

OLUKORRATEADLIKU KÄITUMISE MATKIMINE OTSUSTUSTOES

*Merik Meriste, Kalev Rannat, Leo Mõtus, Mare Teichmann,
Tõnis Kelder, Jüri Helekivi*



ÜLEVAADE. Artiklis käsitletakse olukorrateadliku otsustustoe loomise ülesannet ja probleeme, keskendudes sellele, kuidas avastada ja analüüsida olukorrateadlikke käitumismustreid dünaamiliselt muutavas operatsioonikeskkonnas. Häälestatavad matkemudelid, mis kaasavad olukorrateadlikkust võimaliku käitumise matkimisse ja analüüsi, kujutavad endast olulist töövahendit dünaamiliselt muutuvate olukordade juhtimise otsustustoes. Artiklis esitatakse näiteid ProLabi matkekeskkonnas tehtud matkemudelite ja nende rakendamise kohta¹.

Võtmesõnad: olukorrateadlikkus, matkemudel, otsustustugi, dünaamiline ressursihaldus

Keywords: situation awareness, simulation-based decision support, dynamic resource management

1. Sissejuhatus

Laiapindse riigikaitse strateegia lähtub holistlikust mõtlemisest, mis peab primaarseks süsteemi kui terviku eesmärkide saavutamist. Nii inimestele kui ka masinatele otsustamiseks vajaliku info kogumise ning selle kooskõlastamise kontrolli, salvestamise ja otsustamise vahendid aitavad luua eesmärgipärast otsustamist toetavat olukorrateadlikkuse süsteemi. Lihtsamate rakenduste jaoks on olukorrateadlikkuse süsteeme edukalt loodud, aga praktilised raskused tekivad suuremahuliste ja keerukate süsteemide puhul, mille infovahetus on jaotatud. Luua Eesti laiapindse riigikaitse jaoks toimiv olukorrateadlikkuse süsteem on äärmiselt oluline, aktuaalne ja mahukas ülesanne.

Sellise holistliku süsteemi jaoks oleks soovitav niisugune andmekogu, mis kirjeldab enamiku elanike elutähtsate taristutega seotud objektide ja sihtkohtade tegelikku seisundit (peaaegu reaalselt), koos otsustussüsteemiga,

¹ Autorid tänavad Tallinna Tehnikaülikooli proaktiivtehnoloogiate teaduslaborit inspireerivate arutelude ja tarkvarateaduse instituuti finantstoetuse eest.

mille puhul on otsuse tegemise eesmärk püüda saavutada ja tagada süsteemi kui terviku pikaajalised eesmärgid nii tõhusalt kui võimalik. See ülesanne osutub iseäranis keeruliseks laiapindses riigikaitses ja kriiside ohjamisel muutuvate oludega operatsioonide puhul.

Näiteks eeldaks otstarbekas ressursikasutus kriisiolukorra lahendamisel seda, et kriisiohjakeskus saab kasutada: 1) täielikku teavet olukorra kohta koos riskianalüüsi hinnangutega; 2) valikureeglit, mis aitab teha olukorra põhjal õigeid otsuseid (määrata ressursside jaotust). Märkigem, et see, kuidas ressursse optimaalselt rakendada, on äärmiselt raske probleem ja arvutamise mõttes mahukas keeruline ülesanne². Otsustajad ei saa tavaliselt kasutada täielikku andmekogu ega ka arvutusvõimsust, mis pakuks kriisiolukorras napi ajaga välja optimaalse ressursikasutuse. Seetõttu ongi vastutustundliku ja kogenud juhi otsused paraku subjektiivne kombinatsioon olukorra kohta kasutada olevast teabest, riskihinnangutest ja professionaalsest kõhutundest. Sellised heuristilised otsustamisviisid on kriisiohjes eriti tähtsad just piiratud aja tingimustes.³

Riskihinnangutele tuginevasse prognoosi kaasatakse paratamatult määramatust, s.o teadmise puudumist või ebakindlust võimalike asjaolude või arengusuundade suhtes. See, et tegelikke riske ei teata, kuulub kahjuks suurel määral olukorrateadliku otsustamise juurde.⁴ Lihtsustatult on kaks võimalust: 1) me teame, mida me ei tea; 2) me ei tea, mida me ei tea. Juhtimisotsuste tegijad on seetõttu sunnitud kaasama oma subjektiivse riskihinnangu (kriisi) olukorra kohta ja varasemad kogemused sarnastes (kriisi)olukordades.

Otsustajate subjektiivse olukorrateadlikkuse loomist saab toetada olukorda iseloomustava infoga, et kujundada kriisioperatsiooni seisu kohta ühist käsitust (ingl *common operational picture*, ee 'ühine olukorrapilt'). Olulised infokillud on näiteks teadaolevad taristukahjustused, alustatud päästeoperatsioon ning inimeste ja organisatsioonide käitumismustrid, mis on (kriisi mõjul) muutunud. Niisugune info kogutakse kokku ja sünteesitakse olukorrapildiks. Sellega kaasneb teadmatus riskide suhtes, sest kogutud

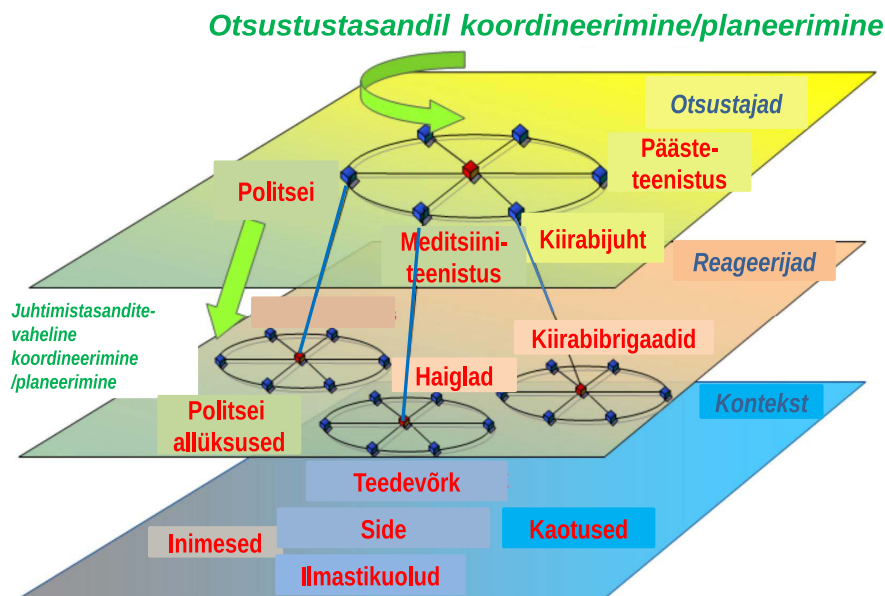
² **Karp, R. M.** 1972. Reducibility among Combinatorial Problems. – Miller, R. E.; Thatcher, J. W. (eds.). Complexity of Computer Computations. New York: Plenum.

³ **Rosqvist, T.; Havlik, D.; Meriste, M.** 2017. A Reference Decision Model of First Responders' Decision-making. – International Journal of Emergency Management, Vol. 13, No. 3, pp. 193–209. [Rosqvist *et al.* 2017]

⁴ **Riley, K.; Thompson, M.; Webley, P.; Hyde, K. D.** 2017. Uncertainty in Natural Hazards, Modeling and Decision Support. – Riley, K.; Webley, P.; Thompson, M. (eds.). Natural Hazard Uncertainty Assessment: Modeling and Decision Support. American Geophysical Union. Geophysical Monograph 223, pp. 1–8. [Riley *et al.* 2017]

info ei pruugi olla piisavalt täpne või on teatud oludes eksitav. Täpse teadmise puudumist ei saa otsustamisel paraku välistada. Teadmata asjaolude ja seoste mõju otsustaja subjektiivsele olukorrateadlikkusele sõltub suuresti otsustaja varasemast kogemusest. Teadmatust ei pruugi tingimata tähendada selgusetust otsuse valikul, sest ka selge valiku korral ei pruugita teada otsuse tagajärgi. Näiteks teadmatust sellest, kas tulle jäänud inimene hukkub 10 või 15 minuti pärast, ei mõjuta otsust saata suitsusukelduja teda päästma, kuna muud päästevõimalused on aeglasemad.

Otsustamisel kasutatav teave sõltub (juhtimis)ülesandest, infoallikatest ja osalejate tegelike võimete teadmisest. Vaatame näitena käsitust⁵ kriisiohje tasanditest ja seostest (joonis 1).



Joonis 1. Kriisiohje tasandid ja seosed

Eri allikatest pärit teave võib erinevates oludes olla subjektiivne, eri tähendusega ja lahendatava ülesande kontekstis isegi vastuoluline. Tavapärase töökorraldusega ei pruugi juhtimisotsuste langetamiseks olla tagatud usaldusväärne olukorrateadlikkus. Otsustamisel on samas määrav just see, kui palju on otsustajad olukorrast teadlikud. Otsustamiseks on tähtis üldise ja lokaalse olukorrateadlikkuse mõistlik tasakaal, sest ühelt poolt vajatakse võimalikult

⁵ Rosqvist et al. 2017.

head lokaalset olukorrateadlikkust (otsustustugi peaks olema otsustaja jaoks kui tark mees taskus), teiselt poolt vajatakse hästi valideeritud olukorrapilti koos riskihinnangutega, mis sõltuvad ka lokaalsest heast olukorrateadlikkusest, aga mitte ainult sellest.

Tegemist on jaotatud olukorrateadlikkusega.⁶ Koos töötavates süsteemides (vt nt joonis 1) eristatakse ühist (ingl *common*), jagatud (ingl *shared*) ja jaotatud (ingl *distributed*) olukorrateadlikkust. Jaotatud olukorrateadlikkust mõistetakse järgmiselt: „Jaotatud olukorrateadlikkust käsitatakse süsteemide koostöös ilmneva käitumise omadusena, mis tekib inim- ja tehistoimijate (ingl *agent*) interaktsioonidest.“⁷ Sellises süsteemis võivad jaotatud olukorrateadlikkuse kandjatel olla samast olukorrast erinevad teadmised, kusjuures nende süsteemi eesmärk on ühitada erinevad vaated selleks, et adekvaatne info oleks õigel tegutsejal süsteemis teada õigel ajal ja õiges kohas (vrd NATO võrgupõhised võimed, ingl *network enabled capabilities*).

Jaotatud olukorrateadlikkusega süsteemis sõltub toimija individuaalne olukorrateadlikkus tema rollist, oskustest, kogemusest ja tegevuse kontekstist. Olenemata toimija erinevast vaatest olukorrale peaks tema olukorrateadlikkus võimaldama otstarbekat koostööd süsteemis. Suhtlemine täiendab olukorrateadlikkust, sest toimijad vahetavad teadmisi ja uuendavad neid teistelt saadud info alusel. Süsteemi kui terviku olukorrateadlikkus kujuneb ilmneva käitumisena toimijate käitumise ja olukorrateadlikkuse uuendamise käigus. Riiki hõlmavat terviklikku olukorrateadlikkust realiseeriks jaotatud olukorrateadlikkusega süsteemide süsteem, mille osalejad on organisatsioonid, asutused, rakkerühmad, autonoomsed olukorrateadlikkuse info-süsteemid, toetav taristu jms. Avalik teave kujutab endast ühist olukorrateadlikkust, olukorrahased infovood jagatavat olukorrateadlikkust.

Selleks, et oleks võimalik jaotatud olukorrateadlikkus, on vaja modelleerida asutuste olukorrateadlikkuse erinevaid vaateid: osaleva süsteemi (toimija) võimete, toimija infovoogude, käitumismustrite, olukorrateadlikkuse vahendamise ja otsustustoe vaateid. Lisaks tuleb autentselt keskkonda matkida. Keskkonna ja toimija koosmõjus kujunevad sündmused võivad mõjutada toimijate olukorrateadlikkust ning sedasi ka süsteemi ja keskkonna arengut. Kaasamaks matkimisel süsteemi keskkonna mõju selles toimijatele, on olukorrateadlikkuse loomiseks oluline matkida keskkonda

⁶ Stanton, N.; Salmon, M.; Walker, G.; Salas, E.; Hancock, P. A. 2017. State-of-Science: Situation Awareness in Individuals, Teams and Systems. – Ergonomics, Vol. 60, Issue 4, pp. 449–466.

⁷ *Ibid.*

piisavalt adekvaatselt. See on raske ülesanne, mis sõltub keskkonna omadustest, nähtustest ja protsessidest. Selliste matkemudelite olemasolu ja rakendatavus olenevad valdkonnast. Näiteks on Eestis seni lahendamata keeruline ja mahukas ülesanne, kuidas koostada laialdaste elektrikatkestuste tagajärjel tekkiva ajutise elukeskkonna aja- ja kohatundlik matkemudel, et pakkuda päästjatele ja kriisikomisjonidele paremat otsustustuge.

2. Otsustustugi

Otsustamisel vajatav teave sõltub (juhtimis)ülesandest, teabeallikatest, asutustest, mis kasutavad oma töös olukorra kohta käivat teavet, ja teabe usaldusväärsusest. Eri allikatest pärit teave võib olenevalt olukorrast olla eri kaalu ja tähendusega ning minna vastuollu seniste teadmistega.

Otsustamise tugisüsteem ehk otsustustugi aitab langetada otsuseid keerulistes tingimustes, mis muutuvad kiiresti. Kõige tähtsam otsustustoe puhul on tagada otsustajate olukorratundlikkuse adekvaatsus ajas ja ruumis.

Uuemad otsustamise tugisüsteemid on intelligentised (ingl *intelligent decision support systems*) ja täiendavad traditsioonilisi otsustamise tugisüsteeme, abistades kasutajat reaajas otsuste tegemisel. Sellises otsustustoes kasutatakse erinevaid teabeallikaid, sh dünaamiliselt muutuvaid andmeid (millest osa võib olla ebatäpne või raskesti kättesaadav), ning aidatakse langetada otsuseid teabe ülekülluse ja ajasurve korral.⁸ Hajusa tehisintellekti (ingl *distributed artificial intelligence*) mõttes on tegemist kognitiivsete toimijate võrguga, mis tegutseb keskkonnas iseseisvalt ja eesmärgipäraselt, esitades või matkides jaotatud olukorratundlikkust⁹.

Eraldi tuuakse otsustustoe käsitustes esile reaajas toimiv otsustustugi (ingl *real-time decision support system*). Selle eesmärk on tagada reaajas laekuva teabe põhjal kiire ja olukorratundlik otsustamine.¹⁰ Olukorratundlik otsustustugi aitab teabe hankimise, analüüsi ja arengusuundade prognoosi abil langetada mingis olukorras parima võimaliku otsuse. Kui otsustustugi

⁸ **Phillips-Wren, G. E.** 2008. Intelligent Agents in Decision Support Systems. – Adam, F.; Humphreys, P. (eds.). *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*, Chapter 58. Hershey, NY: Information Science Reference, pp. 505–513.

⁹ **Wooldridge, M.** 2002. *An Introduction to Multiagent Systems*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, LTD.

¹⁰ **Power, D. J.** 2011. Challenges of Real-Time Decision Support. – Burstein, F.; Brézillon, P.; Zaslavsky, A. (eds.). *Supporting Real Time Decision-Making. The Role of Context in Decision Support on the Move*. Springer, pp. 3–11.

lähtub jaotatud olukorrateadlikkuse paradigmast, aitab selline tugi parandada meeskondlike otsuste tegemist ja vähendada koostöö riske. Analüüsigem nüüd täpsemalt olukorrateadliku otsustustoe ülesandeid, võimalikke lahendusi ja probleeme.

2.1. Reaalsest keskkonnast arusaamine

Otsustamise jaoks on oluline, et oleks olemas adekvaatne pilt operatsiooni-keskkonnast ja et osataks arvesse võtta keskkonnamõjusid. Näiteks on raske ennustada, kas planeeritud päev sobib ehitajale välitöödeks, kui ei ole asjakohast ilmaprognoosi. Sama kehtib ka meresõidu puhul. Ilmaennustust teadmata pole mõtet võtta kavva ka purjeregatil osalemist, kusjuures purjetaja huviorbiidis on just tuule- ja laineinfo, mitte niivõrd päikesepaiste ja temperatuur, mis on eeldatavasti esmatähtsad katusevärvi ja vaatevinklist. Juba kahe asjahuvilise näitel märkame, et keskkonnateavet ootavad mõlemad, kuid kõige tähtsamaks peetakse erinevaid parameetreid ja kriteeriume.

Keskkonnamõtjude osatähtsus mõnes (matkitud) nähtuses või tegevuses sõltub rakendusvaldkonnast, kohast ning ajast, mille vältel keskkonnainfot vajatakse. Ilmaprognoosi täpsustatakse iga kuue tunni tagant (spetsiifiliste vajaduste puhul antakse ka lühemaid prognoose)¹¹ värske seirenäitajate järgi, mille põhjal järgnevate tundide ja päevade prognoos muutub. Kui huvipakkuv sündmus kestab vaid mõne minuti, piisab olukorrahinnanguks hetketeabest.

Pahatihti jäetakse sündmuste võimaliku arengu prognoosimisel keskkonnamõtjud põhjendamatult arvestamata, nagu oleks tegu tülikalt käsitletava või teisejärgulise infoga. Sellisel juhul on tegevuse jaoks tavaliselt koostatud tabuleeritud tegutsemisjuhend. Selline meetod eeldab, et teatakse kõiki võimalikke sündmuste arenguvariante, millest igapähele vastab tabelis kindel lahter oma tegutsemisstsenaariumiga. Kas kõiki olukordi hõlmava tabeli koostamine on võimalik või mitte, on omaette küsimus, kuid kõiki tegevusi või sündmusi, mis leiavad aset välistingimustes, mõjutab vähemal või rohkemal määral keskkonna olek konkreetsel ajahetkel. Tahtmata pisenada planeerimise ja tabelite tähtsust, tasub siiski mõista, et ainuüksi nende põhjal ei pruugi õnnestuda lahendada suvalist olukorda, mis võib tekkida erakorralistes tingimustes.

¹¹ **Guidelines for Nowcasting Techniques** 2017. World Meteorological Organization, WMO-No. 1198.

Näiteks merepäästes mõjutavad päästeoperatsiooni käiku suurel määral tuul, lainekõrgus, nähtavus (objektide avastamiskaugus), veetemperatuur ja triiv. Kõik need mõjutegurid võivad muuta otsinguoperatsiooni keerulisemaks ja vähendada hädasolijate pääsemislootusi. Samas on laevaõnnetustega sageli kaasneva keskkonnareostuse korral tähtis hinnata sellest johtuva ohu taset ja ulatust ning teada, kuhu ja kui kiiresti reostus levib, milliseid päästemeetmeid ja -vahendeid tarvitada ja kas olemasolevatest reostustõrjeressurssidest piisab. Olenevalt olukorrast võib hinnangute andmisel kasutada triivi ja reostuse leviku mudeleid, millega prognoositakse sündmuste tõenäolist arengut lähematel tundidel või päeval. Viidatud mudelite¹² puhul on objektiivsete tulemuste saamiseks vaja autentset meteoroloogilist sisendinfot. Kui meteoroloogiline olukord muutub, tehakse lisaprognos ja jätkatakse prognoosimisega seni, kuni vaja. On selge, et merepääste on valdkond, kus keskkonnamõjud on äärmiselt dünaamilised.

Samas ei puuduta keskkonnamõjud ainult looduskeskkonda. Näiteks mängivad siseruumide temperatuuri ja õhuniiskuse hoidmiseks hoone energiatõhususe matkimisel tähelepanuväärset rolli välistemperatuur ja päikesekiirgus (mõjud väliskeskkonnast). Hinnang selle kohta, kuidas keskkond mõjutab uuritavaid objekte või süsteeme, sõltub uuritavate protsesside ulatusest. Küsimus, millist ja kui täpset infot on prognoosiks vaja, tuleb lahendada iga ülesande puhul eraldi. Ükski mudel ei ole seejuures täiuslik ja vajab häälestamist konkreetsete olude järgi. Näiteks projektis CRISMA kasutati tarkvara TELEMAC-MASCARET¹³, et hinnata merekalda kaitserajatiste (tammide) purunemisest tingitud üleujutuse ulatust ja mõju. Eesmärk oli tagada valmisolek ja hädavajalikud ressursid ekstreemsete sündmuste ennetamiseks ja nendega toimetulekuks. Tegemist on väga paindlike töövahenditega, millega modelleeritakse hüdrooloogilisi protsesse eri situatsioonides ja täiesti erinevatel eesmärkidel.¹⁴ Universaalsusele vaatamata tuleb mudel igal üksikjuhul häälestada konkreetse uuritava akvatooriumi geomeetria järgi ning lisaks peab arvestama ajakohaste meteoroloogiliste tingimuste ja prognoosidega.

¹² Dagestad, K-F.; Röhrs, J.; Breivik, Ø.; Ådlandsvik, B. 2018. OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling. – Geoscientific Model Development, Vol. 11, pp. 1405–1420.

¹³ Vt TELEMAC-MASCARET, www.opentelemac.org.

¹⁴ Hervouet, J-M.; Bates, P. (eds.) 2000. The TELEMAC Modelling System: An Overview. – Hydrological Processes, Vol. 14, Issue 13, pp. 2209–2210.

Numbrilised keskkonnamudelid on sageli arvutusmahukad. Näiteks tammi purunemisel tekkiva üleujutuse matkimiseks¹⁵ oli vaja 37 minutit protsessoriaega vektorarvutil CRAY C98 ning ligi 12–24 tundi tavalisel lauarvutil. Siinjuures tuleb märkida, et kui peakski leiduma arvutusressurssi, mis annaks kriisiolukorras vastuse minutite või tundidega, kulukuks ettearvamatult palju aega mudeleksperimenti ettevalmistamiseks konkreetse keskkonnas ja situatsioonis. Mida täpsemat infot tahaksime mudeli abil saada, seda tihedamat ruumijaotust ja täpsemat seireinfot vajame. Piiravateks teguriteks jäävad arvutusvõimsus ja -aeg ning arvutamise kaasnivad vead, mis kulmineeruvad mudeli mitteaktsepteeritava ebatäpsusena.

Vaatamata keerukusele ja arvutusmahule, millega sageli võidakse põhjendada keskkonnamõtjude ignoreerimist matkimisel, on nende tegurite eiramine otsuste tegemisel kriisiolukorras äärmiselt lühinägelik. Otsustada tuleb siin ja praegu, ühel või teisel moel kaasneb sellega teadmatust.¹⁶ Neid asjaolusid arvesse võttes nähakse kriisiohjes lahendust selles, et luuakse olukorrateadlikkust võimalikult hästi kaasav otsustustugi.¹⁷ Käsitleva keskkonna tingimusi ja mõjusid prognoosida on siinkohal oluline ülesanne, peale loodusliku keskkonna tuleb seda teha ka linnakeskkonnas, kriitilises taristus jm. Võimalused selleks on märgatavalt avardunud tänu andmekaeve, suurandmete analüüsi ja tehisintellekti arengule. Seesama areng suurendab aga keskkonnamõtjude modelleerimise ja riskianalüüsi keerukust ning seda iseäranis olukorrateadliku otsustustoe puhul. Huvitava ja värske käsitluse sellisest modelleerimisest ja keerukusest pakuvad Eisenberg jt.¹⁸ Järgnevalt analüüsime otsustamisel väga tähtsat ressursside kasutamise probleemi.

¹⁵ **Hervouet, J.-M.** 2000. A High Resolution 2-D Dam-Break Model Using Parallelization. – *Hydrological Processes*, Vol. 14, Issue 13, pp. 2211–2230.

¹⁶ **Riley et al.** 2017.

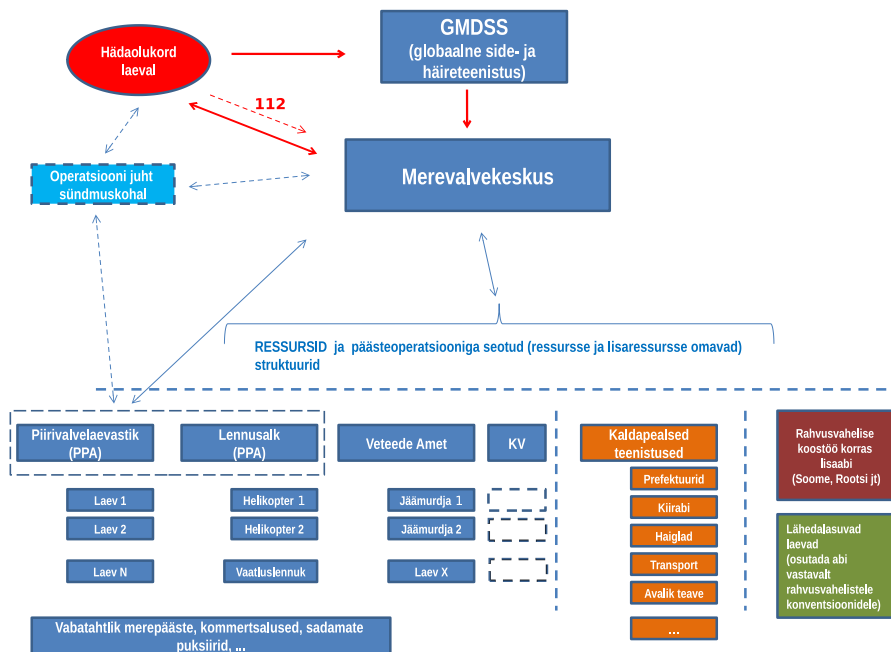
¹⁷ **Havlik, D.; Deri, O.; Rannat, K.; Warum, M.; Rafalowski, C.; Taveter, K.; Kutschera, P.; Meriste, M.** 2015. Training Support for Crisis Managers with Elements of Serious Gaming. – Denzer, R.; Argent, R. M.; Schimak, G.; Hřebíček, J. (eds.). *Environmental Software Systems. Infrastructures, Services and Applications*. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 448. Springer International Publishing, pp. 217–225. [**Havlik et al.** 2015]

Jennings, N. R.; Moreau, L.; Nicholson, D.; Ramchurn, S.; Roberts, S.; Rodden, T.; Rogers, A. 2014. Human-Agent Collectives. – *Communications of the ACM*, Vol. 57, No. 12, pp. 80–88. [**Jennings et al.** 2014]

¹⁸ **Eisenberg, D.; Seager, T.; Alderson, D. L.** 2019. Rethinking Resilience Analytics. – *Risk Analysis*, Vol. 39, No. 9, pp. 1870–1884. [**Eisenberg et al.** 2019]

2.2. Resursside planeerimine

Üldjuhul planeeritakse ressursse ja varusid minevikus õpitu põhjal, st juhendatakse kogemustest sarnastes olukordades, mille lahendamiseks planeeritavaid ressursse kasutati. Heal juhul arvestatakse ka rahvusvahelist praktilist kogemust. Planeerimise eesmärk on ressursside piisav varu. Varundamisega kaasnevad paratamatud püsikulud. See on hind, millega tuleb leppida, et olla valmis kriisiolukordadega toime tulema. Varude (olemasoleva ressursi) praktiline väärtus selgub alles konkreetses pääste- või muus operatsioonis, kus lisandub tõhus ressursikasutuse juhtimine kõikidel juhtimistasanditel.



Joonis 2. Hädaolukord laeval – osalised ja potentsiaalsed ressursid

Mõnel juhul, näiteks merepäästes, on rahvusvaheliste juhiste ja konventsioonidega kokku lepitud, milliseid ressursse ja milliseid institutsioone millistel tingimustel päästeoperatsioonides kasutatakse. Täpsemat infot selle kohta leiab rahvusvahelistest lennu- ja merepääste käsiraamatutest¹⁹.

¹⁹ IAMSAR 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume I: Organization and Management. Montréal: IMO/ICAO. IAMSAR 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume II: Mission Co-ordination.

Viimastest juhindudes on koostatud lihtsustatud näide merel tekkinud hädaolukorra lahendamise skeemi kohta (vt joonis 2), millesse on kaasatud Eesti vastavad teenistused ja ametkonnad ning nende käsutuses olevad ressursid.

Merevalvekeskus koordineerib tegevust vastavalt olukorrale ja korraldab ressursside kasutamist. Lihtsamal juhul, kui Politsei- ja Piirivalveamet (PPA) saab hakkama omal jõul, ei pea teised ametkonnad oma päästeressurssidega sekkuma. Kui ei saa, siis rakenduvad reeglid, millega on sätestatud, millistel tingimustel kusagilt lisaressurssi saab, näiteks Kaitseväest (KV) või rahvusvahelise abina. Tekivad ressursivajaduse ristsõltuvused: millise ametkonna ressursse lisaks vajatakse, kuidas see mõjutab teise ametkonna võimet tema vastutusvaldkonnas, kuidas peetakse institutsioonide vahel sidet, kui palju kulub aega erinevatel tasanditel otsustamiseks jm.

Hetkeolukord ja keskkonna seisund sündmuse toimumise hetkel mõjutavad otseselt valikuid, mille järgi saadetakse ressursse välja, et olukorda lahendada. Siin ei mängi rolli ainuüksi kriisi või õnnetuse tüüp ja ulatus, vaid ka konkreetset (keskkonna)tingimused, milles kogu operatsioon aset leiab. Näiteks ei ole mõistlik saata päästekaatrit kohta, kus kaater ei tule tehniliste näitajate järgi toime, sest kaatri saatmise tagajärjel muutuksid päästjad uuteks abivajajateks. Reaalne olukord peaks olema määrav otsustamisel, millise võimega ressurss on mingis olukorras vajalik ja kasutatav. Tegelik olukorrateadlikkus ei pruugi olla samas otsustamiseks piisav (teadmatus e tõttu).²⁰ Kuivõrd efektiivselt ressursid neid haldavate institutsioonide alluvusest päästeoperatsiooni kaasatakse, sõltub institutsioonidevahelise koostöö sujumisest. Koostööd on tunduvalt lihtsam planeerida kui pidevalt muutuvas oludes tegelikult teha. Muutuv olukord on paratamatult keerulisem, kõiki kujunevaid asjaolusid ja vajadusi ei saa ette näha ja ainuüksi seetõttu ei saa neid ka otsustamisel arvesse võtta. Selles peitubki otsustustoeks kasutatava matkimise puhul lahendamata probleem: kui suures plaanis (nt riigi tasandil) tuleb mängu mitu institutsionaalset otsustajat või otsuseid tegevat komisjoni, siis peaks matkemudelisse kaasama ka otsustajate olukorrakohase käitumise mudelid. Selliste küber-füüsikalise-sotsiaalsete süsteemide matkimise vajadust mõistetakse paraku aeglaselt, aga meetodid selleks on välja kujunemas.²¹

Montréal: IMO/ICAO. **IAMSAR** 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume III: Mobile Facilities. Montréal: IMO/ICAO.

²⁰ Riley *et al.* 2017.

²¹ Jennings *et al.* 2014.

Päästeressursid on enamjaolt paigutatud sel viisil, et nende kättesaadavus ja kriisipiirkonda toimetamine oleks teadmisi, kogemusi ja võimalusi arvestades lähedane optimaalsele. Ressursside kasutamise dünaamika keerukust kiputakse sageli alahindama.

Gemma Church on toonud veebiartiklis²² lihtsa, kuid tabava näite õhtusöögi ettevalmistamise kohta. Näites olid ressursid parimal viisil parima teadmise järgi planeeritud ja olemas, kuid ei vastanud konkreetset ajahetkel ootamatult tekkinud uuele olukorrale. Reaalses elus leiab hulgaliselt tõsisemaid näiteid, kus isegi head plaanid osutuvad kas osaliselt või täielikult kasutuks, kuna tekkinud olukorda ei nähtud ette või ei peetud võimalikuks.

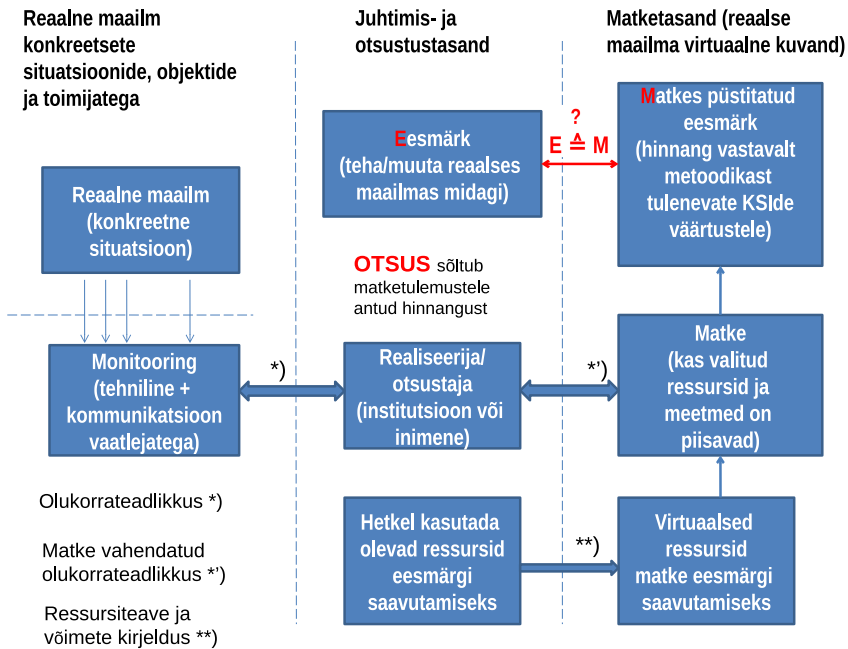
Kriisiolukord võib olla nii ulatuslik, et piirkondlikud ressursid ja võimed ei pruugi olla olukorra lahendamiseks piisavad. Sellises seisus tuleb kõigepealt lahendada küsimused, kas ja kuidas oleks võimalik hankida lisaressurssi (kas parasjagu on vaba ja tehniliselt korras ressurssi, kas personal on valmis) ning kas seda saaks kaasata piisavalt kiiresti, et vältida ebasoovitavaid tagajärgi. Need küsimused on aktuaalsed igas kriisiohje valdkonnas. Vastuseid aitaks leida matketegevus (vt joonis 5), kus kasutatakse reaalselt infot olukorra ja ressurside kohta. Realistliku, tõepärase sisendinfota (seire, side, vaatlejad jm) pole matketulemustest üldjuhul abi (mõnel juhul on sünteetilise lähteinfo kasutamine siiski õigustatud).

3. Otsustamine, olukorrateadlikkus ja matke

Otsustamise all mõistame enamasti vahendite ja meetodite valikut püstitatud eesmärgi saavutamiseks. Vahendeid ja meetodeid on raske, kui mitte võimatu optimaalselt valida ilma teadmata olukorda ja võimalusi (kasutuses olevate vahendite võimet midagi eesmärgipärast teha). Olukorrateadlikkust tõlgendame kui informeeritust reaalse maailma olekust ja konkreetsest situatsioonist (või situatsioonidest). Olukorrateadlikkuse saavutamiseks on olulisel kohal vaatlused, tehniline seire ja kommunikatsioon (vt joonis 3). Joonisel 3 on esitatud kolm paralleelset vaadet: 1) reaalne maailm konkreetse olukorraga; 2) juhtimis- ja otsustustasand (see, kuidas reaalne maailm paistab nende, kes peavad olukorra lahendamiseiga toime tulema); 3) reaalse maailma virtuaalne kuvand ehk teisik, mis matkib tegelikkust sel määral, kui palju sinna vahendatakse reaalse maailma olekut kirjeldavat

²² Church, G. 2019. The maths problem that could bring the world to a halt. – BBC.com. Future Now. Mathematics.

infot. Matketasandile ei jõua info iseenesest. Juhtimis- ja otsustustasandil määratakse kindlaks, kui palju ja mida on vaja ja saab matketasandile anda. Matketasandit võib käsitleda otsustustoena, kus otsitakse teavet selle kohta, kas läbimängitud matkestsenarium koos hinnangutega püstitatud matkeeesmärgile (M) kesksete sooritusindikaatorite (KSI) järgi (ingl *key performance indicator*) vastab reaalses maailmas püstitatud ülesandele ehk eesmärgile (E).



Joonis 3. Olukorrteadliku otsustustoe infoallikad ja tegevused

Kui maailma olek on otsustaja jaoks vaatluse ja seire tulemusena peegeldunud olukorrteadlikkuseks (olukorrteadlikkuse üks olulisi komponente on pidevalt ajas muutuv keskkonnateave), saab sellele tuginedes valida olemasolevatest vahenditest ja teadaolevatest meetoditest eesmärgi täitmiseks sobivad.

Siit edasi tekib eluline küsimus: kas olemasolevad vahendid (ressursid) on piisavad? Vastust ei ole, kui puudub adekvaatne ressursiteave ja -kirjeldus (ressursi olemasolu ja kasutuskoõlblikkus otsustamishetkel). Oletame, et ressursidest on saadud piisav ülevaade. Otsustajad on endiselt küsimuse ees, kas kasutada olevad ressursid on praegusel hetkel võimet arvestades piisavad.

Kas kasutada olev ressursss võimaldab saavutada eesmärgi mõistliku ajaga? Kes annaks nõu, kui otsustajatel puudub konkreetse olukorras isiklik kogemus? Kas mobiliseerida kogu varuks olev ressursss või piisab vähemast? Kas on arukas mobiliseerida kõik ressursid jäägitult ühe ülesande täitmiseks?

Kui olukord lubab ja pole eksperti, kes teab kindlalt vastust, võib kasulikuks abivahendiks osutada matkimine, mille abil saab virtuaalmaailmas ja virtuaalsete vahenditega läbi mängida võimalikud otsused (koos võimalike arengustsenaariumide ja ressursijaotustega). Selleks, et saada arvestatav tulemus, tuleb matkimisel kasutada teavet, mis vastab reaalse maailma olekule, st matke jaoks tuleb reaalse olukorra kohta edastada piisavalt täpne olukorrapilt.

Matke jaoks püstitatakse eesmärk, koostatakse stsenaariumid ja valitakse ressursivarud, mis vastavad reaalses maailmas püstitatud eesmärgile. Matke eelis on võimaluses mängida kiiresti läbi erinevad variandid, ilma et tulemus kedagi kahjustaks (st virtuaalselt võib teha kõike ilma igasuguse vastutuseta). Erinevate variantide hulgast on otsustajal võimalik valida see, mis on kõige lähemal püstitatud eesmärgi täitmisele. Selles peitubki matke kui otsustustoe funktsioon: see aitab otsustajal veenduda, kas matkes kasutatud ressursi-variant ja -kasutus võivad reaalse olukorra eesmärgipäraselt lahendada.

Kahtlemata jääb kriitilistes olukorras vastutus endiselt otsustajale. Ebaõnnestumises ei ole õige süüdistada matke eksitavaid tulemusi. Adevaatsetele lähteandmetele tuginev matke koos valideeritud mudelitega aitab vähendada valede otsuste tegemise riski ning võib õigel ajal juhtida tähelepanu vajadusele hankida vältimatut lisaabi (ressurssi), kui selgub, et omast ei piisa. Võimalike otsuste (st otsustamisreeglite) mõju saame uurida ja analüüsida, kui kasutada matkes häälestatavaid toimijapõhiseid mudeleid erineva võimega toimijate kooslustega eri tingimustes.²³

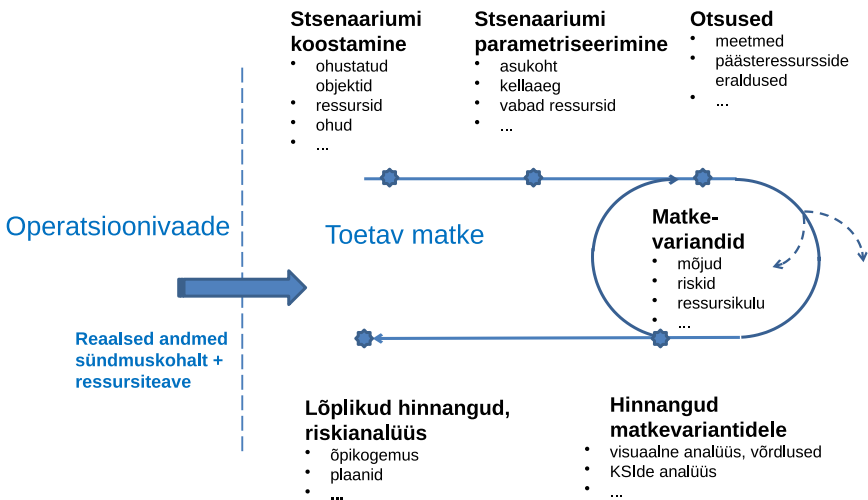
4. Matkimine, juhtimisotsused ja otsustustugi

Juhtimisotsuste langetamisel on matke kasutatavuse küsimus äärmiselt oluline. Matkel on mõtet ainult juhul, kui selle abil kirjeldatakse võimalikult adekvaatselt reaalses maailmas toimuda võivaid sündmusi ja protsesse (seda tehakse matkejuhi kaasatud ressurside ja tegevusstsenaariumi järgi). Matke ei vasta kunagi 100% tegelikkusele, sest matke tugineb keskkonna- ja

²³ Macal, C. M. 2016. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. – Journal of Simulation, Vol. 10, Issue 2, pp. 144–156. [Macal 2016]

tegevusmudelitele, mis on tegelikkuse lähendused teatud tasemel. See ei pruugi aga takistada matketulemuste kasutamist otsustusprotsessis. Otsustaja peab olema lähendamisest teadlik ning üldjuhul otsib ta kinnitust enda püstitatud tegevusstsenaariumi ja valitud ressursside otstarbekusele, et valida mitmest matkevariandist parim. Matkemudeleid koostada ja häälestada on mahukas töö, erilist tähelepanu väärib modelleerimisviiside valik.²⁴

Raskusi võib tekitada see, kuidas infot matkesse vahendada ja kaasata. Ideaalis peaks kogu monitooringuteave olema moonutusteta matkesse vahendatud. Reaalselt ei pruugi see suure andmemahu või info kättesaadavuse (mõnel juhul salastatuse) tõttu õnnestuda. Probleem peitub ka selles, kuidas esitada ressursiteavet ja -võimet adekvaatselt (kas teadaolevad ressursid on matkemudelites kirjeldatud vastavalt tegelikkusele, kas ressursid on parasjagu kasutatavad ja vabad, milline on tegelik ressursivõime mingil ajahetkel?). Tüüpiline matke arendamise ja rakendamise skeem on esitatud joonisel 4. Paremal toodud katkendjooned sümboliseerivad matkevariantide läbimängimise tsüklis erinevaid tulemusi.



Joonis 4. Matke arendamise ja rakendamise skeem

Matke koostamise lähtekoht on kasutusvaldkonna määratlus koos matkesse kaasatud ressursside ja nende omaduste kirjeldusega. Matkekeskkond on valdkonnaneutraalne, kuid matkel on mõtte ainult etteantud tegevusvaldkonna järgi valitud ressursside ja nende omistatud käitumismallide

²⁴ Eisenberg *et al.* 2019.

raames. Näiteks postiteenistuse jaoks mõeldud ressursid ei sobi mere-laevanduses kasutamiseks jne.

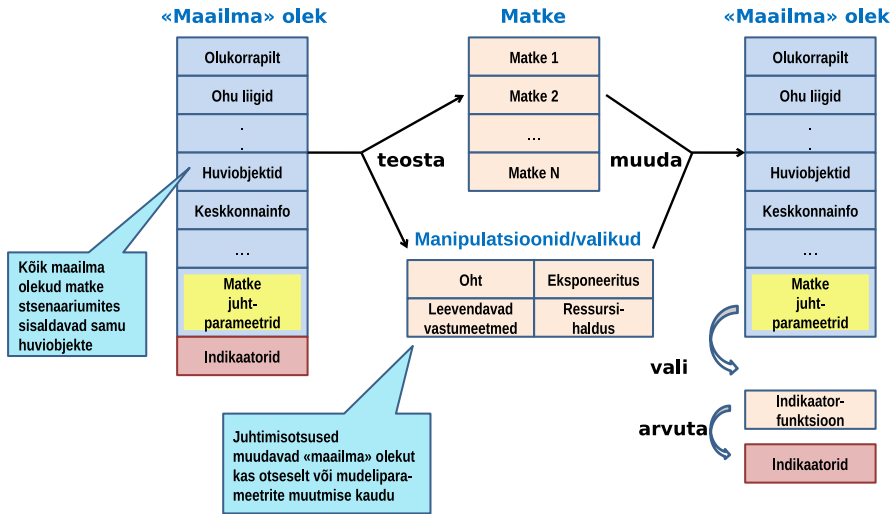
Üldjuhul on tellija määranud täpselt kindlaks ressursid ja nende kasutamise võime. Sama kehtib ka vajalike kesksete sooritusindikaatorite (KSI) ja metoodika kohta, mida tuleb kasutada indikaatorite arvutamiseks. Näiteks CRISMA²⁵, mis sisaldas küll matkimist erinevatest kriisivaldkondadest, kasutas häälestatavat matkekeskkonda, aga see oli igale kriisi tüübile kohaldatud erineva kooslusega toimijate, huviobjektide, käitumismallide ning spetsiifiliste KSIdega. CRISMA tugines mitmele praktilise kogemuse üldistusele ja lihtsustusele, kuid need olid kas konkreetselt tellijate esitatud või kokkulepete alusel rakendatud. Tehnilisema kallakuga matkimisel on matkeülesanne selgelt määratletud (nii on konkreetsust lihtsam tagada ja fantaasiale jääb vähem ruumi). Hoone energiatarbe matkimisel BACneti projektis²⁶ täitsid toimijate rolli tehnilised seadmed tegelike seadmete käitumist matkiva tarkvarana ehk matke toimijatena. Toimijate käitumismallid olid määratud seadmete tehnilise funktsionaalsusega tootja spetsifikatsioonide põhjal.

Matkekeskkonna näitena kirjeldame FP7 projekti CRISMA lahendust. Meie töörühm panustas sellesse projekti ressursside halduse matke interaktiivse teenusega, mida juhiti matkeülesande järgi üle unifitseeritud kasutajaliidese. Matkekeskkond võimaldab otsustajal visualiseerida kriisiolukorra arengut selle olukorra olekupõhise mudeli, nn kriisimaailma olekute jadadena. Olekute jadad esitavad kriisiolukorra erinevaid arenguliine valitud ajahetkel või ajavahemikus. Otsustaja saab olekut võrrelda alternatiivsete olekutega teistes arenguliinides, mis tekivad sõltuvalt tehtud otsustest ja ilmnevatest sündmustest. Matkitavate alternatiivsete arenguliinide valiku ja hindamise kriteeriumid tuginevad matkitava valdkonna reeglitele (selles näites kriisiohje reeglitele). Normeerimisega tagatakse alternatiivide hindamise võrreldavus. Olenevalt konkreetsest rakendusest tehakse need valikud kas matkerakenduse häälestamisel või interaktiivselt otsuse, matke ja tulemuse hindamise tsükli ajal.

²⁵ Dihé, P.; Scholl, M.; Schlobinski, S.; Hell, T.; Frysinger, S.; Kutschera, P.; Warum, M.; Havlik, D.; DeGroof, A.; Vandeloise, Y.; Deri, O.; Rannat, K.; Yliaho, J.; Kosonen, A.; Sommer, M.; Engelbach, W. 2014. CRISMA ICMS Architecture Document V2. EU Project: CRISMA Modelling Crisis Management for Improved Action and Preparedness. [Dihé *et al.* 2014]

²⁶ Rannat, K.; Meriste, M.; Helekivi, J.; Kelder, T. 2012. Models of Indoor Environments – a Generic Interactive Model for Design and Simulation of Building Automation. – Bhatt, M.; Guesgen, H. (eds.). Situational Awareness for Assistive Technologies. Series: Ambient Intelligence and Smart Environments, Vol. 14. IOS Press, pp. 165–186. [Rannat *et al.* 2012]

Selline nn maailma olek kannab endas kogu infot hetkeolukorra (st matkitava arengu seniste tagajärgede) analüüsimiseks või uue matke käivitamiseks. Käigu uude olekusse määravad selles olekus tehtud häälestused ja käivitatud matketegevused. Käik säilitab olekus sisalduva info koosseisu ja struktuuri ka uues olekus (vt joonis 5).



Joonis 5. Oleku muutus CRISMA „maailmas“: olekud ja käigid²⁷

Uue oleku loomine käivitab ka vastavate indikaatorite väärtuste arvutamise. Indikaatorid esitavad olekute (matketulemuste) ja otsustustoe ühiseid markereid. Vahetulemuste analüüsi ja uues olukorras otsustamist toetavad omakorda numbrilised kriteeriumid, mis määratakse valitud indikaatorite väärtuste teisendamisega 0–100% skaalale. Sellises otsustustoes pakutakse seega otsustajale erineva detailsusega infot, mis iseloomustab valikuid: olek, indikaator, kriteerium ja multikriteerium. Olek esitab kõiki kasutada olevaid andmeid, indikaatorid esitavad kriisiohje tavapäraseid markereid ning indikaatorite kombineerimisega määratakse soovitud kriteeriumid. Kriteeriume vajaduse korral kombineerides sünteesitakse nn multikriteeriume esitavad markerid.

Kirjeldatud skeemi katsetati projekti raames järgmistes tüüpilistes kriisiohje ülesannetes: üleujutused, suurõnnetused, metsatulekahjud, maavärin ja ohtlik saaste linnakeskkonnas.

²⁷ Dihé et al. 2014.

5. Matke toimijate rakendamine otsustustoes

Iga reaalses maailmas toimuva protsessi matke dünaamikat kirjeldatakse mudelitega, mis püüavad võimalikult täpselt arvestada uuritavate protsesside iseärasustega, järgides kindlaid parameetreid ja etteantud (st enne teadaolevaid) reegleid. Matkemudelina mõistetakse kõigi matkesse kaasatud mudelite kooslust, seejuures on tähtis tagada nende sisuline, ajaline ja ruumiline kooskõla. Selles artiklis käsitletud matkerakendused on toimijapõhised, st need tuginevad toimijate põhjal häälestatavatele matkemudelitele. Matkimisel osalevad toimijad²⁸, kellele on omistatud teatud omadused ja käitumismallid, mille puhul üritatakse võimalikult täpselt jäljendada reaalse valdkonna ressursse, näiteks päästehelikopteri või kiirabibrigaadi võimet ja rutiinset tegevust oma ülesannete täitmisel. Matkemudelis esitatud ja igas selle mudeli kohases matkes on toimija seega reaalse maailma konkreetset institutsiooni või objekti jäljendav mudel, millele on määratud sarnased omadused ja teatud käitumismallile ehk käitumismustrile vastav vabadus, et ta saaks matke käigus autonoomselt tegutseda. Käitumismalli kuuluvad ka reeglid, mille alusel toimija suhtleb ja oma keskkonda mõistab. Toimijate koosluse ja keskkonna koostöös kujuneb sõltuvalt olukorrast matke tulemus.

Loomulikult on erinevate kriisivaldkondade matkimiseks vaja erinevaid valdkonnale kohaldatud matkeobjekte, toimijaid ja omadusi koos hindamismarkeritega (st vastavate indikaatorite ja kriteeriumidega). Seepärast ei saa kopeerida matkeobjekte, toimijaid ja omadusi mõtlematult ühest matkerakendusest teise, kuigi matkeplatvorm jääb samaks ja toimijad on koostatud samade mallide järgi (lähemalt vt 9. ptk ja joonis 9). Üldjuhul on tellija määranud täpselt kindlaks käitumismallid, ressursid ja võimed koos vajalike KSIdena ja meetodikaga nende arvutamiseks.

Tellijaspetsifikatsiooni järgi koostatakse soovitud matkestsenaariumide realiseerimiseks vajalik matkeobjektide ja toimijate kogum koos kõigi vajalike omadustega. See tagab, et soovitud stsenaariume saab täita ja etteantud KSIsid kasutada matketulemuste (või vaheseisude) hindamiseks. On ilmne, et matkemudeleid luuakse selleks, et saada matkimise kaudu lisateadmisi matkitava nähtuse või objekti kohta nii matkimise ajal kui ka matkimise tulemusena (nt toimijate oskus jagada enda seisundi kohta teavet teistele toimijatele ja oskus kasutada digikaksikuid matkeülesannete täitmiseks).

Järgnevalt esitatud matkerakenduste näidetes on samas matkekeskkonnas käsitletud muutuvates tingimustes erinevaid dünaamilisi protsesse.

²⁸ Macal 2016.

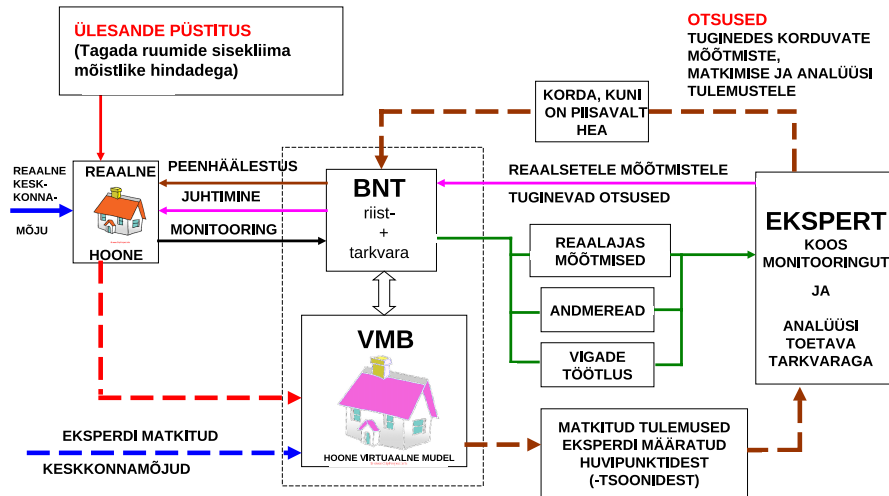
6. I rakendus: VBM ja BACnet

Hoone virtuaalset mudelit (ingl *Virtual Model of the Building*, VMB) ja hoone automaatika võrguprotokoll BACnet™ (ingl *Building Automation and Control Network*) järgiva automaatikasüsteemi matkimise näitel on tegemist hooneautomaatikast häälestava spetsialisti otsustustoega. Millest juhindub või mille järgi käitub oma tegevuses üks automaat? Primitiivsema automaadi puhul on otsustuskriteeriumiks ühe füüsilise suuruse etteantud piirväärtus, mida on vajaduse korral võimalik muuta. Lihtsamal juhul, kui mõõdetud või jälgitav parameeter on etteantud piirväärtusest väiksem, lülitatakse täiturelement sisse, ja kui parameeter ületab piirväärtust, siis lülitatakse element välja. Lülitigi taga võib olla mistahes täiturelement (küttekoha, valgusti, mootor vms). Tänapäeva kütte-, jahutus- ja ventilatsioonisüsteemid koosnevad sageli tuhandetest anduritest, täiturelementidest ja monitooringuseadmetest, kus iga üksik element võib töötada (otsustada oma tegevuse üle) täiesti primitiivsel tasandil, mida eespool kirjeldati, kuid laias plaanis on kogu tehnilisel kooslusel üksainus eesmärk: tagada hoones ettenähtud sisekliima kõige väiksemate kuludega. Tuleb leida optimaalne kooslus tehnilistest vahenditest, et saavutada soovitud eesmärk mistahes ilmastikutingimustes (keskkonnas). Optimeerida süsteemi konkreetsetes hoones (peenhäälestus) on sageli palju keerukam kui seda projekteerida ja paigaldada. Selleks läheb eksperdil vaja adekvaatset vaatluspõhist infot kogu hoone kohta, millele lisaks on tarvis teavet väliskeskkonna kohta (eeskätt temperatuur, tuul ja päikesekiirgus).

Ideaaljuhul pole omanikul vaja häälestatud süsteemi töösse sekkuda. Matkimisvajadus võib tekkida olukorras, kus kulud on märgatavalt suuremad kui tehniliste tingimustega seatud. Sel juhul tuleb teha järelkontrolli ja -häälestust. Väiksemas eramus on kahtlust äratava energiakulu põhjust tõenäoliselt lihtne välja selgitada, kuid suurtes hoonetes, milles kasutatakse tuhandete andurite ja lokaalsete kontrollseadmetega süsteeme, on otstarbekat töörežiimi leida äärmiselt keeruline. Kui ekspert töötab hoone virtuaalse mudeliga ning võrdleb matke ja monitooringu tulemusi, aitab see tal leida sobivat lahendust palju kiiremini kui siis, kui ta analüüsiks arvukaid lokaalseid eksperimente. Matketulemuste alusel võib teha vajalikud korrektsioonid hoone automaatikasüsteemides, jälgida tehtud muudatuste mõju ning vajaduse korral teha uued korrektsioonid seni, kuni tulemus vastab soovitule aktsepteeritavates piirides.

Hooneautomaatika seadistamise vajadusi silmas pidades töötati EASi projekti (EU29103) „BACnet tester“ käigus välja VMB ja matketarkvara (BNT – BACnet Tester) koos monitooringuks vajaliku riistvaraga (vt joonis 6).

Hoone osa, mille jaoks VMBd kasutati, oli üks tiib Tartu Ülikooli tehnoloogia-instituudi hoonest. Projekti detailsema käsitlemise leiab Rannati jt 2012. aastal ilmunud artiklist²⁹.



Joonis 6. Aruka maja otsustustugi

Toimijateks olid VMB kooslusesse kuuluvad monitooringu- ja täiturseadmed, mida matke operaator (ekspert) positioneeris ja parametrizeeris vastavalt ülesandele. Seega olid eksperdi käsutusse antud kõik reaalses hoones registreeritud parameetrid ning tal oli võimalus neid mõjutada ja muuta. Ekspert sai VMB peal erinevaid matkevariante kasutades läbi proovida, mida oleks kusagil otstarbekas muuta ning kas ja kuhu oleks reaalsesse hoonesse vaja liseseadmeid, vähendamaks väliskeskonna ebasoovitavat mõju.

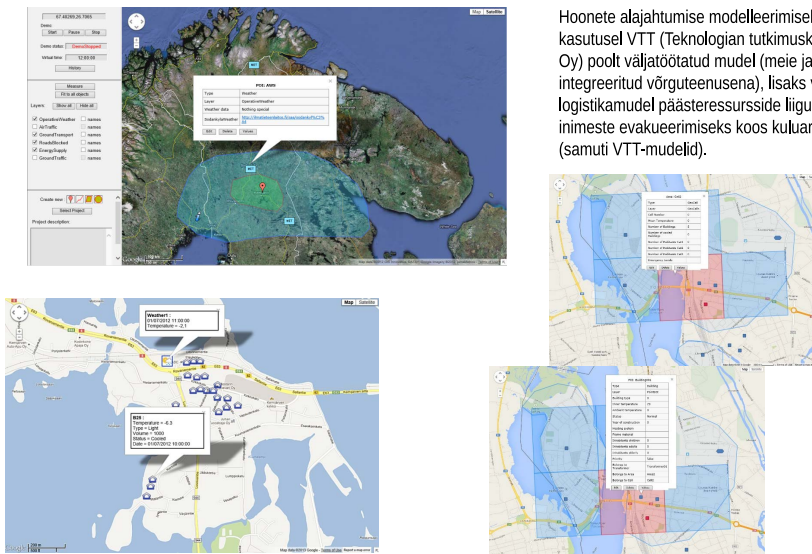
Tavapäraselt (ilma matkemudelite abita) kogutavad statistilised andmed niisugust infot ei sisalda, näiteks on aja ja asukoha metaandmed sel juhul tihti ebatäpsed või puuduvad täiesti, mistõttu ei ole selliste statistiliste andmete põhjal tehtud järeldused usaldusväärsed.

7. II rakendus: regionaalne looduskatastroof

CRISMA projekti üks alamprojekt oli „Arktiline lumetorm“ („Arctic Snow-storm“, vt joonis 7). Selle stsenaariumi järgi seisnes probleem suurõnnetuses, mille tõttu muutusid liiklusolud laiemas piirkonnas raskeks ja tekkisid

²⁹ Rannat et al. 2012.

ulatuslikud elektrikatkestused, sest karmides ilmastikuoludes tarbiti liiga palju elektrit. Elektrikatkestused tingisid omakorda hoonete alajahtumise (automaatsed küttesüsteemid vajavad elektrit) ja jahtumine alla 0 °C tekitas lisakahju, sest veetorustikud said kahjustada. On teada, et ühe alajaama väljalangemine põhjustab elektrikatkestuse selgelt määratud asustuspiirkonnas, milles paiknevad mitmesugused hooned, kus töötavad ja elavad inimesed. Kuna projekti Soome partnerid olid nõus jagama infot hoonete, nende paigutuse ja jahtumisnäitajate kohta, siis oli meie arvates kõige otstarbekam kasutada regioonis reaalse olukorra hindamiseks seireala (kogu vaatluspiirkond oli kaardil jaotatud korrapäraseks riskikülikuteks), arvestamata linnaosade ja rajoonidega. Olukorda kriisipiirkonnas hinnati selle järgi, kui palju oli seal hooned, mis olid alajahtumises langenud kriitilise tasemeni, ja kui palju inimesi, kes vajasid hoonetes abi. Matkemudel võimaldas matkimise abil igas seirealas hoonete kaupa jälgida, milline on hetkeolukord konkreetses hoones. Hädalukorra visuaalseks indikaatoriks oli seireala värvus (indikaator arvestas piirkonnaga seotud elanike arvu ja vanusekategoriaid). Mida punasem ala, seda raskem oli olukord. Sellise lihtsa pildi alusel oli operatsioonijuhil lihtne otsustada, milline piirkond vajab esmajoones abi.



Hoonete alajahtumise modelleerimiseks oli kasutusel VTT (Tehnologia ja uurimiskeskus VTT Oy) poolt väljatöötatud mudel (meie jaoks integreeritud võrguteenusena), lisaks veel VTT logistikamudel päästetressursside liigutamiseks ja inimeste evakueerimiseks koos kuluarvestusega (samuti VTT-mudelid).

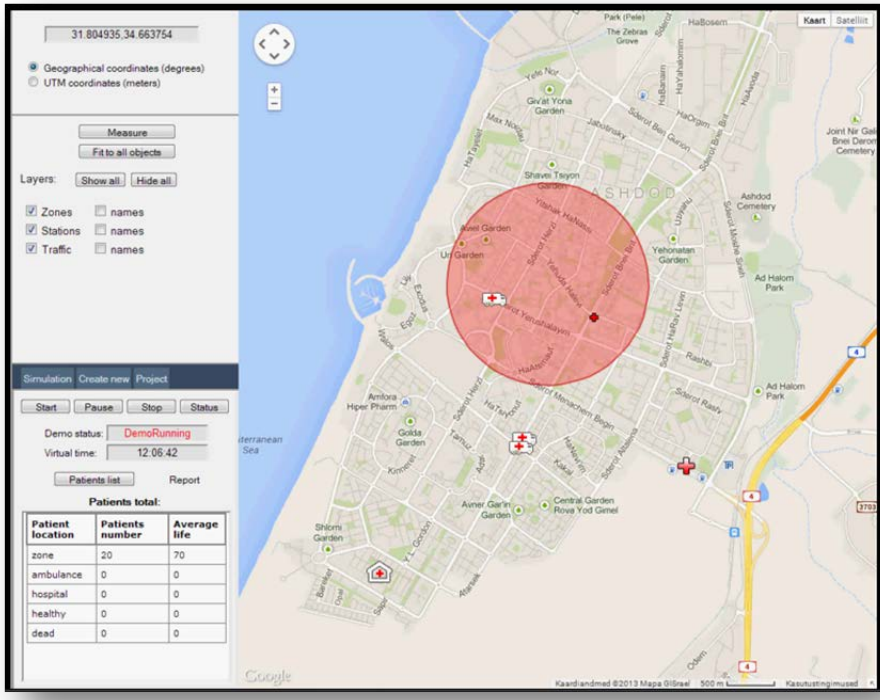
Joonis 7. Majade jahtumine ulatusliku elektrikatkestuse korral Põhja-Soomes

Juhi ülesanne oli piirkonda (seireala või nende sidusat kogumit) ise-loomustava summaarse KSI alusel otsustada, kuhu ja kui palju tuleb saata päästeressurssi, et elanikud evakueeritaks õigel ajal või neile antaks muud abi. Matkemudel arvestas ristsõltuvusega, st lisaks üldistele meteoroloogilistele tingimustele oli võimalik analüüsida lokaalsete elektrikatkestuste täiendavat mõju. Ristsõltuvusega arvestamiseks on vaja adekvaatset infot, mis selle näite puhul tuli elektrivõrkude jaotussüsteemist (oli teada, milline linnaosa või administratiivne jaotus jääb elektrita juhul, kui mõni konkreetne alajaam langeb rivist välja).

Igal elektri-, vee- ja kanalisatsioonivõrgu haldajal on omad töökaardid, millelt saab vajaduse korral välja lugeda, milline piirkond kaotaks näiteks vee, kui mõni kindel pumbajaam lakkab töötamast. Veekatkestus võib omakorda tuleneda elektrikatkestusest, millel on taas omad piirid, mis kindlasti ei kattu veevarustuse omadega. Sarnane (rist)sõltuvuste ahel on iseloomulik igale taristule, ka kriitilisele. Eesmärgipärane matke saab toimuda ainult adekvaatse ja õigeaegse olukorrainfo põhjal (**info kättesaadavuse ja ajastatuse** tingimus). Teatud juhtudel muutub aktuaalseks ka selle **info usaldusväärsus**, mille põhjal juhtimisotsuseid tehakse. Kumbagi neist kahest kriteeriumist ei tohi alahinnata. See, kuidas kõikvõimalikke seireandmeid registreerida ja vahendada, on omaette teema, mida tuleb lahendada tehniliste meetmetega (monitooringusüsteemi töökindluse tagamine ja mõõtmistulemuste statistiline analüüs). Raske koht selliste matkemudelite väljatöötamisel on teadmatusega toimetulek (nt ei saa eeldada, et keegi, kes konkreetses hoones elab, seal ka parajasti viibib ja on hädas, ning taristukaardid võivad olla mingil põhjusel salastatud). Tellija soovil arendati rakendus esmase lahenduse (ingl *proof-of-concept*) tasandile.

8. III rakendus: mürgise gaasi ulatuslik leke Iisraeli sadamalinnas

Tegemist on CRISMA projekti ühe tüüpstsenaariumiga, mille järgi käsitleti linnakeskkonna suurõnnetusena ulatuslikku tööstusliku mürkgaasi leket Iisraeli sadamalinnas. Päästeteenistuste ülesanne oli tagada kannatanutele kiire esmaabi ja transport ohutus kauguses asuvasse haiglatesse (vt joonis 8).



Joonis 8. Iisraelis sadamast linna poole liikuv sümboolne mürgine pilv

Matkeülesannet koordineeris Iisraeli päästamet (MDA Israel) ning see oli mõeldud päästjatele interaktiivseks õppevahendiks. Matkimisel kasutatud toimijad, objektid ning käitumismustrid oli kindlaks määranud MDA Israel. Matkerakendus järgis ülalpool 4. peatükis kirjeldatud CRISMA põhimõtteid. Matke operaator sai ise valida, lokaliseerida ja parametrizeerida päästeoperatsioonis kasutatavaid ressursse (kooskõlas MDA Israeli eeskirjade ja nõuetega).

Matke operaatorid (päästejuht ja tema treener) osalesid nn tõsises mängus, milles sai virtuaalsetele päästeressurssidele anda vahetuid korraldusi ja jälgida korralduse andmise tagajärgi, st matkida päästejuhi tööd ja jälgida matke abil, mismoodi moodustub järgmine olek ses maailmas.³⁰ Terminil *tõsine mäng* on juba kümnekond aastat kindel koht ja tähendus just kaitse- ja päästeoperatsioonide väljaõppes, mida pakutakse matkemudelite toel (vt nt Virtual Battlespace'i rakendused).

³⁰ Havlik *et al.* 2015.

Loodud matkerakendust saab kriisijuhtide väljaõppes kasutada kahel viisil.

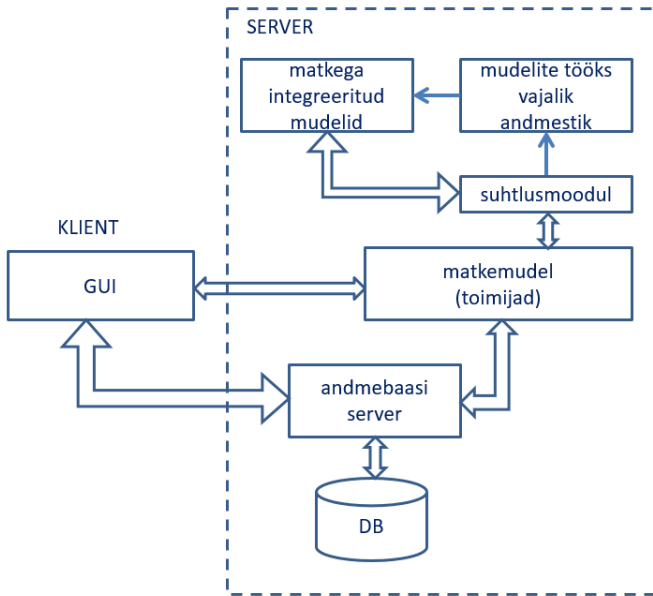
1. Täiesti omaette *tõsise mänguna*, mis on tõsine selles mõttes, et mängus osalevaid inimressursse iseloomustasid elulisuse KSId (ingl *LifeKPI* ehk parameeter, mida MDA Israel soovitas kasutada, et vältida inimese muutuvat tervislikku seisundit skaalal nullist sajani, kusjuures 100% tähendas täiesti tervet ja teovõimelist inimest ning 0% surnut). Kui abivajajale ei antud õigel ajal abi, siis kustutati virtuaalne patsient elavate nimistust. Koolitatavad said vahetult ja riskivabalt jälgida, millise reaktiooni ja tagajärje toob kaasa üks või teine käsk ja ressursivalik.
2. Konkreetsees päästeoperatsioonis otsuste tegemisel päästeoperatsiooni juhi abivahendina, millega saab läbi mängida erinevaid ressurside kasutuse stsenaariume ja leida neist sobivaim. Abivahend(id) valitakse vastavalt olukorrale ja ajaressursile.

2. variant oleks kasulik ka mere- ja teiste päästevaldkondade kontekstis, näiteks merevalvekeskuses rakendatava matkekeskkonnana lisaks olemasolevale olukorrapildile. Selleks tuleks koostada ja spetsifitseerida merepääste kontekstile vastavad matkemudelid toimijad ning kirjeldada ja realiseerida nende käitumismustreid. Tehnilises plaanis ei muutuks midagi, kuigi üleminek keemiasaaste matkelt merepäästele (ehk ühest rakendusvaldkonnast teise) ei ole matkekeskkonnas sugugi lihtne ülesanne.

9. Olukorrateadliku käitumise matkimine – ProLabi matkeplatvorm

Võtame arutelu kokku meie matkeplatvormi *state-of-the-art* ehk tänapäevase tehnilise teostuse kirjeldusega. Matkeplatvormil on klassikaline kliendi ja serveri arhitektuur (vt joonis 9). Serveri osa (joonisel tähistatud punktiirjoonega) on programmeeritud Pythonis ja graafiline kasutajaliides (ingl *graphic user interface*, GUI) JavaScriptis. Rakenduse keskne komponent on andmebaasi server, mis teenindab nii matkes osalevaid toimijaid kui ka klienti. Andmebaasiks (joonisel lühend DB) on valitud MongoDB, mis on ennast õigustanud varasemate sarnaste tööde põhjal (nt H2020 GAIA-CLIM projektis EUMETSATi koordineeritud virtuaalse observatooriumi³¹ andmebaas äärmiselt mahuka, pidevalt uueneva ja heterogeense andmestikuga).

³¹ Vt GAIA-CLIM Virtual Observatory, <http://www.gaia-clim.eu/page/virtual-observatory>.



Joonis 9. ProLabi matkeplatvormi arhitektuur

GUI kasutab kaardirakendusi OpenStreetMap ja OpenSeaMap (välistatud ei ole ka muud kaardirakendused). GUI abil koostatakse matkemall (vt joonis 10), mis läheb täitmiseks serverile.

```
{
  "Simulation": {
    "name": "Test",
    "description": "Esimene test",
    # simulatsiooniparameetrid ja nende väärtused
    "parameeter_1": väärtus_1,
    "parameeter_2": väärtus_2,
    ...
    # simulatsiooni stardiaeg (sekundid alates aastast 01-01-1970)
    "start_time": 1572170400,
    # simulatsiooni kestus
    "duration": 60,
    # simulatsiooni ajasamm
    "step": 1,
    # "maailma" olekud
    "world_states": []
  },
  # "maailma" olekud
  "WorldStates": [{
    "simulation_id": {
      "oid": "00000000000000000000000000000000"
    },
    "number": 1,
    "time": 1572170400,
    # simulatsiooni kaasatud (elutud) huviobjektid
    "oois": [],
    # simulatsiooni kaasatud inimesed (simulatsiooniobjektidena)
    "persons": []
  }],
}
```



```
"Persons": [{
  "simulation_id": {
    "$oid": "00000000000000000000000000000000"
  },
  "world_state_id": {
    "$oid": "00000000000000000000000000000000"
  },
  "name": "Captain",
  "ooi_type": "Person",
  # omistatud parameetrid ja nende väärtused
  "parameeter_1": väärtus_1,
  "parameeter_2": väärtus_2,
  ...
  # seostatud objektiga
  "associated_to": "OOI nimi",
  "associated_to_id": {
    "$oid": "00000000000000000000000000000000"
  },
  # asukoht
  "coordinates": {
    "laty": decimal_degrees,
    "lonx": decimal_degrees
  }
  # käsud
  "command": {
    "käsu tüüp": "Tee midagi",
    "käsu kirjeldus": "",
    # käsu teostamiseks vajalikud lisaparameetrid ja nende väärtused
    "käsu_parameeter_1": väärtus_1,
    "käsu_parameeter_2": väärtus_2,
    ...
  }
},
...
}],

"OOIs": [{
  "simulation_id": {
    "$oid": "00000000000000000000000000000000"
  },
  "world_state_id": {
    "$oid": "00000000000000000000000000000000"
  },
  "name": "objekti nimi",
  "ooi_type": "tüübi_nimi",
  # OOI'le omistatud parameetrid ja väärtused
  "parameeter_1": väärtus_1,
  "parameeter_2": väärtus_2,
  ...
  # asukoht
  "coordinates": {
    "laty": decimal_degrees,
    "lonx": decimal_degrees
  }
  # käsud
  "command": {
    "käsu tüüp": "Tee midagi",
    "käsu kirjeldus": "",
    # käsu teostamiseks vajalikud lisaparameetrid ja nende väärtused
    "käsu_parameeter_1": väärtus_1,
    "käsu_parameeter_2": väärtus_2,
    ...
  }
},
...
}]
}
```

Joonis 10. Matkemalli üldkuju

Matketulemused on kasutajaliideses visualiseeritavad operatsioonikaartide, tabelite ja graafidena. Matkeolekute jadad (nn maailma olekud) salvestatakse andmebaasi, kust tegevusi saab hiljem vaadata ja omavahel võrrelda. Kirjeldatud näidetes ei toimu matkimine reaajas. Kasutajal on võimalus läbimängitud stsenaarium samm-sammult läbi käia ja jälgida kõikide huvipakkuvate objektide parameetrite muutusi. Matkemudeli funktsionaalsust on alati võimalik täpsustada ning omadusi vastavalt vajadusele ja ressursidele lisada. Kui matkejuhil on tarvis ühel ajahetkel teha stsenaariumisse muudatusi (otsida paremat lahendust, lisada ressursse, muuta navigatsiooniteid jne), siis võetakse sellel ajahetkel olnud toimijate algseis uue matke lähteparameetriteks ning käivitatakse järgmine matke.

Matkimist toetatakse KSId visualiseerimisega, mis annab matkejuhile ülevaate ressursside seisust kogu operatsiooni vältel ning toetab erinevate matkevariantide järelanalüüsi. KSIsid valitakse ja koostatakse kasutusvaldkonna, tellija täpsustuste ja arvutusmetoodika järgi. Mitme matke tulemust saab (KSId alusel) võrrelda ning matkejuht saab valida teadaolevatest lahendustest välja parima (KSId mõttes).

Eitatud matkemallid üksi ei võimalda koostada matkeid mistahes kasutusvaldkonna jaoks. Kuigi mallide struktuur jääb samaks, tuleb igale kasutusvaldkonnale välja töötada sobivad huviobjektide komplektid (toimijad ja objektid koos vajalike omadustega) ning toimijate käitumismustrid. Kui küsida selle põhjust, leiab lihtsa vastuse lau- ja teiste mängude maailmast. Kuigi vigurid võivad olla üsna sarnased, määravad mängu olemuse siiski konkreetse mängu reeglid.

Matkestsenaariumide välist koostamist ja valmis kujul sisselugemist ProLabi matkeplatvorm praeguses arendusjärgus ei toeta. Oma kogemustele tuginedes oleme seisukohal, et stsenaarium sünnib kasutusvaldkonda tundva matkejuhi mõttemaailmas ja realiseeritakse vahetult matke koostamisel, kui valitakse välja huviobjektide parameetritele sobivad väärtused ning määratakse kindlaks ajalised viited teatud osategevuste alguseks (või lõpuks). Matket toetavaid ja teenindavaid lisamudeleid juhitakse üle kasutajaliidese, serveri poolel üle suhtlusmooduli (vt joonis 10). Lisamudelite olemasolu ja valik sõltub otseselt matke rakendusvaldkonna omapäradest ja vajadustest. Lisamudelid võivad töötada kas samas rakendusserveris (kui ressurssi on piisavalt) või teenusena, mis vahendab arvutusmahukate numbriliste keskkonnamudelite matke tulemusi.

10. Lõpetuseks

Matkimisel on loomulik otsustaja sisuline interaktsioon matkerakendusega koos matketulemuste analüüsi ja paigutamisega otsustaja kogemuse konteksti. Pikaajalisele kogemusele tuginedes peame rõhutama, et interaktsioon matkerakendusega ja matketulemuste tõlgendamine on otsustustoe seisukohalt vähemasti sama tähtsad kui matkimine ise. Enne otsustamist, kui alternatiive veel analüüsitakse, on oluline arvestada piiranguid, mis tulevad rakendatud matkemudelitest ja olukorra kohta käiva teabe kvaliteedist. Matkerakenduse loogika põhjal saadud matketulemusi ei ole arukas näha tegelikkuse parima peegeldusena, sest valitud matkemudel tugineb ju mudeli koostamise ajal teada olnud infole ning on tahes-tahtmata tegelikkuse osaline ja lihtsustatud mudel.³² Alternatiivsete otsuste analüüsis ja olukorra hindamisel kasutatavaid markereid (indikaatoreid ja kriteeriume) tuleks määrata ja rakendada võimalike otsustajate süstemaatilises koostöös.

Kahtlemata aitab matke kaasa alternatiivsete valikute analüüsile ja hindamisele, kuna see kujutab endast olukorrateadliku otsustustoe olulist osa. Samas tuleb sellele läheneda läbimõeldult. Matkerakenduses tekkiv virtuaalmaailm võib küll tunduda otsustajale realistlik, kuid rakendatud matkemudelid esitavad vaid väikese osa reaalse maailma keerukusest ja annavad valesti kasutamise või väärtõlgenduse korral eksitavaid tulemusi. Sama tähelepanek kehtib ka virtuaalmaailma olekute, indikaatorite ja kriteeriumide kohta.³³

Olukorrateadliku otsustamise käigus tuleb lahendamist vajavaid probleeme lihtsustada, kuid see on samal ajal ka ohtlik, sest halvimal juhul kaotame mudelites näiliselt teaduslikult põhjendatud lihtsustamise käigus märkamatu ära ka lahendamist vajava probleemi enda. Tõsi, ka realsel matkel, näiteks jäigalt ette määratud õppusel kui matkevahendil, võib olla samasugune märkamatu kõrvalmõju. Teisalt on juba aset leidnud kriiside kogemusest õppida keeruline³⁴ isegi siis, kui kriisid korduvad (alates erinevate kriisiolukordade sarnasuse hindamisest).

³² Eisenberg *et al.* 2019.

³³ Erlich, M.; Cabal, A.; Coulet, C.; Daou, M-P; Grisel, M.; de Groof, A.; Havlik, D.; Aubrecht, C.; Steinnocher, K.; Schlobinski, S.; Zuccaro, G. 2015. CRISMA Framework as an experimental tool for simulation of coastal submersion impacts and preparedness for crisis management. – E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. The Hague, The Netherlands. 28 June – 3 July.

³⁴ Donahue, A. K.; Tuohy, R. V. 2006. Lessons We Don't Learn: A Study of the Lessons of Disasters, Why We Repeat Them, and How We Can Learn Them. – Homeland Security Affairs, Vol. 2, No. 2.

Sellises kontekstis tõdeme lõpetuseks, et olukorratoadlike otsuste virtuaalmaailmas saame sündmuste ja otsuste mõju paremini uurida ja analüüsima õppida kui mistahes muul viisil. Selles mõttes on laiapindse riigikaitse ja kriisiohje virtuaalse maailma interaktiivsed matkemudelid potentsiaalselt otstarbekad vahendid, millega luua operatsioonidele olukorratoadlikku otsustustuge.

Kirjandus

- Church, G.** 2019. The maths problem that could bring the world to a halt. – BBC.com. Future Now. Mathematics.
<https://www.bbc.com/future/article/20190606-the-maths-problem-that-modern-life-depends-on> (01.12.2020).
- Dagestad, K-F.; Röhrs, J.; Breivik, Ø.; Ådlandsvik, B.** 2018. OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling. – Geoscientific Model Development, Vol. 11, pp. 1405–1420.
<https://gmd.copernicus.org/articles/11/1405/2018/gmd-11-1405-2018.pdf> (01.12.2020).
- Dihé, P.; Scholl, M.; Schlobinski, S.; Hell, T.; Frysinger, S.; Kutschera, P.; Warum, M.; Havlik, D.; DeGroof, A.; Vandeloise, Y.; Deri, O.; Rannat, K.; Yliaho, J.; Kosonen, A.; Sommer, M.; Engelbach, W.** 2014. CRISMA ICMS Architecture Document V2. EU Project: CRISMA Modelling Crisis Management for Improved Action and Preparedness.
https://www.researchgate.net/publication/266614771_CRISMA_ICMS_Architecture_Document_V2 (01.12.2020).
- Donahue, A. K.; Tuohy, R. V.** 2006. Lessons We Don't Learn: A Study of the Lessons of Disasters, Why We Repeat Them, and How We Can Learn Them. – Homeland Security Affairs, Vol. 2, No. 2.
<https://www.hsaj.org/articles/167> (01.12.2020).
- Eisenberg, D.; Seager, T.; Alderson, D. L.** 2019. Rethinking Resilience Analytics. – Risk Analysis, Vol. 39, No. 9, pp. 1870–1884.
- Erlich, M.; Cabal, A.; Coulet, C.; Daou, M-P.; Grisel, M.; de Groof, A.; Havlik, D.; Aubrecht, C.; Steinnocher, K.; Schlobinski, S.; Zuccaro, G.** 2015. CRISMA Framework as an experimental tool for simulation of coastal submersion impacts and preparedness for crisis management. – E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. The Hague, The Netherlands. 28 June – 3 July.
- Guidelines for Nowcasting Techniques** 2017. World Meteorological Organization, WMO-No. 1198.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3795 (01.12.2020).
- Havlik, D.; Deri, O.; Rannat, K.; Warum, M.; Rafalowski, C.; Taveter, K.; Kutschera, P.; Meriste, M.** 2015. Training Support for Crisis Managers with Elements of Serious Gaming. – Denzer, R.; Argent, R. M.; Schimak, G.; Hřebíček, J. (eds.). Environmental Software Systems. Infrastructures, Services and Applications. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 448. Springer International Publishing, pp. 217–225.

- Hervouet, J-M.** 2000. A High Resolution 2-D Dam-Break Model Using Parallelization. – *Hydrological Processes*, Vol. 14, Issue 13, pp. 2211–2230.
- Hervouet, J-M.; Bates, P.** (eds.) 2000. The TELEMAC Modelling System: An Overview. – *Hydrological Processes*, Vol. 14, Issue 13, pp. 2209–2210.
- IAMSAR** 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume I: Organization and Management. Montréal: IMO/ICAO.
- IAMSAR** 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume II: Mission Co-ordination. Montréal: IMO/ICAO.
- IAMSAR** 2010. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume III: Mobile Facilities. Montréal: IMO/ICAO.
- Jennings, N. R.; Moreau, L.; Nicholson, D.; Ramchurn, S.; Roberts, S.; Rodden, T.; Rogers, A.** 2014. Human-Agent Collectives. – *Communications of the ACM*, Vol. 57, No. 12, pp. 80–88.
- Karp, R. M.** 1972. Reducibility among Combinatorial Problems. – Miller, R. E.; Thatcher, J. W. (eds.). *Complexity of Computer Computations*. New York: Plenum.
- Macal, C. M.** 2016. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. – *Journal of Simulation*, Vol. 10, Issue 2, pp. 144–156.
- Phillips-Wren, G. E.** 2008. Intelligent Agents in Decision Support Systems. – Adam, F.; Humphreys, P. (eds.). *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*, Chapter 58. Hershey, NY: Information Science Reference, pp. 505–513.
- Power, D. J.** 2011. Challenges of Real-Time Decision Support. – Burstein, F.; Brézillon, P.; Zaslavsky, A. (eds.). *Supporting Real Time Decision-Making. The Role of Context in Decision Support on the Move*. Springer, pp. 3–11.
- Rannat, K.; Meriste, M.; Helekivi, J.; Kelder, T.** 2012. Models of Indoor Environments – a Generic Interactive Model for Design and Simulation of Building Automation. – Bhatt, M.; Guesgen, H. (eds.). *Situational Awareness for Assistive Technologies. Series: Ambient Intelligence and Smart Environments*, Vol. 14. IOS Press, pp. 165–186.
- Riley, K.; Thompson, M.; Webley, P.; Hyde, K. D.** 2017. Uncertainty in Natural Hazards, Modeling and Decision Support. – Riley, K.; Webley, P.; Thompson, M. (eds.). *Natural Hazard Uncertainty Assessment: Modeling and Decision Support*. American Geophysical Union. *Geophysical Monograph* 223, pp. 1–8.
- Rosqvist, T.; Havlik, D.; Meriste, M.** 2017. A Reference Decision Model of First Responders' Decision-making. – *International Journal of Emergency Management*, Vol. 13, No. 3, pp. 193–209.
- Stanton, N.; Salmon, M.; Walker, G.; Salas, E.; Hancock, P. A.** 2017. State-of-Science: Situation Awareness in Individuals, Teams and Systems. – *Ergonomics*, Vol. 60, Issue 4, pp. 449–466.
- Wooldridge, M.** 2002. *An Introduction to Multiagent Systems*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, LTD.

MERIK MERISTE, PhD

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži dotsent

KALEV RANNAT, PhD

Tallinna Tehnikaülikooli tarkvarateaduse instituudi vanemteadur

LEO MÕTUS, PhD

Tallinna Tehnikaülikooli reaalajasüsteemide professor, Eesti Teaduste Akadeemia akadeemik

MARE TEICHMANN, PhD

AS-i PE Konsult juhataja, Tallinna Tehnikaülikooli emeriitprofessor

TÕNIS KELDER, MSc

Tallinna Tehnikaülikooli tarkvarateaduse instituudi insener

JÜRI HELEKIVI, MSc

Tallinna Tehnikaülikooli tarkvarateaduse instituudi insener