartu, 2010.

<sup>28</sup> „Eesti Statistikaameti kaardirakendus”. Kättesaadav: <https://estat.stat.ee/StatistikaKaart/VKR#>. [Vaadatud: 30-apr-2017].

<sup>29</sup> „Google Maps - Traffic Layer”, Google Maps. Kättesaadav: <https://www.google.ee/maps/@59.4248836,24.5978168,11z/data=!5m1!1e1>. [Vaadatud: 06-märts-2017].

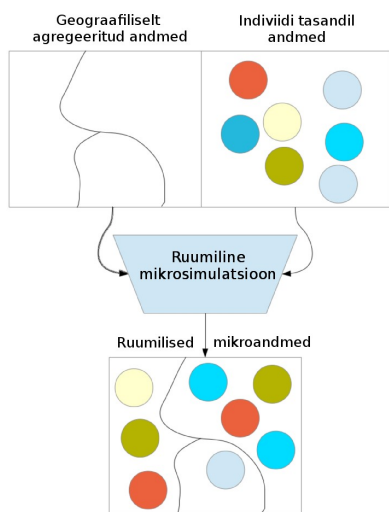
Käesolevas töös kasutati Statistikaameti kaardirakenduses<sup>30</sup> saadaolevaid Eesti rahvastiku paiknemise andmeid, mis põhinevad rahva ja eluruumide loenduse täpsustatud andmetel ning on esitatud 1x1km kogu Eestit katva ruudustikuna. Andmed on georeferentseeritud hoonetäpsusega. Ruutudesse agregeerimisel on võetud aluseks inimese elukoht. Mitme ruudu piiresse jääva hoone andmed on seotud ruuduga, kus asub hoone tsentroid. Statistilised ruumiandmed võimaldavad ruumianalüüside tegemist.

## Mikrosimulatsiooni meetod

Mikrosimulatsiooni võib defineerida kui arvutuslikku tehnikat, mille abil saab modelleerida mingit süsteemi selle baas- ehk mikroüksuste tasemel. Mikrosimulatsioon koosneb tavaliselt kolmest elemendist: andmed, reeglid ja teoreetiline mudel.

Mikrosimulatsioonimudel on matemaatiliste algoritmide kogum, mis mikroandmete põhjal simuleerib soovitud karakteristikuid või protsesse. Ruumiline mikrosimulatsioon on (ingl. k. *spatial microsimulation*) spetsiaalsel arvutiprogrammil põhinev meetod, mis sisaldab geograafilisi piirkondasid puudutavate andmete genereerimist, analüüsi ja modelleerimist.

Käesolevas töös kasutatud meetodi väljatöötamisel ongi just kasutatud ruumilise mikrosimulatsiooni meetodit (vt Joonis 1). Ruumilise simulatsiooni teostamiseks ja teiste töös kasutatavate andmete statistiliseks töötlemiseks, modelleerimiseks ja jooniste valmistamiseks kasutati avatud lähtekoodiga statistilist programmeerimiskeelt R<sup>31</sup>.



Joonis 1. Ruumilise mikrosimulatsiooni skeem. Allikas: „Spatial Microsimulation with R“, CRC Press, 21-märts-2016. Kättesaadav: <https://www.crcpress.com/Spatial-Microsimulation-with-R/Lovelace-Dumont/p/book/9781498711548>. [Vaadatud: 27-nov-2016].

<sup>30</sup> „Eesti Statistikaameti kaardirakendus“. Kättesaadav: <https://estat.stat.ee/StatistikaKaart/VKR#>. [Vaadatud: 30-apr-2017].

<sup>31</sup> „R: The R Project for Statistical Computing“. Kättesaadav: <https://www.r-project.org/>. [Vaadatud: 07-dets-2016].

## 4. Tulemused

### Liiklussageduse hindamise meetod

Käesoleva kaudse liiklussageduste leidmise meetodi väljatöötamisel võeti aluseks URS meetod<sup>32</sup>. Selle idee seisneb kohaliku teedevõrgustiku käsitlemises sarnaselt näiteks jõgikonnale, kus võrgustikel toimuvat liikumiste suunda vaadeldi sarnaselt vee voolusuunaga jõe suudme poole.

Kohalike teede liiklussageduse hindamise meetodi rakendamiseks on vaja omavahel siduda kohalike teede võrk ja liikumiste marsruudid vastava võrgustiku teedel. Liikumised võrgustikes on leitud liikumisenõudluse määramise meetodi abil, mille aluseks on 4-astmelise liikumisenõudluse hindamise mudel koos selle elementidega<sup>33</sup>. Liiklussageduse hindamiseks modelleeriti esmalt võrgustik (1), seejärel genereeriti sellele liikumised (2), misjärel liikumised jaotati (3) ning liikumiste algus- ja lõpp-punktide abil saadud marsruutidega koormati võrgustikke (4), lõpuks määrati võrgustike koormamise kaudu liiklussagedused (5).

#### Võrgustiku modelleerimine (1)

Esmalt moodustati kohalikest teedest kimbud, mis koosnevad riigiteega piirnevatest omavahel seotud kohalikest teedest. Selliselt moodustatud teede kimbud jagati kihtideks (ingl. k *tier*), kus 0-kihile vastab selline riigitee, mis lõikub kohaliku teega. Järgmine, 1-kiht, vastab kohaliku teedevõrgu teelõigule riigitee lõikumispunktist kuni esimese lõikumispunktini kohaliku teega. Sarnaselt jagati kogu kohalike teede võrk. Teedevõrgu viimasesse, n-dasse kihti kuuluvalt teelt tuleb riigiteeni jõudmiseks läbida n arv teelõike.

#### Liikumiste genereerimine (2)

Esmalt kanti kaardile Eesti põhikaardi ruudustik<sup>34</sup>, kus igal ruudul on unikaalne identifikaator, mis kajastab ruudu küljepikkust ja ruudu alumise vasaku nurga tasapinnalisi ristkoordinaate L-EST97 koordinaatsüsteemis ja seejärel lisati kaardile kohalikud teed. Selle tulemusena saavutati olukord, kus kohalike teede ruumiandmed on seotud 1x1km ruutvõrgustikuga. Kuna puudusid andmed inimeste ööpäevaste liikumisvajaduste iseloomu ja arvu kohta kohalike teede võrgustikel, siis osutus vajalikuks liikumisi genereerida kaudset meetodit kasutades. Selleks võeti ühe inimese poolt ööpäevas genereeritava liikumise arv võrdseks mingi konstandiga, näiteks ühega.

Mikrosimulatsiooni abil seoti omavahel teede ruumiandmed ja rahvaloenduse ruutandmed. Genereeritavate liikumiste jagamiseks ruutude vahel lõigati ruudu kontuurjoonega ruudus asuvad kohalikud teed lõikudeks. Seejärel lisati ruutudele rahvaloenduse (käesoleva meetodika

<sup>32</sup> „Tee seisundinõuded“, Majandus- ja taristuministri määrus 14.07.2015 nr 92 - RT I, 15.07.2015, 13. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>. [Vaadatud: 09-jaan-2017].

<sup>33</sup> McNally, M. G., „The Four-Step Model“, Handbook of Transport Modelling, kd 1, 0 kd, Emerald Group Publishing Limited, 2007, lk 35–53.

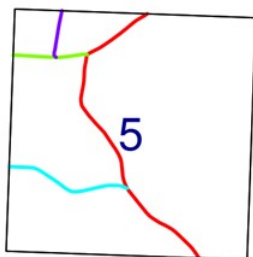
<sup>34</sup> „Maa-amet: Geoportaal: Kaardilehtede süsteemid“. Kättesaadav: <http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Koordinaatsüsteemid-ja-kaardilehtede-jaotused/Kaardilehtede-susteemid-p224.html>. [Vaadatud: 12-mai-2017].



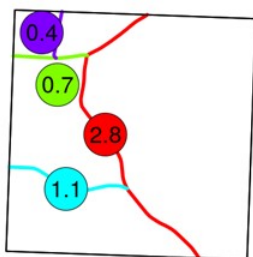
väljatöötamise juures kasutati 2011. aasta loenduse andmeid) rahvaarvu väärtused<sup>35</sup> ning võeti ruudust algavate liikumiste arvu aluseks ruudu elanike arv (vt Joonis 1). Näiteks kui ruudus asub ainult üks teelõik, siis on liikumiste arv võrdne elanike arvuga. Ruudus paiknevate elanike arvu alusel genereeriti liikumiste arvud ruudus asuvatele teedele.

Juhul, kui ruudus paikneb mitu teelõiku, siis jagati liikumised (elanike arv) teelõikude vahel proportsionaalselt vastavalt teelõikude pikkusele. Näiteks 4 tee ja 5 elaniku puhul saab ruudust alguse 5 liikumist, mis jagati ruudus paikneva 4 teelõigu vahel proportsionaalselt teepikkusega (vt Joonis 2). Kõikide ruudus paiknevate lõikude liikumiste arvu summa peab võrduma rahvaarvuga ruudus.

Näiteks Alakiisa-Tiidu-Tsiksi tee osalõikude poolt genereeritavate liikumiste summa on võrdne 31,4 liikumisega ööpäevas (vt Joonis 3), mis arvutati kogu teed katvate ruudustike poolt osalõikudeks jagatud teelõikude poolt genereeritavate liikumiste arvu summa põhjal (vt Joonis 4). Analoogiliselt tehti arvutused kogu võrgustiku teede kohta (vt Joonis 5).



Joonis 1: Rahvastikuruut koos elanike arvu ja ruudus paiknevate kohalike teedega.

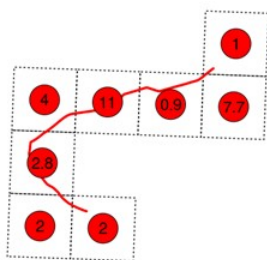


Joonis 2: Rahvaarvu proportsionaalne jaotamine vastavalt ruudus paiknevate kohalike teelõikude teepikkustele.

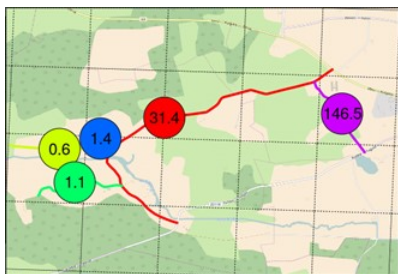
<sup>35</sup> „Eesti Statistikaameti kaardirakendus“. Kättesaadav: <https://estat.stat.ee/StatistikaKaart/VKR#>. [Vaadatud: 30-apr-2017].



Joonis 3: Arvutuslik rahvaarv Alakiisa-Tiidu-Tsiksi kohalikule teele.



Joonis 4: Genereeritud rahvaarvud Alakiisa-Tiidu-Tsiksi tee rahvastiku ruudustikes.



Joonis 5: Arvutuslik rahvaarv Alakiisa-Tiidu-Tsiksi teedevõrgustikule.

### Liikumiste jaotamine (3)

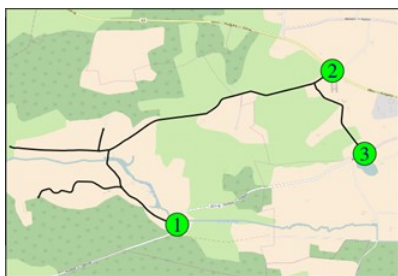
Tulenevalt kohalike teede võrgustiku funktsionaalsest iseloomust ja sellest, et kohalike teede võrgustik on piiratud riigimaanteedega, saab iga sellisel võrgustikul genereeritud liikumise sihtkohaks ehk lõplikuks väljapääsupunktiks olla ainult selle võrgustiku lõikepunkt riigiteega. Liikumine toimub väljapääsupunkti suunaliselt.

Modelleeritud (kihtideks jagatud) teedevõrgul arvutati iga kihi liikumiste arv kihi väljapääsupunkti(de)ni. Väljapääsupunktide liikumiste arvud on sisendiks järgmise kihi liikumiste arvule. Sisendarvule liideti järgmise kihi liikumiste arvud. Sellisel moel kiht-kihilt liikudes jõuti 0-kihini (riigitee). Mitme väljapääsupunkti korral jagati liikumised väljapääsupunktide vahel proportsionaalselt või kasutati jagamisel kaalusid.

## Võrgustiku koormamine (4)

Võrgustiku koormamise kaudu oli võimalik arvutada liikumiste arvud kohalike teede väljapääsupunktides ja leida neile liiklussageduse väärtused. Saadud algus- ja lõpp-punktid võimaldasid omakorda leida kõik marsruudid teede võrgustikul ning seeläbi saada teada liikumise nõudlus võrgustikul.

Alakiisa-Tiidu-Tsiksi tee võrgustikul on 3 võimalikku väljapääsupunkti (ristumist riigiteega) (vt joonis 6). Rahvastiku ruutude andmete alusel koormati teedevõrku 181 liikumisega, mis jaotati väljapääsupunktide vahel võrdseks. Iga väljapääsupunktini jõuab sellisel juhul 60,3 liikumist ööpäevas.



Joonis 6: Alakiisa-Tiidu-Tsiksi tee võrgustiku väljapääsupunktid.

## Liiklussageduste hindamine (5)

Teedevõrgustiku liiklussagedus on kõikidel selle võrgustiku teedel alati väiksem kui võrgustiku liiklussagedus väljapääsupunktis. Seega, vastavalt teeseisunditasemete liiklussageduste tasemete jaotusele (üle 1000, 201–1000 ja kuni 200 autot ööpäevas), on liiklussageduse hinnanguline väärtus näidisteedevõrgu väljapääsupunktides tee seisunditaseme täpsusega kuni 200 autot/ööpäevas eeldusel, kus liikumised olid genereeritud vastavalt ühe inimese poolt ööpäevas tehtavate liikumise arvule. Kuna väljapääsupunktid asusid võrgustiku madalaimas kihis, siis on antud liiklussageduse väärtus ka ülemises kihis paiknevate teede liiklussageduste väärtuste piires. Vajadusel, on sarnaselt arvatavad liiklussageduste väärtused ka teedevõrgustiku ülemistes kihtides juhul kui väljapääsupunkti liiklussagedus kuulub suurema liiklussageduse vahemikku. Liiklussageduste vahemikke omavahel võrreldes näeme, et liiklussageduste väärtuste 200 ja 1000 vahe on 5-kordne, mis on piisav, et määrata liiklussagedus.

## 5. Kokkuvõte

Käesolevas artiklis tutvustatud liiklussageduse hindamise meetod võimaldab liiklussagedusi hinnata liiklusloendust läbi viimata. Väljatöötatud meetod on rakendatav liiklussageduse hindamiseks teeseisundi taseme mõttes kohalikel teedel.

Meetod baseerub ruumilisele mikrosimulatsioonile. Ruumilise mikrosimulatsiooni ja demograafiliste andmete abil leiti liikumiste arvud ning modelleeriti olemasolevale transpordivõrgustikule liiklusnõudlus. Väljatöötatud meetodika järgi modelleeriti esmalt võrgustik

(1), seejärel genereeriti liikumised (2), mis jaotati (3) ja liikumiste algus- ja lõpp-punktide kaudu saadud marsruutidega koormati võrgustikke (4) ning hinnati teede liiklussagedusi (5).

Liiklussageduste arvutamiseks kasutati olemasolevaid registritest pärinevaid andmeid, milleks on rahvastiku- ja teeandmed. Meetod on rakendatav kohalike teede seisunditaseme määramiseks vajaliku liiklussageduse arvutamiseks ning transpordi- ja liiklusuuringute ning planeeringute koostamisel.

### *Kasutatud allikad*

Adler, T. J., Dehghani, Y., Doherty, M., Olsen, W. „Florida’s Turnpike State Model: Development and Validation of an Integrated Land Use and Travel Forecasting Model“, Transportation Research Board 86th Annual Meeting, 2007.

Ahas, R., Silm, S., Leetmaa, K., Tammaru, T., Saluveer, E., Järv, O., Aasa, A., Tiru, M. „Regionaalne pendelrändeuuring“, Siseministeerium, Tartu, 2010.

Barrett, M., L., Graves, R. C., Allen, D. L., Pigman, J. G., Abu-Lebdeh, G., Aultman-Hall, L., Bowling, S. T. „Analysis of Traffic Growth Rates“, Ky. Transp. Cent. Res. Rep., aug 2001. Kättesaadav: <https://doi.org/10.13023/KTC.RR.2001.15>. [Vaadatud: 22-aprill-2017]. Boilé, M., Golias, M. „Truck Volume Estimation via Linear Regression Under Limited Data“, Journal of the Transportation Research Forum, 2010, kd 45.

Buliung, R. N., Kanaroglou, P., S. „A GIS toolkit for exploring geographies of household activity/travel behavior“, J. Transp. Geogr., kd 14, nr 1, lk 35–51, jaan 2006.

Castro-Neto, M., Jeong, Y., Jeong, M. K., Han, L. D. „AADT prediction using support vector regression with data-dependent parameters“, Expert Syst. Appl., kd 36, nr 2, lk 2979–2986, 2009.

„Eesti Statistikaameti kaardirakendus“. Kättesaadav: <https://estat.stat.ee/StatistikaKaart/VKR#>. [Vaadatud: 30-apr-2017].

Eom, J., Park, M., Heo, T.-Y., Huntsinger, L. „Improving the prediction of annual average daily traffic for nonfreeway facilities by applying a spatial statistical method“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 1968, lk 20–29, 2006.

Frawley, W. „Random Count Site Selection Process for Statistically Valid Estimations of Local Street Vehicle Miles Traveled“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, kd 1993, lk 43–50, jaan 2007.

Fricker, J., Kumapley, R. „Updating procedures to estimate and forecast vehicle-miles traveled“, Jt. Transp. Res. Program, lk 214, 2002.

„Google Maps - Traffic Layer“, Google Maps. Kättesaadav: <https://www.google.ee/maps/@59.4248836,24.5978168,11z/data=!5m1!1e1>. [Vaadatud: 06-märts-2017].

- „Kohalike teede andmete inventeerimine (166229)“, Riigihangete Register 2.7.20.2, 2015.  
Kättesaadav: <https://riigihanked.riik.ee/register/hange/166229>. [Vaadatud: 14-märts-2017].
- Lee, M., Eason, J. „Using GIS to Develop a Sampling Program for Traffic Counts on Local Functional Systems in Small Urban and Rural Areas“, esitatud Transportation Research Board 91st Annual Meeting Transportation Research Board, 2012.
- „Liiklusloenduse tulemused 2016. aastal“, Teede Tehnokeskus, Tallinn, Töö nr 2017-x, 2017.
- Lingras, P., Sharma, S., C., Osborne, P., Kalyar, I. „Traffic Volume Time-Series Analysis According to the Type of Road Use“, Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng., kd 15, nr 5, lk 365–373, 2000.
- Liu, F., Kaiser R., G. „Forecasting truck VMT growth at the county and statewide levels“, National Urban Freight Conference, 2006.
- Lowry, M. „Spatial interpolation of traffic counts based on origin–destination centrality“, J. Transp. Geogr., kd 36, lk 98–105, 2014.
- Lowry, M., Dixon, M. „GIS tools to estimate average annual daily traffic“, Univ Ida. Mosc. ID USA Final Rep, nr 12, 2012.
- „Maa-amet: Geoportaal: Kaardilehtede süsteemid“. Kättesaadav: <http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Koordinaatsüsteemid-ja-kaardilehtede-jaotused/Kaardilehtede-süsteemid-p224.html>. [Vaadatud: 12-mai-2017].
- McNally, M. G., „The Four-Step Model“, Handbook of Transport Modelling, kd 1, 0 kd, Emerald Group Publishing Limited, 2007, lk 35–53.
- Mohamad, D., Sinha, K., Kuczek, T., Scholer, C. „Annual average daily traffic prediction model for county roads“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 1617, lk 69–77, 1998.
- Pan, T. „Assignment of estimated average annual daily traffic on all roads in Florida“, 2008.
- „R: The R Project for Statistical Computing“. Kättesaadav: <https://www.r-project.org/>. [Vaadatud: 07-dets-2016].
- Selby, B., Kockelman, K. „Spatial prediction of AADT in unmeasured locations by universal kriging“, Transportation Research Board 90th annual meeting, 2011.
- Sepp, V., Kivi, T., Puolokainen, T., Tali, T., Themas, E., Valgma, Ü. „Uuring era- ja avalike teenuste ruumilise paiknemise ja kättesaadavuse tagamisest ja teenuste käsitlemisest maakonnaplaneeringutes“. Tartu Ülikool, 2015.
- Shamo, B., Asa, E., Membah, J. „Linear spatial interpolation and analysis of annual average daily traffic data“, J. Comput. Civ. Eng., kd 29, nr 1, lk 4014022, 2012.

- Sharma, S., Lingras, P., Xu, F., Kilburn, P. „Application of neural networks to estimate AADT on low-volume roads“, J. Transp. Eng., kd 127, nr 5, lk 426–432, 2001.
- Shen, L. D., Zhao, F., Ospina, D., I. „Estimation of annual average daily traffic for off-system roads in Florida“, Florida Department of Transportation, 1999.
- Staats, W., N. „Estimation of annual average daily traffic on local roads in Kentucky“, 2016.
- „Tee seisundinõuded“, Majandus- ja taristuministri määrus 14.07.2015 nr 92 - RT I, 15.07.2015, 13. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>. [Vaadatud: 09-jaan-2017].
- „Toimepiirkondade määramine“, Siseministeerium, Statistikaamet, 2014.
- Zhao, F., Chung, S. „Contributing factors of annual average daily traffic in a Florida county: exploration with geographic information system and regression models“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 1769, lk 113–122, 2001.
- Zhao, F., Park, N. „Using geographically weighted regression models to estimate annual average daily traffic“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 1879, lk 99–107, 2004.
- Zhao, F., Yang, S., Lu, C. „Alternatives for Estimating Seasonal Factors on Rural and Urban Roads in Florida, Phase II“, veebr 2008.
- Zhong, M., Hanson, B., L. „GIS-based travel demand modeling for estimating traffic on low-class roads“, Transp. Plan. Technol., kd 32, nr 5, lk 423–439, 2009.
- Wang, S.-G., Bai, L., Bao, Y. „Modeling and algorithms of VMT and AADT estimation for community area traffic networks“, IFAC Proc. Vol., kd 44, nr 1, lk 13858–13863, 2011.
- Wang, T. „Improved annual average daily traffic (AADT) estimation for local roads using parcel-level travel demand modeling“, 2012.
- Wang, T., Gan, A., Alluri, P. „Estimating annual average daily traffic for local roads for highway safety analysis“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 2398, lk 60–66, 2013.
- Wang, X., Kockelman, K. „Forecasting network data: Spatial interpolation of traffic counts from texas data“, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, nr 2105, lk 100–108, 2009.

## **Biograafia**

Ardo Kubjas (MSc) on ehituse ja arhitektuuri doktorant Tallinna Tehnikaülikool Inseneriteaduskonna Tartu kolledžis. Oma doktoritöös uurib ta transpordi planeerimisega seotud küsimusi.

Dago Antov (PhD) on Mehaanika ja tööstustehnika instituudi professor ning Logistika ja transpordi teaduskeskuse juht Tallinna Tehnikaülikoolis.