

TARTU ÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Ken-Tristan Peterson

SIM-i TEHNOLOOGIA ARENGUPERSPEKTIIVID IoT VALDKONNAS

Magistritöö

Juhendaja: kaasprofessor Eneli Kindsiko, PhD

Tartu 2022

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....

(töö autori allkiri)

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. SIM-i tehnoloogia arengud IoT-sektoris.....	6
1.1. IoT olemus ja areng	6
1.2. SIM-i tehnoloogiad IoT valdkonnas	9
1.3. SIM-i tehnoloogiate arengut soodustavad ja piiravad tegurid IoT valdkonnas 16	
2. SIM-i tehnoloogiate arengut kujundavate tegurite analüüs	24
2.1. Valimi, uurimisprotsessi ning analüüsi kirjeldus.....	24
2.2. Intervjuude tulemused.....	28
Kokkuvõte.....	42
Viidatud allikad.....	44
Lisad.....	49
LISA A. Mõisted ja definitsioonid.....	49
Summary	51

Sissejuhatus

Asjade internet ehk interneti kaudu seotud asjade võrk (ingl *internet of things* (IoT)) on kiires kasvus. Praegusel ajal on maailmas mobiilsidevõrku ühendatud ligi 2,8 miljardi IoT-seadme ning aastaks 2025 on ennustatud, et see number on ligi 5 miljardit (Ericsson, 2019). Kiiret kasvu võimaldavad uued mobiilsidevõrgud (5G, LTE-M, NB-IoT), SIM-i tehnoloogiate areng ning riistvara odavnemine.

1989. aastal avaldas Saksamaa ettevõtte Giesecke+Devrient esimese SIM-kaardi kontseptsiooni, millest hiljem sai globaalne standard, selle iteratsioonid ilma suuremate muudatusteta on kasutusel mobiilsidevõrkudes ja IoT-seademetes tänapäevani. Esimene suurem muudatus selles tehnoloogias tuli välja 2014. aastal, kui operaatoreid koondav katuseorganisatsioon GSMA kuulutas välja M2M eSIM-i tehnoloogia spetsifikatsiooni. M2M ehk masinalt masinale (ingl *machine-to-machine*) eSIM-i tehnoloogia on spetsiaalselt asjade interneti jaoks väljatöötatud lahendus, kuid on alles nüüd hakanud vaikselt rohkem kasutust leidma.

Klassikalise SIM-i tehnoloogia kasutamine on tekitanud seadme käitlejates probleeme võrguühenduse haldamisega. GSMA tellitud uuring toob välja järgnevad kitsaskohad klassikalise SIM-i tehnoloogia puhul. Esiteks, eemaldatav SIM-kaart on loodud selleks, et sisestada see seadmesse esmases kasutuskohas. See tekitab logistilisi probleeme, eriti kui tooteid on suures koguses. Teiseks, kui seade on kokkupandud, muutub SIM-kaardi vahetus väga keeruliseks, mõnel juhul isegi võimatuks. Enamasti tuleb seadme juurde füüsiliselt kohale minna. Kolmandaks, kergelt kättesaadavate SIM-kaartide puhul on suur varguse risk. Neljandaks, SIM-kaardi pesa tekitab lisakulutusi. Seadmetootja peab soetama SIM-kaardi pesa, kuhu kaart sisestada, luues tootele disaini komponendi, millel on soetusmaksumus. Joodetaval eSIM-kaardil puudub SIM-kaardi pesa vajadus. Viiendaks, klassikalise SIM-kaardi füüsiline suurus on takistuseks seadme disainis, kus saaks väärtuslikku ruumi kasutada mõne muu komponendi hoiustamiseks. Ning viimaks, SIM-kaardi pesaga võib tekkida probleeme, kui seda kasutatakse paigas, kus kõiguvad temperatuurid, on niiske või palju vibratsioone. See on eriti oluline pika elutsükliga seadmetes, nagu mootorsõidukites. (Beecham Research, 2014)

Selgitades välja SIM-i tehnoloogiate soodustavad ja piiravad tegurid IoT-sektoris, on töö eesmärk analüüsida uute SIM-i tehnoloogiate arenguperspektiive. Eesmärgi täitmiseks on autor seadnud järgmised uurimisülesanded:

- anda ülevaade IoT olemusest ning tuua esile IoT-seadmete ühenduvuse võimalused;
- uurida kirjanduse abil välja IoT-sektoris praegu ja tulevikus kasutatavad potentsiaalsed SIM-i tehnoloogiad;
- teha kindlaks SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu soodustavad ning piiravad tegurid;
- koostada ning viia läbi teorial tuginedes poolstruktureeritud intervjuud ekspertidega, nende abil selgitada välja vajalikud omadused SIM-i tehnoloogiatele tulevikus;
- uurimuse käigus kujunenud teguritest lähtuvalt määrata kindlaks SIM-i tehnoloogiate arenguperspektiivid.

Uurimisülesannete täitmiseks analüüsib autor erialast teaduskirjandust, SIM-i tehnilisi spetsifikatsioone ning viib seotud pooltega läbi poolstruktureeritud intervjuud.

Magistritöö koosneb kahest osast: teoreetilisest ja empiirilisest. Teoreetilises osas tutvustab autor SIM-i tehnoloogia olemust, annab ülevaate tehnilistest spetsifikatsioonidest ning toob välja SIM-i, eSIM-i, iSIM-i, nuSIM-i ja Soft SIM-i tehnoloogiate peamised erinevused. Teoreetiline osa tugineb STEPE-raamistikule ning vaatab sotsiaalset, tehnoloogilist, majanduslikku, poliitilist ning keskkondlikku aspekti.

Empiirilises osas viiakse läbi poolstruktureeritud intervjuud SIM-i tehnoloogia ekspertide, mobiilsideoperaatorite, mobiilside valdkonna spetsialistide ning IoT-sektori riist- ja tarkvaraarenduse ettevõtetega. Intervjuud viiakse läbi ettevõttes vastava pädevusega inimestega ehk nendega, kes on seotud seadmete kommunikatsiooni poolega. Lisaks intervjuueeritakse ettevõtte juhte või tootejuhte, kellelt on võimalik uurida tehnoloogiliste valikute majanduslikke, sotsiaalseid, poliitilisi, tehnilisi ning keskkondlikke tagamaid. Valimisse koondatakse operaatorid, SIM-kaardi tootjad, SIM-i infrastruktuuri arendajad, valdkonna idufirmad, võtmeorganisatsioonide eksperdid ning IoT-seadmete arendajad. Töö lõpus tuuakse välja SIM-i tehnoloogiate soodustavad ja piiravad tegurid ning arenguperspektiivid.

Märksõnad: SIM-i tehnoloogiad, asjade internet, eSIM, iSIM, nuSIM, Soft SIM

Teaduseriala kood CERSCS: S190, T180

1. SIM-i tehnoloogia arengud IoT-sektoris

1.1. IoT olemus ja areng

Asjade internet on visioon maailmast, milles on miljardeid objekte sisseehitatud intelligentsuse, ühenduvusvõimaluste, sensorite ning võimekusega kasutada Interneti protokollid. Targad objektid ja süsteemid, või lihtsamalt öeldes asjad, on IoT komponendid. Igapäevasesed, nendega liidetud mikrokontrollerid, optilised või raadiotransiiverid, sensorid, kommunikatsiooni protokollid ja piiratud riistvara ressursid võimaldavad koguda ümbruskonna kohta infot ja sellele reageerida, andes liidese füüsilisse maailma. (Cirani et al., 2018)

IoT visioon seisneb selles, et kõik asjad teevad koostööd ning neid saab juhtida Interneti kaudu asukohast sõltumata. Seeläbi tõstetakse seadme kasutegurit, aidates kaasa kasutatavusele ja avades uusi rakendusvõimalusi. Veel tuuakse välja, et täieliku asjade interneti potentsiaali kasutamiseks on vaja rohkem teadusuuringuid. (Guerrieri et al., 2020)

Elukvaliteedi parandamine IoT-seadmete kaudu on olnud üks esimesi valdkondi, kus asjade internet kanda kinnitab. Seda tõestab eelkõige tervisega seotud seadmete (nt nutikellad ja nutikaalud) ühendamine Interneti. Lisaks trendikatele asjadele, loob IoT ärimudelite revolutsiooni, mis põhineb informatsioonil ja teenustel. Vanade ärimudelite jaoks on see suur katsumus – mudelitevahelised erinevused hakkavad hägustuma. Läbimurdelisi muutusi nähakse IoT kogutud andmete vahetamise süsteemides, kiirenenud teenusepakkumises ning mudelis, kus ettevõtete vahelisse suhtlusesse kaasatakse tarbija (ingl *business-to-business-to-consumer*) (Oliver Wyman, 2015).

Selleks et mõista asjade interneti tähtsust tänapäeva maailmas, tuleb vaadata suhtarve. GSMA Intelligence on ennustanud, et aastaks 2025 on maailmas kokku ligikaudu 25 miljardit IoT-seadet (GSMA Intelligence, viidatud GSM Association, 2019 kaudu). Ericsson on vaadanud täpsemalt mobiilsidevõrkudesse ühendatud IoT-seadmete hulka ning avaldanud enda raportis, et praeguse ligi 2,8 miljardi seadme asemel on aastaks 2025 juba 5 miljardit seadet (Ericsson, 2019). On näha näitajate suurt kasvu: mobiilsidevõrkudesse ühendatud seadmete suhtarv oli 2014. aasta lõpus 230 miljonit (Ericsson, 2015), nüüdseks on see viimase 7–8 aasta jooksul kasvanud enam kui 1100%.

Asjade interneti on hakatud kategoriseerima, kuna teatud sektorites rakendatav IoT-tehnoloogia, käsitlused ja põhimõtted ei pruugi olla sobivad iga lõpptulemuse saavutamiseks. Jaotusi on erinevaid, kuid kõige tavapärasemaks on kujunenud jaotus tarbijate asjade interneti (ingl *consumer internet of things (CIoT)*) ja tööstusliku asjade interneti (ingl *industrial internet*

of things (IIoT)) vahel. CIoT jaguneb veel ettevõtete asjade internetiks (ingl *enterprise internet of things* (EIoT)), viidates seadmetele, mis ei ole otseselt inimesekesksed, aga suhestuvad inimestega, näiteks targad linnad. Mõisted on kajastatud tabelis 1 ning detailsem mõistete ja definitsioonide loetelu on leitav lisas A.

Tabel 1

Asjade interneti terminid

Ingliskeelne termin	Ingliskeelne lühend	Eestikeelne termin
<i>Internet of things</i>	IoT	Asjade internet
<i>Consumer internet of things</i>	CIoT	Tarbijate asjade internet
<i>Industrial internet of things</i>	IIoT	Tööstuslik asjade internet
<i>Enterprise internet of things</i>	EIoT	Ettevõtete asjade internet

Allikas: autori koostatud

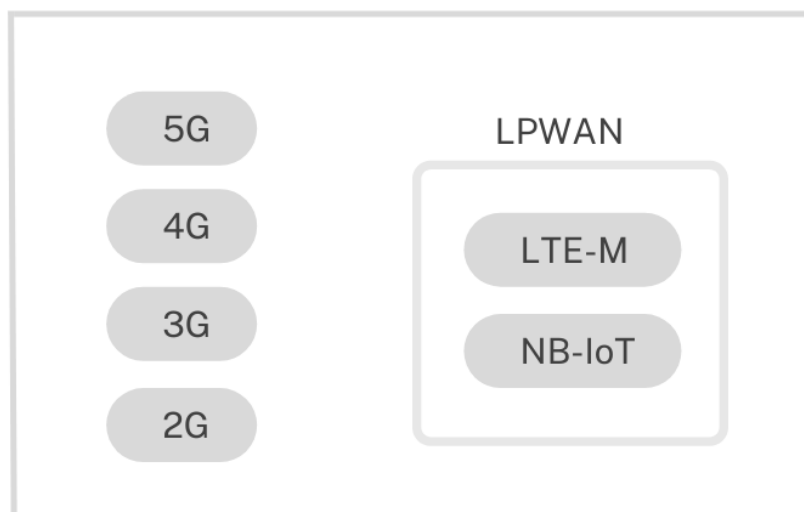
CIoT ja IIoT on tihedalt seotud kontseptsioonid, kuid neid ei saa vaheldumisi kasutada. CIoT on inimesekeskne: seadmed on Internetti ühendatud ja suhtlevad üksteisega eesmärgiga parandada inimeste taju ümbritsevast, säästmaks aega ja kulusid. See põhineb masina ja kasutaja suhtlusel. Teisel pool on tööstussektor, mille alustalaks on ühendada masinad ja kontrollsüsteemid masinatevahelise suhtlusega. Esmajoones on mõlema üldised ühenduse nõudmised samad, vajades odavat, piiratud ressursidega seadmetele sobivat ühendust. Kuid mõlema sektori eripärad tulevad välja meetmetest, nagu teenuse kvaliteedist (nt latentsusaeg ja käitlemismahd), saadavusest, töökindlusest, turvalisusest ning privaatsusest. IIoT juurutab fikseeritud ning infrastruktuurile kohandatud kommunikatsiooni lahendusi, mis täidavad eelpool nimetatud nõudmisi, näiteks on tähtsamate rakenduste töökindluse näitaja 99,99% juures. Samas CIoT puhul ei saa mobiilse infrastruktuuriga sellist piirmäära saavutada. (Sisinni et al., 2018)

Sedasama täiendab 5G Americas, juhtivatest telekommunikatsiooniteenuste pakkujatest ja tootjatest koosnev organisatsioon, kes on kirjeldanud, et CIoT ja IIoT erinevused ei tulene niivõrd sellest, kes ja kus seadmeid kasutab, vaid tehnoloogia rakendamise nõuetest. Teisisõnu ei eristata seadmeid kategooriasse selle järgi, kas neid kasutatakse kodus, kontoris või tehases. Näiteks võib nii CIoT- kui ka IIoT-seade mõõta südamelööke, kuid IIoT-seadmel

on lisaks tehnoloogilised nõudmised, mida teisel seadmel ei ole. Nendeks parameetriteks võivad olla turvalisus, skaleeritavus, töökindlus, latentsusaeg jm. (5G Americas, 2019).

Töö raames käsitleb autor CIoT-sektorit, jättes kõrvale IIoT, kuna enamasti ei ole IIoT mobiilsidevõrkudest sõltuv ning seda kasutatakse ainult tagavara süsteemina. Kui vaadata CIoT-seadmeid siis nende ühenduvuses on valikus lühimaavõrgud või pikamaavõrgud. Lühimaavõrgud on Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee jm, pikamaavõrkudeks loetakse mobiilsidevõrke (2G, 3G, 4G, 5G võrgud), litsentseeritud madala võimsusega pikamaalaivõrke (ingl *low power wide area network* (LPWAN)), tehnoloogiaid (NB-LoT, LTE-M), litsentseerimata LPWAN-i tehnoloogiaid (SigFox, LoRa) jm. IoT-seadmete põhinõudmisteks on enamasti väike andmemaht, madal energiakulu ning riistvara hind. Lühimaatehnoloogiad Bluetooth ja ZigBee vastavad andmemahu, energiakulu ja riistvara hinna kriteeriumitele, kuid need ei ole kohandatavad pikamaalahendustele. Pikamaalahendustes on kõige kättesaadavamad klassikalised mobiilsidevõrgud, kuid need tarbivad liialt seadme energiat, seetõttu on nende kõrvale tekkimas uued LPWAN mobiilsidevõrgu tehnoloogiad. (Mekki et al., 2019). Nendeks on NarrowBand-IoT (NB-IoT) ja Long Term Evolution for Machines (LTE-M)

Joonis 1 kajastab töö raames käsitletud litsentseeritud LPWAN-i tehnoloogiaid, mis põhinevad mobiilsidevõrkudel, litsentseerimata tehnoloogiaid SigFox ja LoRa detailsemalt ei käsitleta.



Joonis 1. Litsentseeritud mobiilsidevõrgud (autori koostatud)

Kuna 2G, 3G, 4G, 5G ning NB-IoT ja LTE-M-i võrgutehnoloogiad põhinevad sidevõrkudel, siis on võrguühenduse saavutamisel kohustuslikeks komponentideks:

- mobiilsidemoodul,
- SIM-kaart,
- mobiilsidevõrk ja
- teenusepakkuja (mobiilsideoperaator, virtuaalne mobiilsideoperaator).

Mobiilsidemoodul on riistvara komponent, mis võimaldab konkreetsetel raadiosagedustel ühenduda mobiilsidevõrkudega, ühendatakse mõne tugijaama külge, et andmeid edastada. Mobiilsidemoduleid on erinevate funktsioonidega ning vastavalt valitud moodulile võimaldab see kas ühe või mitme võrgutehnoloogia kasutamist. SIM-kaart ja mobiilsidemoodul on seadme sees ühenduses ning moodul edastab SIM-i informatsiooni mobiilsidevõrkudele. Mobiilsidevõrgud on operaatorite ehk teenusepakkujate ülesseatud sidevõrgud, mis koosnevad tugijaamadest.

Kõiki komponente on hiljuti arendatud või seda planeeritud, need arendused võimaldavad asjade interneti seadmeid teenindada edukamalt kui enne. Tekkimas on järjest väiksemaid, odavamaid ja energiasäästlikumaid mobiilsidemoduleid, SIM-kaartide tehnoloogiad on sobitumas IoT-seadmete teenindamiseks, IoT mobiilsidevõrke (nt LTE-M ja NB-IoT) avatakse ülemaailmselt, operaatorid ja virtuaaloperaatorid on spetsialiseerumas just IoT valdkonnas. Teaduslikult on palju uuritud mobiilsidemoduleid ja mobiilsidevõrke ning operaatorite vaatepunkte, kuid kõrvale on jäänud SIM-kaartide olulisus ja mõju kogu mobiilse IoT süsteemi arengule. Põhjuseks võib pidada, et varem olid teised komponendid IoT valdkonna arengus olulisemad, kuid nüüdseks on SIM-i tehnoloogiad hakanud liialt üldist valdkonna arengut pidurdama. Seetõttu on töö autor otsustanud uurida täpsemalt SIM-i tehnoloogiaid asjade interneti valdkonnas.

1.2. SIM-i tehnoloogiad IoT valdkonnas

SIM-kaart (ingl *subscriber identity module card*) on identifitseerimiseks loodud süsteem, mis tuvastab tellija mobiilsidevõrku ühendumisel. SIM-kaardil on talletatud operaatori krüptograafilised võtmed, IMSI- ja ICCID-number ning muud parameetrid, mida kasutatakse võrgu registreerimiseks või andmevahetuseks. Mobiilsidevõrgud aktsepteerivad tellija ühendumise võrku SIM-kaardi parameetrite alusel, selleks talletatakse õigused võrgu tasandil. (European Telecommunications Standards Institute, 1999)

Krüptograafilised võtmed, mis on väljaspool operaatori enda haldusvõimekust, on operaatori üks olulisemaid varasid. Nende lekkimine on potentsiaalne turvarisk operaatori klientidele ning äriiline risk kogu ettevõttele. Seetõttu eksisteerivad SIM-kiibid, mille üheks peamiseks funktsiooniks on säilitada võtmeid turvaliselt kiibi keskkonnas, võtmed on alati SIM-kaardil ning kogu identifitseerimine toimub kiibi siseselt. SIM-kaart, selle kindlad turvalisuse standardid ning komponendid annavad operaatoritele kaudse võimaluse hoiduda enda vara väärkasutamisest.

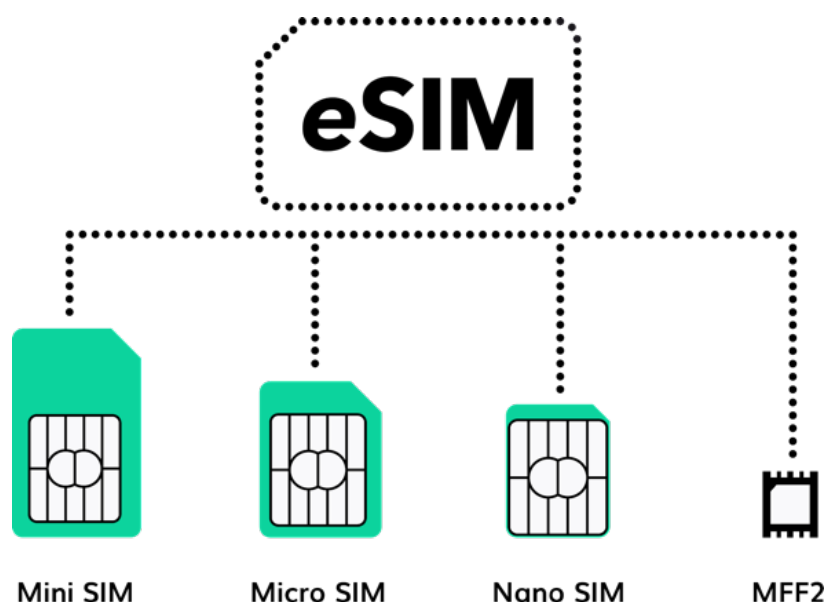
Turvalisuse vaatenurgast, ei ole oluline millises vormis ja kui palju plasti SIM-kaardi ümber on, näiteks kui ID-kaardi kiibi ümber oleval plastil on kindel eesmärk, talletada vajalikku informatsiooni kirjalikul kujul, siis see ülesanne SIM-kaardil puudub. SIM-kaardid on väga hinnatundlikud, nende hea hinnastatus saavutatakse masstoodangu põhimõttel, kasutades keerukaid tehnoloogiaid. Suured muudatused SIM-kaardi vormis võivad tööstuslikud seadmed teha kasutuks, tõsta SIM-kaardi hinda ning muuta füüsilise SIM-kaardi logistika ahelaid. Kui eelnevalt nimetatud muudatuste barjäärid ületatakse, on mõttekas SIM-kaart seadme sisse integreerida. (Mayes et al., 2005)

eSIM-i (ingl *embedded SIM*) tehnoloogia on suurim muudatus pärast 1989. aasta esimese SIM-i kontseptsiooni avaldamist, muutes kaardi fundamentaalset toimimist operatsioonisüsteemi tasandil. eSIM võimaldab virtuaalseid operaatori profiile hallata üle õhu füüsilist SIM-kaarti puutumata, muutes võimalikuks SIM-kaartide seadmesse integreerimise. eSIM-kaardi peamiseks ülesandeks jääb nii nagu eelkäijalgi profiili hoiustamine ja selle kasutamine mobiilsidevõrkudes, kuid erinev on, kuidas tulemus saavutatakse. eSIM-i tehnoloogiale on väljatöötatud kaks spetsifikatsiooni: tavatarbijate eSIM ja M2M eSIM. Erinevus seisneb nii infrastruktuuris, mida läheb vaja SIM-ide haldamiseks, kui ka ärimudeli põhimõtetes.

Joonis 2 kajastab võimalikud eSIM-kaardi formaadid. Tehniliselt ei ole SIM-kaardi formaadis (nt Mini-SIM, Micro-SIM, Nano-SIM) kaartidel erinevusi, kõik need rakendavad sama kiipi, ainult plasti suurus kiibi ümber on vähenenud. Selline muutus on tulenenud seadmete väiksemaks muutumisest ning vajadusest väärtuslikku pindala kasutada muudeks otstarveteks seadme sees. Nano-SIM-formaadist enam väiksemat eemaldatavat SIM-kaarti teha ei ole võimalik ning seadmed, mis on eriti piiratud ruumikasutusega, peavad hakkama rakendama vähemalt MFF2-formaadis joodetavat kiipi.

On levinud väärarusaam, et eSIM tähendab füüsilise SIM-kaardi täielikku puudumist. eSIM-kaarti on võimalik toota erinevates formaatides nii plastkaardi (Mini-SIM 2FF, Micro-SIM 3FF, Nano-SIM 4FF) kui ka joodetava SIM-kaardi kiibi (MFF2) põhjal. Erinevus seisneb

operatsioonisüsteemis, mida rakendatakse. Samas tulevad paljud eSIM-i põhiomadused ning eelised esile just MFF2-formaadis, kus füüsiline SIM-i komponent on MFF2-formaadis siiski olemas, kuid see on seadme sisse ehitatud, otse trükkplaadile kinnitatud, ja seega kasutajal ei ole võimalik seda eemaldada.



Joonis 2. eSIM formaadid (IoT)

Tavatarbijate eSIM-i puhul on eSIM-i haldusõigus antud füüsiliselt SIM-i omanikust isikule. Kõik käsud ning otsustused operaatori vahetuseks tehakse seadme juurest. Seda saab teha kasutades GSMA standardiseeritud rakendust nimega Local Profile Assistant, mis võimaldab endale saada uue profiili, kasutades selleks operaatori jagatud QR-koodi või mõnda teist rakendust. Tavatarbijate eSIM-i mudel on kui „tõmba“ lahendus (ingl *pull mode*), jättes iga käsu üle otsustamisõiguse seadme käitlejale. (GSM Association, 2018)

M2M eSIM-i puhul viimane lahendus aga ei sobi, kuna IoT-seadmed on mõeldud toimima autonoomselt, seetõttu ei ole võimalik „tõmba“ lahendusega eSIM-ile uut profiili laadida. Selleks on välja töötatud „lükka“ lahendus (ingl *push mode*), kus eSIM-i käsk on võimalik edastada kesksest rakendusest, mis käitub kui eSIM-kaartide omanik. Seetõttu on eSIM-i käskude otsustamisõigus serveri haldajal. (GSM Association, 2018)

M2M eSIM-i haldamiseks ja operaatori profiili kaardile laadimiseks on välja töötatud hulk funktsioone, millest selle töö raames on oluline ära märkida järgnevad:

- profiili laadimine (ingl *profile download*),
- aktiveerimine (ingl *profile enable*),

- desaktiveerimine (ingl *profile disable*) ja
- kustutamine (ingl *profile delete*).

Nende abil saavutatakse eSIM-kaardil uue operaatori profiili üle õhu laadimine ja haldamine (GSM Association, 2020).

M2M eSIM-i tehnoloogia kasutuselevõtule on tugevalt hoogu andnud transpordi kontseptsioon mikromobiilsus. Tihtipeale on mikromobiilsusega tegelevad ettevõtted osa jagamismajandusest ning nende liiklusvahendid on renditavad, mis nõuab laiaulatuslikku võrguühendust. Mikromobiilsuses on kõige levinumad elektritõukerattad ja jalgrattad, kuid kasutust võivad leida ka muud kergliiklusvahendid. Selle kümnendi jooksul on oodata mikromobiilsuse protsentuaalselt kahekohalist kasvu: perioodil 2019–2027 ligi 16% aastase liitkasvumääruga (3 miljardilt 12 miljardi peale) (Ericsson, 2021). Aastal 2019 tehti Ameerika Ühendriikides kergliiklusvahenditega 136 miljonit sõitu, mis on 60% rohkem kui sellele eelnenud aastal (NACTO, 2020). Peamised kasvupotentsiaali mõjutavad tegurid on alati kättesaadav mobiilsidevõrk ning vajaminevate sensorite ja tehnoloogiate kättesaadavus (Ericsson, 2021). Rootsi päritolu Voi Technologies AB, üks maailma juhtivaid mikromobiilsuse ettevõtteid, kasutab alati kättesaadava mobiilsidevõrgu tagamiseks eSIM-i tehnoloogiat ja IoT valdkonnas spetsialiseerunud virtuaalset mobiilsideoperaatorit Arkessa (Ericsson, 2021). eSIM-i tehnoloogia on kasutuses tulevikukindluse tagamiseks, võimaldades ettevõttel reageerida muutuvatele võrgutehnoloogiatele või hinnastustele kiirelt ja mugavalt füüsiliselt SIM-kaarti muutmata.

iSIM (ingl *integrated SIM*) ehk integreeritud SIM on variatsioon eSIM-i tehnoloogiast, mis proovib lahendada ja edasi arendada eSIM-i kitsaskohti, nagu füüsilise mooduli ruumikasutus, suur logistiline väljakutse, energiatarve jm. Joonis 3. toob esile iSIM-i füüsilise suuruse võrreldes teiste SIM formaatidega. Kui eSIM-i tehnoloogia puhul on füüsiline SIM-kiibi komponent seadmes, siis iSIM-i puhul see vajadus puudub, SIM-i funktsioon liigutatakse seadmes juba olemasolevasse riistvarasse, näiteks mobiilsidemoodulisse. Selleks eraldatakse turvaliselt protsessid ülejäänud seadme tööst, samas säilitatakse eSIM-iga sarnased kaugelt haldamise funktsioonid, võimaldades operaatori profiile üle õhu hallata. iSIM jälgib samu funktsioone mis eSIM: profiili laadimine, aktiveerimine, desaktiveerimine ja kustutamine.



Joonis 3. *iSIM-i füüsiline suurus (IoT.com)*

iSIM-i tehnoloogia põhiline eelis on märkimisväärne ruumi või seadme trükkplaadi pindala vähendamine. Kui SIM-i plastkaardi suurus võib olla mõnekümnest millimeetrist kuni kahe ruutmillimeetrit, siis iSIM-i ruumala on ainult osa ruutmillimeetrist. Täpne suurus sõltub seadme ülesehitusest, kuhu iSIM integreeritakse. Teiseks eeliseks on iSIM-i väiksem energiatarve võrreldes eSIM-i või SIM-iga. iSIM-il ei ole eraldiseisvat protsessorit, seega on üks energiat tarvitav komponent vähem. Kolmandaks võimaldab iSIM vähendada seadme tootmiskulu. Kui kõik komponendid valmistatakse samal ajal ja sama seadme või mobiilsideprotsessoriga, siis õnnestub tootmisliinil ära jätta SIM-i mooduli integreerimisetapp. Neljandaks võimaldab iSIM tänu vähendatud komponentide kogusele pikemat seadme tööiga. Viimaks elimineerib iSIM eraldiseisva SIM-i komponendiga seotud hankimisprobleemid, enam ei pea seadme tootja arvestama eraldiseisva SIM-i komponendi tellimise, logistika ja selle tootmisega. Mobile World Live viis 2021. aastal läbi küsitluse, uurides millised iSIM-i omadused kõige enam pooltele väärtust pakkusid. Sellest selgus, et viie punkti skaalal sai vähendatud energiatarve ja märkimisväärne ruumi vähendamine 3,2 punkti, olles tulemusega kaks kõige olulisemat iSIM-i eelist tarbijate seas (Mobile World Live, 2021).

iSIM-i rakendused on küll suuresti sarnased eSIM-i omadega, kuid integreeritud SIM-i energiatarve, füüsiline suurus ja turvalisus võivad hõlbustada rakenduste kasutuselevõttu või olla koguni mõne uue seadme kategooria tekkimise aluseks. iSIM-i rakendamist nähakse näiteks logistikas, kus kombineeritult iSIM-i ja LPWAN-i tehnoloogia võimaldab ehitada jälgimisseadeid, mille akukestvus on varasematest hulga parem. (Trusted Connectivity Alliance ltd., 2021)

nuSIM-i tehnoloogia eestvedajaks on mobiilsideoperaator Deutsche Telekom, kes töötab välja SIM-i lahenduse fookusega IoT LPWAN-i võrkudele (nt NB-IoT ja LTE-M). nuSIM on seadmesse samamoodi integreeritav nagu iSIM, eraldiseisvat SIM-i moodulit enam ei ole, kõik SIM-i funktsioonid on integreeritud seadme riistvarasse. See võimaldab säästa nii ruumi, energiatarvet kui ka lihtsustada toote disaini. nuSIM erineb eSIM-i ja iSIM-i tehnoloogiast aga selle poolest, et üle õhu ei ole võimalik operaatoreid hallata. See võimaldab tuua nuSIM-i ja selle tootmisega kaasneva infrastruktuuri maksumuse võimalikult madalale. Lisaks kaughalduse infrastruktuuri puudumisele on nuSIM-i puhul kõik lisavõimekused SIM-kiibilt endalt eemaldatud, näiteks ei saa SMS-e saata ega helistada (Deutsche Telekom IoT GmbH, n.d.). nuSIM sobib tänu madalale infrastruktuuri investeeringule ning iSIM-i üldistele omadustele ideaalselt lühikese tööeaga või madala maksumusega seadmetele. Tüüpilisteks nuSIM-seadmeteks on ühekordsed jälgimisseadmed, nutikad sensorid, tark parkimine jm (Deutsche Telekom IoT GmbH, n.d.).

Soft SIM-il ehk tarkvaral põhineval SIM-i tehnoloogial on erinevaid tõlgendamisvõimalusi, kuna sel tehnoloogial ei ole ühtset standardit. Seetõttu on ettevõtted Soft SIM-i lahendust rakendanud vastavalt endi vajadustele, mille tagajärjel on tekkinud mitmeid tehnilisi lahendusi ning kontseptsioone. GSMA Intelligence (2015) toob definitsioonina välja, et Soft SIM on tarkvaraliste rakenduste ja andmete kogum, millel on SIM-kaardi funktsioonid, kuid mida ei talletata ühelgi eraldiseisval turvalisel andmekandjal. Selle asemel talletatakse ja kasutatakse andmeid IoT-seadme mälu ning protsessori abil (GSMA Intelligence, 2015). See tähendab et eraldiseisev SIM-kiip eemaldatakse täielikult, mis võimaldab säästa füüsilist ruumi, langetada IoT-seadme hinda ning vähendada energiatarbimist. Sõltuvalt tarkvara iseloomust, saab Soft SIM-i lahendust rakendada nii ühe profiili kui ka kaugelt hallatava mitme profiili põhimõttel sarnaselt eSIM-ile. Põhiline murekoht on turvalisus, IoT-seadmete disain ei võimalda kriitiliste andmete turvalisust tagada ning IoT-seadmete kerge kättesaadavus pahavarale seab ohtu turvalisust vajavad operaatori profiili komponendid. Turvalisuse küsimuste lahendamiseks on pakutud ideid, et usaldusväärne rakenduse keskkond (ingl *trusted execution environment*) aitab standardiseeritud lahendusena luua turvaline koht seadme mälus, mis võimaldab talletada SIM-i funktsioone osaliselt või täielikult (GlobalPlatform, 2015). Kui sellise koha loomine on tehniliselt võimalik, siis võidakse turvalisuse probleemid lahendada ja Soft SIM suuremat kasutust leida, ent siiani ei ole see õnnestunud. GSMA Intelligence'i läbiviidud küsitluses selgus, et 60% operaatoritest ei pea Soft SIM-i lahenduse kasutuselevõtmist turvalisuse

kitsaskohtade pärast tõenäoliseks, teiste hulgas oli sama näitaja 47% (Iacopino & Rogers, 2017).

Tabel 2 toob kokkuvõtlikult esile IoT-seadmetes olulised parameetrid erinevate SIM-i tehnoloogiate puhul. Parameeter füüsiline moodul kajastab, kas mõnel tehnoloogial on eraldiseisev füüsiline komponent vajalik. Näiteks SIM-i ja eSIM-i puhul on füüsiline komponent SIM-kaart kas plastist või joodetava MFF2-kiibi kujul. Samas iSIM-i, nuSIM-i ja Soft SIM-i puhul eraldiseisvat komponenti ei ole. Standardiseeritus kajastab, kas tehnoloogial on kokkulepitud normid selle kasutamiseks. Selleks võivad olla näiteks GSMA või mõne muu sektori organisatsiooni spetsifikatsioonid. Mitme profiili võimekus näitab, kas SIM-i tehnoloogia võimaldab talletada rohkemat kui ühte operaatori profiili. Üle õhu profiilide laadimine ehk kaughaldus näitab, kas operaatori profiile saab hilisemas staadiumis üle õhu juba kasutuses olevale SIM-i moodulile saata. Turvalisuse juures hinnatakse tehnoloogia krüptograafia ja turvaelemendi kasutust. Füüsiline suurus kajastab SIM-i komponendi ruumala kasutust seadmes. Viimane parameeter maksumus toob välja SIM-i tehnoloogia hinda arvestades nii SIM-i komponendi kui ka funktsioonide tagamiseks vajalikud halduskulud.

Tabel 2

SIM-i tehnoloogiate võrdlus

	SIM	eSIM	iSIM	nuSIM	Soft SIM
Füüsiline moodul	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei
Standardiseeritud	Jah	Jah	Jah	Ei	Ei
Mitme profiili võimekus	Ei	Jah	Jah	Jah	Sõltub kasutusest
Üle õhu profiilide laadimine	Ei	Jah	Jah	Ei	Sõltub kasutusest
Turvalisus	Väga tugev	Väga tugev	Tugev	Tugev	Nõrk
Energiatarve	Kõrge	Kõrge	Madal	Madal	Väga madal
Füüsiline suurus	Suur	Suur	Väga väike	Väga väike	Ei eksisteeri eraldiseisvalt
Maksumus	Kõrge	Väga kõrge	Kõrge	Madal	Väga madal

Allikas: autori koostatud

Peatükis käsitleti detailselt SIM-i tehnoloogiaid, toodi välja nende funktsioonid ja võimekus, lähtudes IoT-seadmetele olulistest parameetritest. Järgenas peatükis analüüsib autor väljatoodud SIM-i tehnoloogiaid soodustavaid ja piiravaid tegureid.

1.3. SIM-i tehnoloogiate arengut soodustavad ja piiravad tegurid IoT valdkonnas

Selles alapeatükis, hindamaks IoT valdkonnas leiduvaid SIM-i tehnoloogiate tegureid ja trende, võttis autor kasutusele STEPE-raamistik, mis on PEST-raamistiku variatsioon, kuid lisab keskkonna aspekti. STEPE-raamistik koosneb sotsiaalsest, tehnoloogilisest, majanduslikust, poliitilisest ning keskkondlikust aspektist. Raamistik on lõputöö teema uurimiseks sobilik tänu mitmetasandilisele ülevaatele, mis võimaldab hinnata keskkonnast tulenevaid mõjutegureid.

Sotsiaalne aspekt kajastab SIM-i tehnoloogiate trendides inimeste valdkonnateadlikkust. Tavaline SIM-kaart, juba aastakümneid vana tehnoloogia, on kõigile tavatarbijatele ja IoT-ettevõtetele tuntud. Samas puudub arusaam, mida SIM-kaart ja selle tehnoloogia endast täpsemalt kujutab. Kuna SIM-kaardi eesmärki ning tähtsust ei mõisteta, ei ole head alustala, et ühiskond võtaks uusi SIM-i tehnoloogiaid kiirelt kasutusele. Seda tõestab tavatarbijatele suunatud eSIM-i tehnoloogia kohta tehtud uuring. Seitsmeteistkümnes riigis tehtud küsitlusest leiti, et teadlikkus eSIM-i tehnoloogiast on keskmisel ainult 20%, Click or tap here to enter text.samal ajal on 5G tehnoloogia teadlikkus lausa 85% (Iacopino & Popov, 2021). Seega ühiskonna huvi mobiilsidet võimaldavate tehnoloogiate vastu on küll olemas, kuid ei ole jõudnud uute SIM-i tehnoloogiateni. Autori arvamusel võib eeldada, et tehnoloogiate (nt iSIM, nuSIM, Soft SIM) puhul on teadlikkus veelgi madalam, kuna eSIM on uutest SIM-i tehnoloogiatest kõige kauem kasutusel olnud. Eraldi usaldusväärseid teadlikkuse uuringuid iSIM-i, nuSIM-i ja Soft SIM-i kohta praegu veel tehtud ei ole. Vähene teadlikkus tavatarbijate seas peegeldub ka IoT-seadmetele ning sellele mõeldud SIM-i tehnoloogiatele. IoT-seadme arendajad ei ole alati ise tehnoloogia viimaste arenduste rakendajad ning kuna tarbijate nõudlus IoT-seadmetele puudub, ei ole arendajad ka sunnitud uusi lahendusi avastama.

On näha tarbijate segadust uute SIM-i lahenduste toimimises. Arusaamatusi tekitavad ühiskonna arvamused, näiteks et SIM-kaardi uuendus eSIM-ina on täielikult virtuaalne või et MFF2-formaat tähendab alati eSIM-i. See on tingitud vähesest ühiskonna teadvustamisest. SIM-i tehnoloogiate kohta käiv informatsioon on väga spetsiifiline ning tehniline, seega mängib suurt rolli ühiskonnale sõnumi edastamine. Siin on tähtsal kohal operaatorid, kellel on ühiskonnaga selles teemas kõige otsesem suhtluskanal.

Operaatorite tähtsust uue tehnoloogia tutvustamisel on ka varem tõdetud, kui Aafrikas viidi läbi uuring Interneti kasutamise oskuste kohta. Selles toodi esile, et operaatorid saavad uue tehnoloogia puhul teadmiste ja oskuste jagamisele kaasa aidata. Üheks põhjenduseks oli, et operaatoritel on ulatuslikud turunduskanalid ja regulaarne otsene kontakt müügiagentide

kaudu. Teiseks asjakohaseks põhjenduseks loeti, et ühiskond usaldab operaatoreid ja näeb neid kui digitehnoloogia eksperte. (Smith, 2017)

Eelnevalt nimetatud võimalused uute SIM-i tehnoloogiate teadvustamiseks soodustavad tehnoloogiate kasutuselevõttu. Kuid kuna operaatorite suhtlus sellel teemal on siiani olnud pigem tagasihoidlik, siis idufirmad (nt IoT, Emnify, Twilio) on võtnud enda ülesandeks seda lünka täita., nii saavutavad nad konkurentsieelise, kuid harivad ka seeläbi ühiskonda SIM-i tehnoloogiate teemal. Näiteks oli IoT üks esimesi ettevõtteid, kes hakkas eSIM-i toetavate asjade interneti mobiilsidemoodulite kohta informatsiooni jagama, varem ei jagatud sellist teavet avalikult. Seeläbi aitab IoT kaasa uute SIM-i tehnoloogiate teadvustamisele ning lihtsustab ühiskonnas nende kasutuselevõtmist.

Tehnoloogiline aspekt on asjade interneti valdkonnas väga suure tähtsusega, sest mõjutab SIM-i valdkonna arengu kiirust ja suunda. Üks oluline osa on vajadus tehnoloogia järele, mis võimaldab luua turvalisi IoT-seadmeid. Asjade interneti olulised turvaelemendid on konfidentsiaalsus, terviklikkus, kättesaadavus, identifitseerimine ja autoriseerimine, privaatsus ning usaldus (Lin et al., 2017). Need põhimõtted rakenduvad erinevatele IoT-seadmete osadele, kaasa arvatud mobiilsidevõrkudele ja SIM-kaartidele. Need põhimõtted kerkivad eriti üles kaugelt hallatavate tehnoloogiate puhul. Seal on SIM-kaardi andmete ning operaatori võtmete lekkimise võimalus suur ning tagajärjed on operaatoritele katastroofilised (Chitroub et al., 2019).

Kaugelt hallatav tehnoloogia on SIM-kaardi järgmine samm ning IoT ja M2M-i valdkonnas kohustuslik, kuna tootjad liiguvad IoT-seadmetes SIM-i lahenduste seadme sisse paigaldamise suunas. Kui tootja kasutab eemaldamatut ja ilma kaughalduseta SIM-i, kaob vajalik võime asendada SIM-kaart operaatori vahetuseks või uuendusteks. See võib tulla seadme tööea jooksul sõltuvalt rakendusvaldkonnast korduvalt esile. SIM-i ja seadme omadusi ning kestvust tuleks arvesse võtta, et leida parim lahendus, mis tagaks seadme pika tööea (Koshy & Rao, 2018). Kaugelt hallatavad SIM-i lahendused vajavad keerulist tehnoloogilist taustinfrastruktuuri, mis oleks võimeline mobiilsideoperaatorite profiile talletama ning turvaliselt kaartideni edastama. eSIM-i puhul on selleks kaks eraldiseisvat rakendust: Subscription Manager – Secure Routing (SM-SR) ja Subscription Manager – Data Preparation (SM-DP) (GSM Association, 2017). SM-SR vastutab operaatorite profiilide krüpteerimise, andmete üle õhu eSIM-ile edastamise eest ning on võimeline haldama eSIM-i funktsioone. SM-DP vastutab operaatorite profiilide turvalise hoiustamise eest.

Sama taustinfrastruktuuri kasutab ka iSIM-i lahendus. Kuid iSIM-i tehnoloogia puhul on vaja lisaks kaughalduse infrastruktuurile ka koostööd SIM-i tootjate ja mobiilsidemooduli

tootja vahel, sest luuakse lisa integratsioone riistvarasse ja tarkvarasse. See koostöövajadus piirab ühelt poolt iSIM-i välearendust, kuna nõuab mitme poole kaasamist igasse protsessi. Teiselt poolt on aga iSIM-i lahendus veelgi rohkem integreeritud kui eSIM ning seeläbi väheneb seadme hind ja energiatarve (Underdahl, 2019).

nuSIM, mis põhineb iSIM-i tehnoloogial, vajab samuti riistvara ja tarkvara infrastruktuuri SIM-i tootjate ja mobiilsidemoodulite vahel, kuid soodustab tehnoloogilist aspekti tänu SM-DP ja SM-SR puudumisele, kuid seega ei vasta nuSIM GSMA standardile. Samuti ei ole nuSIM-i puhul keerulisi sertifitseerimisprotsesse, mis soodustab enamgi tehnoloogia kasutuselevõttu.

Soft SIM-i lahendused on tehnoloogia poolest kõige umbmäärasemad, kuna tarkvaral põhineva lahenduse kasutamise võimalusi on väga erinevaid, seda just standardi puudumise tõttu. Küll aga on tehnoloogilisest aspektis vaadates Soft SIM-i lahenduse käivitamine kindlasti lihtsam, odavam ja kiirem kui sellise lahenduse, mis nõuab ka riistvara komponenti. Seda kinnitavad autorid Kasper, Kuntze ja Schmidt (2008), kes toovad enda pakutud Soft SIM-i lahenduses välja, et tarkvaral põhineva SIM-i eelisteks on kuluefektiivsus, skaleeritavus ja paindlikkus. Teisalt märgivad autorid, et turvalisus ja usaldusväarsus peavad olema vähemalt samal tasemel tavalise SIM-kaardi lahendusega (Kasper et al., 2008).

On ennustatud, et aastaks 2025 on **majanduslik** potentsiaal, mis on loodud IoT-rakendustest, 3,9 triljonit kuni 11,1 triljonit USA dollarit aastas (Manyika et al., 2015). Suur osa sellest ennustusest on seotud EIoT- ning CIoT-rakendustega, mis vajavad mobiilsidevõrkudel põhinevat ühendust. Kuid praegu kõige populaarsem SIM-kaardi tehnoloogia on teisalt ka mobiilse IoT potentsiaali piirajaks. Probleemid algavad seadme tootmisprotsessis, kus tuleb hallata mitmeid tootmisliine, mis paigaldavad operaatorite SIM-kaarte vastavalt seadme sihtriikidele. Mõnedel juhtudel ei ole tootmisprotsessis SIM-i paigaldamine üleüldse võimalik ning sellisel juhul tuleb SIM paigaldada hilisemas etapis, kui seade jõuab sihtriiki. Näiteks on klassikalise SIM-kaardi kasutamise hind autotööstuses 10 korda kõrgem kui eSIM-i tehnoloogia. See on tingitud sellest, et SIM-kaardi pesa on autos raskesti ligipääsetavas kohas ja tootmise ajal tuleb sinna ühenduvuse katseteks SIM-kaart sisestada. Olukorras, kus auto tarnitakse lõppkasutajale, peab auto edasimüüja uue SIM-kaardi sõltuvalt sihtriigist veel kord paigaldama ja veel kord katsetama. Seda kõike arvestades on klassikalise SIM-i hind 210 USA dollarit, kuid eSIM-i hind on samas olukorras ainult 21 USA dollarit (Beecham Research, 2014). Kui seadmed on juba kasutusele võetud, siis saab nende SIM-i komponenti uuendada vaid füüsiliselt SIM-kaarti vahetades, need on aga raskelt ligipääsetavad ja see ei ole majanduslikult efektiivne (Bender & Lehmann, 2012).

Autotööstus on üks asjade interneti valdkonna haru, mis lõikab eSIM-i tehnoloogiast edukalt kasu. Suurbritannia ettevõtte Kigen, üks eSIM-i tehnoloogia juhtiv pakkuja, on välja toonud, et aastal 2020 oli sõiduteedel 395,91 miljonit mobiilsidevõrguga ühendatud autot. Järgneva 5 aasta jooksul on oodata selles stabiilset tõusu: 2022. aastal 524,63 miljonit, 2023. aastal 592,34 miljonit, 2024. aastal 660,71 miljonit ning 2025. aastal 729,47 miljonit mobiilsidevõrguga ühendatud autot (ABI Research, viidatud Kigen, 2020 kaudu). Sama kinnitab ka 2016. aastal tehtud Analysis Masoni raport, mis ennustab, et aastaks 2025 on ülemaailmselt kokku enam kui 700 miljonit võrguühendusega autot ja uutest sõiduautodest 2025. aastal on 94% ühendatud mobiilsidevõrkudesse. (Mackenzie & Rebbeck, 2016).

eSIM-i ja iSIM-i tehnoloogiad võimaldavad vahetada SIM-kaardil olevat operaatorit üle õhu vaid mõne kásu saatmisega. See annab võimaluse SIM-kaarte füüsiliselt seadmesse joota, kuid säilitada plastist SIM-kaardi võimalus operaatori vahetuseks. Kaugelt hallatava SIM-i tehnoloogiaga ei pea operaatori vahetuseks enam füüsiliselt seadme juurde minema, et SIM-kaart asendada. Tänapäeval on targas linnas kümneid või sadu tuhandeid seadmeid SIM-kaardiga ühendatud: tänavavalgustus, veemõõtjad, õhukvaliteedi andurid. Suuremahulise operaatori vahetuseks on tavalise SIM-i tehnoloogiaga nii finantsilised kui ka ajalised kulutused tihtipeale ebaproportsionaalsed.

Kui majanduslikust vaatest leiavad eSIM ning iSIM IoT-ettevõtete seas tänu kulude vähendamisele ning uute ärimudelite võimaldamisele suurt poolehoidu, siis operaatorite vaatenurgast tekitavad kaugelt hallatavad SIM-i tehnoloogiad majanduslikku kahju. Needsamad IoT-ettevõtteid piiravad faktorid, nagu kulukas SIM-kaardi väljavahetamine ja tootmisprotsessi keerukus, on kasulikud just mobiilsideoperaatoritele, kuna nende läbi on kliendil raske operaatori juurest lahkuda. Kui siiani oli SIM-kaart mõne kindla operaatori oma, siis nüüd muutub SIM-kaardi omanikuks tarbija või seadme tootja. See tähendab, et operaatoritele tekib lihtsustatud teenusepakkuja vahetuse tõttu järsult suurenenud konkurents. Konkurentideks ei ole ainult enam teised operaatorid, vaid ka kiiremad virtuaalsed operaatorid ning seadmete tootjad, kes on nüüd esmakordselt SIM-kaardi omanikud (Acker et al., 2016).

Poliitilised seisukohad operaatorite ja mobiilsidevõrkude valdkonnas ning riiklikud reglemendid on leidnud laialdast kajastust. Üldiselt reguleerivad mobiilsideteenuseid ülemaailmsed organisatsioonid ning iga riigi kohalikud ametkonnad. Näiteks on Eestis Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti (TTJA) ülesandeks tagada piisav raadiosageduste ja telefoninumbrate ressurs, et saaks vajalikke sideteenuseid osutada. Samuti valvab amet riikliku sidevaldkonna järele. Hiljuti viis TTJA läbi IoT-sektorile väga vajaliku 5G sagedusloa

konkursi, millele eelnes aastatepikkune arutelude ning vaidluste jada avalikkuse, riigi valitsuse ja isegi kohtuga (Sommer, 2022).

Nii nagu reglementeeritakse mobiilside ressursse, on riik lähtuvalt julgeolekuohtudest hinnanud ka mobiilside jaoks vajalikku riistvara. Näiteks võttis Riigikogu vastu sideseaduse („Elektroonilise Side Seaduse“, 2022), mis keelab mobiilsideoperaatoritel kasutada välismaiste ettevõtete riistvara, sest see ei vasta uuele seadusele. Seetõttu loobuti riikliku julgeoleku põhjustel ka Hiina ettevõtte Huawei riistvarast (Nael, 2021). Sarnaseid poliitilisi seisukohti on võtnud vastu riigid üle maailma: Ameerika Ühendriigid, Rootsi, Inglismaa, Prantsusmaa, Kanada jpt. Tegemist on uue aja tehnoloogia või standardite sõjaga – sõjaga küberturvalisuse ja rahvusvaheliste suhete üle (Kim et al., 2020). Huawei 5G-seadmete boikoteerimine ning USA ja Hiina vaheline majandussõda on võib olla ka võitlus riikidevahelise tehnoloogia domineerimise üle (Chen et al., 2020).

Mobiilside jaoks vajalikke SIM-i tehnoloogiaid mõjutavad poliitilised seisukohad, kuid siiani veel vähesel määral või kaudselt. See ei välista, et juba lähiajal võime kohata ka SIM-i tehnoloogia suunal poliitilisi otsuseid. Autori arvates on üsnagi realistlik oodata Huawei boikotile sarnast juhtumit SIM-i valdkonnas, kuna ka SIM-i tehnoloogia jaoks vajalikud mikrokiibid on tihti peale toodetud riikides üle maailma ning võivad seetõttu sattuda kiiresti riikidevaheliste tehnoloogia- või majandussõdade keskele.

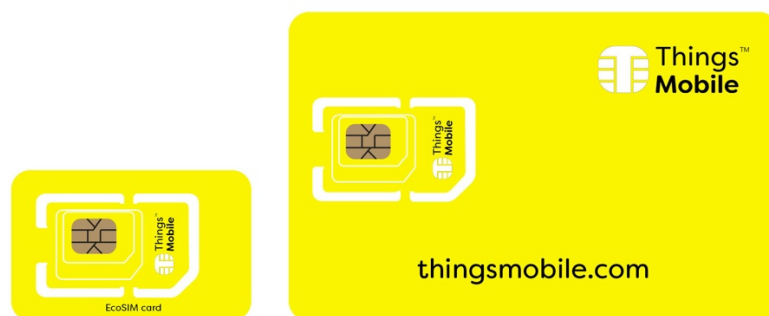
Poliitika kaudsed mõjud on juba vähesel määral mõjutanud SIM-i tehnoloogiate trende. Näiteks on eSIM autotööstuses ühelt poolt tekitanud võimalusi, kuid teiselt poolt nähakse, et see on seal justkui kohustuslikuks muudetud. Euroopa Parlament ja Euroopa Nõukogu otsustas võtta kasutusele Euroopa-ülese eCall-regulatsiooni, mille järgi peavad alates 2018. aasta 31. märtsist kõik uued sõidukimudelid toetama eCall-süsteemi („Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus“, 2015). eCall on automaatne või manuaalne autoõnnetuse teavitussüsteem, mis kasutab päästeteenistusele helikõne ja sõiduki andmete (koordinaadid, aeg, isikute arv, auto VIN-kood) edastamiseks mobiilsidevõrke (Filjar et al., 2011). Sellised regulatsioonid on pannud autotööstust vaatama kaugelt hallatavate SIM-i lahenduste poole (Tsurusawa, 2017). eCalli nõuet on võimalik täita ka tavalise SIM-kaardiga, ent praktikas on eSIM selleks palju sobivam ning seetõttu on autotööstus või hoopiski poliitilised otsused eSIM-i kasutust kiirendanud.

Teise näitena võib välja tuua nii erasektori kui ka riigisektori hanked, kuhu saab sisse kirjutada SIM-i tehnoloogia kaughalduse võimekuse vajaduse või isegi konkreetsemalt mõne SIM-i tehnoloogia nõude. See tagab näiteks riikliku innovatsiooni arengu või väldib monopoliseerimist. Balti piirkonna näitel on leitud, et avalikud hanked ei ole nõudnud uute

tehnoloogiate teadus- ja arendustegevust, küll aga on hanked olemasoleva tehnoloogia turgu oluliselt mõjutanud, sealhulgas turuosa kasvatanud (Lember et al., 2011). Seega need ei pruugi aidata arendada välja standardiseerimata SIM-i tehnoloogiaid, kuid võivad mõjutada standardiseeritud lahenduste kasutuselevõttu.

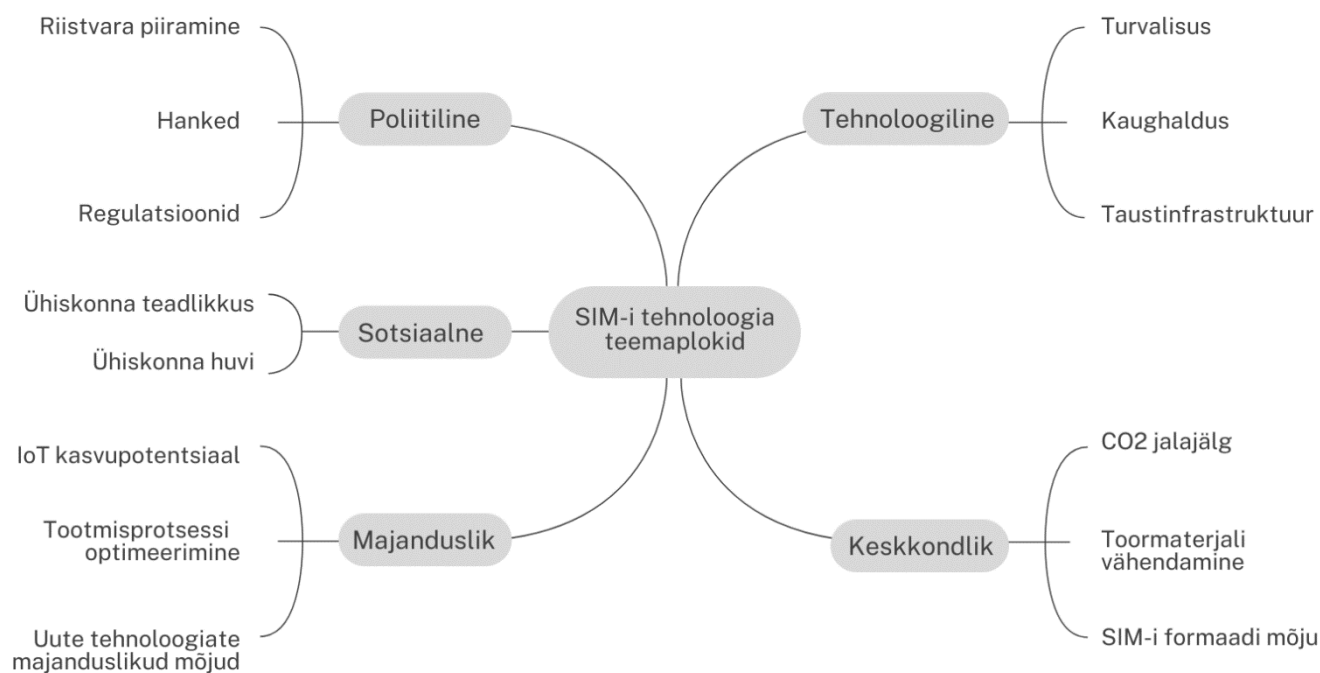
Viimaks, ühe esimese riigina maailmas on otsustanud Leedu võtta vastu elektroonilise side seaduse. See annab tarbijatele õiguse nõuda operaatoritelt sideteenuseid eSIM-i lahendusega ning võimaluse vahetada teenusepakkujat, kasutades eSIM-i kaughaldust. Leedu näeb eSIM-i vajalikkust ühe valdkonnana just asjade internetis. Seadus hakkab kehtima aastal 2023. (Ministry of Transport and Communications, 2021)

Ettevõtete seas on muutumas aina tähtsamaks pidepunktiks **keskkond**. Mobiilsideoperaatorid on võtmas järjest suuremaid samme, vähendamaks enda tegevusega seotud jalajälge. Mitmed operaatorid on kuulutamas välja CO₂ vähendamise strateegiaid, mille üheks nurgakiviks on toormaterjalina plasti vähendamine (Wilson et al., 2021). Plastkaartidega (SIM-kaart, pangakaart, ID-kaart) kaasnevale jalajäljele on pööratud tähelepanu juba 10 aastat tagasi, kui probleem oli nüüdse ning järgnevate aastate olukorrast palju väiksem. 2012. aastal tekitasid 2 miljardit kasutusel olevat SIM-kaarti (tavatarbijate ja IoT SIM-kaardid kokku) 70 000 kg väärtuses CO₂ jalajälge (Trüggelmann, 2012). Praegused tavapärased lähenemised on: vähendada SIM-kaardiga kaasneva plasti kogust, kasutada taaskasutatavat toormaterjali ja keskkonnasõbralikke pakendeid, valida logistikas väiksema süsihappegaasi jäljega transpordivahend ja soosida paber kandjate asemel e-teenindust. Ainuüksi juba SIM-kaardiga kaasneva plasti koguse vähendamine on virtuaalse mobiilsideoperaatori Things Mobile'i tegevjuhi Manuel Zanella sõnul hoidnud ära plasti absurdse liigkasutamise (Things Mobile, 2022). Klassikalise 16 g SIM-kaardi asemel kasutab nende Eco-SIM-kaart ainult 4 g plasti, see võimaldab kolme aasta jooksul säästa 13 000 kg plasti ning vähendada CO₂ jalajälge 8000 kg väärtuses (Things Mobile, 2022). Kaardi suuruste vahet illustreerib joonis 4, kus on kujutletud Things Mobile'i tavalise ja uue Eco-SIM-kaardi erinevust.



Joonis 4. *Things Mobile*'i Eco-SIM-kaart(vasakul) ja tavaline SIM-kaart(paremal) (*ThingsMobile.com*).

Ka maailma suurimad SIM-kaardi tootjad (nt Workz, IDEMIA, Valid) on toonud turule keskkonnasäästlikke lahendusi, mis kasutavad vähem plasti või taaskasutust. Neid võtteid saab rakendada nii tavalise SIM-i tehnoloogia kui ka eSIM-i tehnoloogia puhul. Giesecke+Devrient toob enda ettevõtte kodulehel välja, et aastal 2021 saadeti üle maailma välja 4,3 miljardit SIM-kaarti, mis tekitas 560 000 kg väärtuses CO₂-te ja rohkem kui 18 000 kg plasti (Giesecke+Devrient, 2022). Plastist loobumiseks on juba praegu mõned võimalused olemas, näiteks saab tavalist SIM-kaarti toota ka MFF2-formaadis, mis võimaldab selle paigaldada IoT-seadme sisse. Tavalise SIM-kaardi puhul kaotatakse seeläbi võimalus tulevikus operaatorit muuta. Siinkohal tulevad kasuks kaughalduse võimalustega SIM-kaardid (nt eSIM, iSIM või ka Soft SIM), millel on keskkonnamõju vähendamises soodustavad omadused. eSIM ja iSIM võimaldavad loobuda plasti kasutamisest, Soft SIM lubab eemaldada igasuguse lisamaterjali kulu. Joonis 5 võtab kokku teoorias käsitletud sotsiaalse, majandusliku, tehnoloogilise, poliitilise ja keskkondliku teemaploki.



Joonis 5. SIM-i tehnoloogia teoreetilise osa teemaplokkide tulemused (autori koostatud)

Magistritöö teoreetilis osas selgus, et asjade interneti valdkond on kiiresti kasvav. Selleks et ühendada asjad Internetti, on populaarne kasutada mobiilsidevõrke, mis vajavad ühenduvuse tagamiseks mitmeid komponente. Nende hulgast on pikka aega olnud uuendusteta SIM-i tehnoloogiad. See on seadnud SIM-i tehnoloogiad olukorda, kus IoT valdkonda ei suudeta optimaalselt teenindada ning see paneb otsima uusi lahendusi. Uurimuse käigus selgitati välja praegu kasutuses olevad ja tulevikus potentsiaalsed SIM-i tehnoloogiad, milleks on SIM, eSIM, iSIM, nuSIM ja Soft SIM. Autor on andnud üksikasjaliku ülevaate nende tehnoloogiate toimimisest ning funktsioonidest, analüüsinud soodustavaid ja piiravaid tegureid STEPE teemaplokkide kaupa.

Järgmises peatükis jätkab autor teoreetilis osas välja toodud teemaplokkide empiirilise uurimisega, kaasates selleks valdkonna eksperte ning analüüsides nende seisukohti. Autor toob välja SIM-i tehnoloogia arenguperspektiivid.

2. SIM-i tehnoloogiate arengut kujundavate tegurite analüüs

2.1. Valimi, uurimisprotsessi ning analüüsi kirjeldus

Peatükis uuritakse erinevate SIM-i tehnoloogiate väljavaateid IoT valdkonnas, võttes aluseks nende levimist soodustavate ja piiravate tegurite analüüs. Autor on uurimisprotsessis valinud kvalitatiivse lähenemise, töö käigus viiakse läbi poolstruktureeritud intervjuud valdkonna ekspertidega. Selline lähenemine on sobilik, kuna:

- kvalitatiivne uuring sobib hästi vähem tuntud teema käsitlemiseks, milleks SIM-i tehnoloogiad kindlasti on;
- poolstruktureeritud intervjuud võimaldavad intervjuueeritava mõttekäikudes ning ideedesse sügavuti minna, ilma et peaks vastajatele kindlaid piire seadma;
- SIM-i tehnoloogiate valdkond vajab väga spetsiifilist oskusteavet ning töö tulemuste usaldusväärsuse saab parimal viisil saavutada valdkonna ekspertide kogemuse ja arvamuse põhjal;
- kvantitatiivse meetodi kasutamiseks ei ole teema käsitluses vajalikke arvnäitajaid, mis võimaldaksid järeldusi teha.

Intervjuueeritavad isikud valiti sihipärase valimi ning kombineeritud lumepallivalimi põhjal – see võimaldas autoril tänu intervjuueeritavate soovitudele võtta teiste valdkonna spetsialistidega ühendust. Tähelepanu on pööratud sellele, et valimis oleksid esindatud valdkonna erinevad pooled, kes said kajastatud töö teoreetilises osas. See tähendab et valimisse langesid operaatorid, SIM-kaardi tootjad, SIM-i infrastruktuuri arendajad, valdkonna idufirmad, võtmeorganisatsioonide inimesed ning IoT-seadmete arendajad.

Intervjuud viidi läbi videokõne vahendusel nii eesti kui ka inglise keeles, intervjuueeritava nõusolekul vestlused salvestati. Analüüsimiseks on salvestised transkribeeritud, kuid konfidentsiaalsuse tagamiseks ei kuulu need avalikustamisele. Kogutud andmed struktureeriti STEPE-raamistikku kasutades. Intervjuuküsimuste koostamisel lähtus autor magistritöö teoreetilises osas käsitletust ning kogutud informatsioonist. Poolstruktureeritud intervjuu jaoks koostas autor põhiküsimused (tabel 3). Intervjuu algas sissejuhatavate küsimustega, mis selgitasid intervjuueeritava seotust ja teadmisi valdkonna ning SIM-i tehnoloogiatega. Seejärel käsitleti viite teemaplokki STEPE-raamistikust: sotsiaalne, tehnoloogiline, majanduslik, poliitiline ja keskkondlik teemaplokk. Viimaks olid lõpetavad küsimused, kus autor soovis teada intervjuueeritava subjektiivset arvamust aspektide olulisuse ja SIM-i tehnoloogiate tulevikuperspektiivi kohta. Lisaks anti võimalus käsitlemata jäänud

teemade katmiseks. Intervjuude kestus sõltus intervjuueeritava kompetentsusest valitud SIM-i tehnoloogiate kajastamises ehk sellest mitut ja milliseid SIM-i tehnoloogiaid ühe intervjuu käigus käsitleti. Täpsemalt on valimi katvus erinevate tehnoloogiate suhtes välja toodud tabelis 5.

Tabel 3

Intervjuu küsimused

Tegur/Teema	Küsimused
Sissejuhatav	1. Milline on teie kokkupuude IoT-sektoriga? 2. Kui kursis olete erinevat IoT valdkonnas kasutatud leidvate SIM-i tehnoloogiatega (SIM, eSIM, iSIM, nuSIM, Soft SIM)?
Sotsiaalne	3. Kuidas on inimeste tarbimisharjumused tehnoloogia suunal soodustanud erinevate SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu? 4. Mis võiks tarbijate suunal olla takistuseks uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõtul?
Tehnoloogiline	5. Millised tehnoloogilised aspektid soodustavad uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu? 6. Millised tehnoloogilised aspektid piiravad uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu? Kas tulevikus on oodata nende puhul muutusi?
Majanduslik	7. Millised majanduslikud aspektid soodustavad uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu? 8. Kas on majanduslikke põhjuseid, mis piiravad uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõttu?
Poliitiline	9. Kuidas on poliitiline olukord SIM-i tehnoloogia suunalisi trende mõjutanud? 10. Kuidas võiks edaspidi poliitiline olukord SIM-i tehnoloogia suunalisi trende mõjutada?
Keskkondlik	11. Milliseid keskkonnamõjusid avaldavad erinevad SIM-i tehnoloogiad? 12. Kas mõnel SIM-i tehnoloogial on keskkonnamõjudes selge eelis teistest?
Kokkuvõttev	13. Milline antud aspektidest avaldab enim mõju SIM-i tehnoloogiate käekäigule? 14. Millisel SIM-i tehnoloogial ja mis põhjustel näete kõige suuremat tulevikuperspektiivi 10–15 aasta lõikes?

Allikas: autori koostatud

Intervjuud viidi läbi 2022. aasta veebruarist märtsini kümne eksperdiga (tabel 4). Esimesena intervjuueeriti Eesti kohaliku operaatori Telia esindajat, Telia tehnilise teeninduse juhti. Telia on võtnud kindla suuna, pakkumaks IoT-seadmetele sobivaid lahendusi uue

NB-IoT-mobiilsidevõrguga, ent on aktiivsed ka uute SIM-i tehnoloogiate, nagu eSIM-i, rakendamisel. Esimene intervjuu andis hea tagasiside teema relevantsusest, kuid töö autor tegi selle põhjal ka mõningaid muudatusi intervjuu küsimustes ja läbiviimises.

Tabel 4

Intervjueeritud isikud

Intervjueeritav	Kuupäev	Keel	Kestus min	Ametikoht	Valdkonna taust, kogemus
Tanel Peep	17.02.2022	Eesti	55	Telia tehnilise teeninduse juht	On töötanud 18 aastat telekommunikatsiooni sektoris, 7 aastat eSIM-i tehnoloogiaga
Rameez Sultan	18.02.2022	Inglise	51	Truphone'i tehniline tootejuht	IDEMIA, Workz Group, 22 aastat valdkonna kogemust
Mikk Lemberg	21.02.2022	Eesti	38	IoT tootejuht	Mobiilsidevõrgu teenuseid pakkuva idufirma IoT tootejuht
Marcin Kulczyck	22.02.2022	Inglise	53	IoT eSIM-i tootejuht	GSMA, BT, Comarch, Giesecke+Devrient, Gemalto (Thales), 21 aastat valdkonna kogemust
Intervjueeritav A	01.03.2022	Eesti	34	Tehniline spetsialist	IoT riist- ja tarkvara tootearenduse ettevõtte, seadmete ühenduvuse eest vastutav
Vjatšeslav Antipenko	04.03.2022	Eesti	32	Telia IoT valdkonna juht	Telia IoT, 7 aastat telekommunikatsiooni sektori kogemust
Intervjueeritav B	04.03.2022	Inglise	47	Tehniline spetsialist	Tehniline spetsialist SIM-i tootmisettevõttes, 11 aastat valdkonna kogemust
Veiko Koort	11.03.2022	Eesti	56	Elisa pilvelahenduste ja kõneside osakonna juht	Elisa Eesti, 14 aastat kogemust SIM-i tehnoloogia valdkonnas
Vladimir Estis	18.03.2022	Inglise	44	Truphone'i tehnoloogia juht	Cellnetrix, Truphone, 15 aastat valdkonna kogemust
Deeptaansh Tanwar	21.03.2022	Inglise	46	BT Groupi ärikonsultant	IDEMIA, Giesecke+Devrient, Valid, BT Group, 11 aastat kogemust SIM-i tootjate valdkonnas

Allikas: autori koostatud

Osad nimed on töö raames intervjueeritava palvel anonüümseks jäetud, kuid on kajastatud nende ametikoht ja valdkonna seos, võimaldamaks hinnata nende sobilikkust valimisse. Töö tulemusena on salvestatud 456 minutit helisalvestusi ning 131 lehekülge transkriptsioone (font Times New Roman, teksti suurus 12, reavahe 1,5).

Iga intervjuu alguses palus töö autor selgitada intervjueeritava kokkupuudet IoT-sektoriga ning SIM-i tehnoloogiatega. See oli vajalik mõistmaks, kas autori valimi osas seatud eesmärk, kõiki sektori pooli ja SIM-i tehnoloogiaid katta, on õnnestunud või tuleks teha täiendavaid intervjuusid. Lõpuks sai autor intervjueerida järgnevaid sektori esindajaid: operaatoreid nii Eestist kui ka välismaalt, üht maailma suurimat SIM-kaardi tootjat, SIM-i infrastruktuuri arendajat, IoT fookusega mobiilsideühenduse idufirmat ning üht IoT-seadmete riist- ja tarkvaraarendajat. Kuna autoril ei õnnestunud saada intervjuud GSMA ehk operaatoreid koondava katuseorganisatsiooni esindajatega, küsitleti selle asemel varasema GSMA töökogemusega isikut, kellel on 21 aastat valdkonna kogemust.

Autor uuris intervjueeritavate nende teadmisi erinevate SIM-i tehnoloogiate (SIM, eSIM, iSIM, nuSIM ja Soft SIM) kohta. See võimaldas kindlaks teha, et iga käsitluses oleva SIM-i tehnoloogia jaoks on piisavalt usaldusväärset sisendit, kuna alati ei olnud võimalik leida kõiki tehnoloogiaid katvat eksperti. Intervjueeritavate hulgas oli kõigil selged arusaamad SIM-i ja eSIM-i tehnoloogiast, mis tuleneb nende praegusest kõige laialdasemast kasutusest ning tehnoloogia küpsusest. Kõige vähem oli intervjuudega kaetud nuSIM-i ja Soft SIM-i tehnoloogiad, mis näitab nende väga varajast arengustaatuset ning praegusest vähest päriselu kasutust. Tabel 5 näitab intervjueeritavate kompetentsust SIM-i tehnoloogiate lõikes.

Tabel 5

Valimi katvus SIM-i tehnoloogiate suhtes

Intervjueeritavad	SIM	eSIM	iSIM	nuSIM	Soft SIM
Tanel Peep					
Rameez Sultan					
Mikk Lemberg					
Marcin Kulczyk					
Intervjueeritav A					
Vjatšeslav Antipenko					
Intervjueeritav B					
Veiko Koort					
Vladimir Estis					
Deeptansh Tanwar					

Allikas: autori koostatud

Järgmises peatükis käsitletav andmete analüüs lähtus STEPE-raamistiku aspektidest, tuuakse välja koodid ning kategooriad, mis viivad magistritöö eesmärgi täitmiseni. Kodeerimise tulemusel koostas autor igat teemaplokki katva kooditabeli, mis on esitatud teemaploki analüüsi juures.

2.2. Intervjuude tulemused

Esimese teemaplokina käsitles autor SIM-i arenguperspektiivide **sotsiaalsed** aspektid ning kajastas soodustavate ja piiravate tegurite kategooriaid intervjuude tulemustest saadud koodide põhjal (tabel 6).

Tabel 6

Sotsiaalse aspekti koodid ja kategooriad

Teemaplokk	Sotsiaalne aspekt	
Kategooria	Soodustavad tegurid	Piiravad tegurid
Koodid	<ul style="list-style-type: none"> Tuntud ettevõtete suurenenud tähelepanu SIM-ile 	<ul style="list-style-type: none"> Mõttemaailma piiritletus Tavalise SIM-kaardi tuntus Ebaselge SIM-i väärtuspakkumine Mugavustsoon

Allikas: autori koostatud

Sotsiaalse teemaploki juures kinnitasid kõik intervjuueeritavad, et see on olulisem tavatarbijate sektoris ning IoT valdkonda mõjutab vähem. Kuid need on siiski ka kaudselt võrreldavad, sest tavatarbijate nõudmised tehnoloogiale mõjutavad asjade interneti valdkonda. Piiravate tegurite juures toodi välja, et uute SIM-i tehnoloogiate kasutuselevõtt vajab muutusi osaliste mõttemaailmas ja harjumustes. Intervjuudes selgus, et praegu on ühiskond väga kinni teadmises, et operaatori vahetuseks on olemas SIM-kaart, mille saab seadmest välja võtta ja asendada.

„... inimesed teavad, kuidas traditsiooniline SIM toimib ja nad ei ole piisavalt uudishimulikud, et avastada uute tehnoloogiate võimalusi“ (Kulczyck 2022, autori tõlge ingliskeelsest intervjuust)

See rakendub ka väga paljudele IoT-ettevõtetele, kes siiani ei proovi oma tooteid arendada SIM-i tehnoloogiate suunal võimekamaks. Intervjueeritav leidis, et põhjuseks on kindlasti lõpptarbija vähene uute funktsioonide nõudmine, seetõttu ei pea IoT-ettevõtte SIM-i valdkonna arengusse ressursse panustama. Selles kajastub ebaselge väärtuspakkumine, mida SIM-i tehnoloogiad võimaldada saavad. Kuid vastanud leidsid ka, et mitte ainult asjade interneti seadmete tootjad ja lõpptarbijad ei vaja mõttemaailma muutust, vaid ka operaatorid, kellel on aastakümneid SIM-kaardid olnud ning kes on ainuüksi ise nende eest vastutanud. Nad peavad uudsete tehnoloogiate adapteerimise jaoks suutma uusi partnereid usaldada ning nendega koostööd tegema, muutma suhtluskanaleid enda ja ühiskonna vahel ja seetõttu lahti laskma operaatorite kinnistest süsteemidest. Seda kajastatakse ka autorite Iacopino ja Rogersi (2017) tehtud uuringus, kus ühe põhilise operaatorite proovikivina tuuakse välja nõrk lõpptarbija kliendisuhe ja operaatorite puudumine seadmete ja tarbijate vahel. Piirava tegurina tõid intervjueeritavad tähelepanu mugavustsoonile. Leiti, et nii inimeste kui ka ettevõtete loomuses on toimivad lahendused muutmata jätta, kuni see on alles äärmiselt vajalik mõne kindla funktsiooni lisamiseks või tekkinud probleemi lahendamiseks. Tavalist SIM-i tehnoloogiat, mis on olnud kasutuses juba aastakümneid, on mugav rakendada, selle head ja vead on kõigile teada ning ei vaja peaaegu üldse tarbija panust. Tavaline SIM-i tehnoloogia on ka väga tuntud tänu enda pikale ajaloole, seega ei vaja tehnoloogia tarbijale suunatud turundust.

Soodustavate tegurite kategoorias toodi välja viimasel ajal suurenenud tähelepanu SIM-i tehnoloogiatele, mis on ajendatud suurettevõtete tavatarbija toodete turunduslikest pingutustest. Nii operaatorid kui ka IoT-ettevõtetega kokku puutuvad isikud märkisid, et alates Apple'i ja Samsungi eSIM-i toetavate toodete avaldamisest on suurenenud huvi uute SIM-i tehnoloogiate vastu asjade interneti valdkonnas, kuigi seal otsest tehnilist seotust ei ole. Tavatarbijate uute nutitelefonide, tahvelarvutite, nutikellade ja teiste sarnaste toodete puhul rõhutakse turunduslikult nende eSIM-i olemasolule. Seesama turunduslik pingutus aga jõudis intervjueeritavate kinnitusel IoT valdkonda üsna pea peale toodete avaldamist.

Teise teemaplokina käsitles autor SIM-i arenguperspektiive **tehnoloogilises** aspektis ning kajastas soodustavate ja piiravate tegurite kategooriad intervjuude tulemustest saadud koodide põhjal (tabel 7).

Tabel 7

Tehnoloogilise aspekti koodid ja kategooriad

Teemaplokk	Tehnoloogiline aspekt	
Kategooria	Soodustavad tegurid	Piiravad tegurid
Koodid	<ul style="list-style-type: none"> • Kaughaldamine • Tulevikukindlus • Tehnoloogia standardiseeritus • iSIM-i ja nuSIM-i lihtne paigaldus • SIM-kiibi töökindlus 	<ul style="list-style-type: none"> • Taustinfrastruktuuri vajadus • Soft SIM-i turvalisuse ja töökindluse probleemid • nuSIM-i spetsiifilisus • Tavalise SIM-kaardi integratsiooni lihtsus • Seadme vajadus toetada uusi tehnoloogiaid

Allikas: autori koostatud

Tehnoloogilise aspekti soodustavate tegurite kategoorias sai intervjuude käigus kõige rohkem kajastust kaughaldus ning see muutus tehnoloogilist aspekti uurides pidepunktiks. Intervjueeritavad tõid välja, et uutel SIM-i tehnoloogiatel, mida tahetakse laialt kasutada, peab see tehniline funktsioon olema. Intervjueeritavad leidsid, et kaughalduse võimaldamine annab seadmetele ning nende käitlejatele tulevikukindluse. Kaughaldus võimaldab SIM-i komponenti uuendada, vastavalt muutuvatele tingimustele, nagu uued mobiilsidevõrgu tehnoloogiad (NB-IoT ja LTE-M), muutuvad operaatori teenused ja saadavad rändlusvõrgud. Samuti on võimalik uuendada SIM-i funktsionaalsust, võtta kasutusele SIM-i funktsioone, mis praegu ei ole kindlale seadmele vajalikud, kuid võib olla aastate pärast. Tänapäeva IoT-seadmete intelligentsus vajab pidevalt uuendamist ning siiani on SIM-kaart olnud üheks vähestest komponentidest, mida uuendada ei olnud võimalik. Viimaks on ka sellele lahendus olemas ning seega on kaughaldus intervjueeritavate arvamusel ülimalt oluline. Leiti, et tänu kaughaldusele pikendatakse seadme tööiga märkimisväärselt. Et eksperte veelgi toetada, autorid Koshy ja Rao (2018) on rõhunud sobiva SIM-i lahenduse kasutuselevõtu tähtsust, et tagada pikim võimalik seadme tööiga. Samas tõdeti, et kaughalduse jaoks vajalik taustinfrastruktuur (nt eSIM-i puhul SM-DP ja SM-SR) on tehniliste integratsioonide tõttu keerukas ja aeganõudev. Kuid eksperdid andsid lootust, et see on juba peagi efektiivsemaks muutumas. Kinnitati fakti, et standardiseeritud tehnoloogia on oluline, võimaldamaks operaatorite ja süsteemi osaliste turvalist koostalitlust, mille puudumisel on mobiilsidesüsteemides raske saavutada massilist tehnoloogia kasutust. Kaughalduse

turvalisuse aspekti olulisust kinnitavad ka uuringud (Chitroub *et al.*, 2019). Tõdeti, et praegu veel on eraldi SIM-kiibiga lahendused kõige töökindlamad ja turvalisemad. Samas nähti, et ka iSIM ja selle variatsioon nuSIM võivad juba lähiajal sarnase töökindluse ja turvalisuse saavutada. nuSIM-i ja iSIM-i tehnoloogia soodustavaks teguriks leiti, et mobiilsidemooduli tootja peab eelnevalt füüsilise ja elektroonilise integratsiooni ära tegema, seega jääb IoT-seadmete arendajale või selle kasutajale väiksem seadme disaini ja tootmise koormus. Samas tuleb tarkvaraliselt selle võrra rohkem panustada, et iSIM-i või nuSIM-i lahendustega töötada.

Uute SIM-i tehnoloogiate piiravate tegurite kategoorias kerkis esile arvamus, et tavalist SIM-kaarti oskavad valdkonnas kõik kasutada tänu pikale ajaloole ja lihtsusele. Nagu selgus ühest intervjuust rakendavad SIM-i edukalt IoT-seadmetesse ka väiksemad tootjad, integreerivad ja kasutavad probleemitult, aga seeläbi piiravad nad tarbijate tahet rakendada uut tehnoloogiat.

„Tavalise SIM-i puhul on teguriks kindlasti lihtsus, seda oskavad kõik kasutada, see on piisavalt küps tehnoloogia tänapäevaks. [---] ka vähem asjatundlikud seadmetootjad suudavad SIM-i lühikese ajaga töökindlalt toimima saada, mida näiteks eSIM-i kohta ei saaks öelda.“ (Peep, 2022).

Vastajad tõid ka välja, et seadme vajadus toetada uusi tehnoloogiaid piirab uute SIM-i lahenduste kasutuselevõttu. Seadme- ja mobiilsidemoodulitootjad ei ole kiired uue tehnoloogia rakendamisel, seega uue toe lisamine võib võtta aastaid. Näitena toodi esile, et mitte kõik seadmed ja mobiilsidemoodulid ei toeta eSIM-i, kuna selleks on vaja Bearer Independent Protocoli (BIP) tuge. BIP võimaldab mobiilsidemooduli ja SIM-kaardi vahel avada turvaline andmeedastuskanal, et Interneti protokolle kasutades saaks SIM-kiibile edastada käsklusi ja üle õhu laadida profiile. Ühe vastanu arvamus järgi oli BIP-i tugi mobiilsidemoodulites mõni aasta tagasi ainult 40% juures, praegu on seda toetavaid seadmeid kuskil 60–70%.

Sarnane probleem toodi välja ka Soft SIM-i lahenduse puhul, kus seadme enda tarkvara ja ka SIM-i tarkvara jooksevad põhimõtteliselt samas kohas, seega ei toeta iga seadme tarkvara kindlasti Soft SIM-i lahendust. Lisaks tunti muret, et seadme tarkvarauuendusega võib saada ka SIM-i tarkvara mõjutatud. See mõjutab Soft SIM-i lahenduste töökindlust, sest tarkvara ning selle funktsioneerimine on IoT-seadmetel üks tuntud probleem. Üks intervjuueritav tõi välja, et Soft SIM-i lahenduse puhul vajaks iga tarkvarauuendus väga palju katsetamist, veendumaks, et Soft SIM ei ole tarkvara muudatustest mõjutatud.

„Keegi ei saa olla kindel, et peale järgmist seadme tavapärasest tarkvarauuendust see [Soft SIM] seal veel samamoodi alles on [---] kui minna seadmel hoopis teist probleemi lahendada ja teha tarkvarauuendus, siis kuna see[seadme ja SIM-i tarkvara] on enam-

vähem üks kood, on raske välistada, et SIM-i lahendus ei lakka toimimast.“ (Peep 2020).

Suurem fookus katsetamisele aga vähendab võimalusi kiireks tarkvaraarenduseks ja seadme uuenduseks, mis on tänapäeval oluline. Soft SIM-i tehnoloogia turvalisuse küsimuses olid kõik intervjueeritavad skeptilised ning leidsid, et hetkel neile teadaolevad Soft SIM-i lahendused ei võimalda usaldusväarsust tagada. Kümne aasta perspektiivis oli Soft SIM-i kasutuselevõtu osas valdav skeptilisus, vaatamata sellele, et leiti Soft SIM olevat sobilik kasutamiseks just IoT-sektoris.

nuSIM-i tehnoloogia osas oldi samuti skeptilised. Nõustuti selle teoreetiliste soodustavate faktoritega, kuid kaheldi, kas need on laialdase kasutuse jaoks piisavad. Leiti, et nuSIM on väga spetsiifiline ja enamik juhtudel, kus nuSIM-i tehnoloogia on abiks, valitakse tõenäoliselt lahenduseks lihtsuse pärast tavaline SIM-i tehnoloogia. Intervjueeritavad tõid välja, et nuSIM-i sarnast lahendust, kus on mitmeid profiile, saab teostada ka tavalise SIM-kaardi ja Multi-IMSI lahendusega. Multi-IMSI on standardiseerimata lahendus, mis võimaldab piiratud määral kasutada erinevaid operaatorvõrke, saavutades sarnase efekti, kuid mitte täisfunktsionaalsusega, mis mitme profiili võimekusega lahendustel. Nii nuSIM kui ka Multi-IMSI vajavad SIM-kaardi valmistamise hetkel profiilide laadimist ning hilisem üle õhu profiilide laadimine ei ole võimalik.

Kolmanda teemaplokina käsitles autor SIM-i arenguperspektiivide **majanduslikku** aspekti ning kajastas soodustavate ja piiravate tegurite kategooriaid intervjuude tulemustest saadud koodide põhjal (tabel 8).

Tabel 8

Majandusliku aspekti koodid ja kategooriad

Teemaplokk	Majanduslik aspekt	
Kategooria	Soodustavad tegurid	Piiravad tegurid
Koodid	<ul style="list-style-type: none"> • Kaughaldus • Kulude sääst 	<ul style="list-style-type: none"> • SIM-i infrastruktuuri investeeringud • Operaatorite passiivsus

Allikas: autori koostatud

Majanduse teemaploki all jagunesid intervjueeritavate arvamused laias laastus kaheks. Operaatorid kinnitasid, et uued SIM-i tehnoloogiad (olgu selleks eSIM, iSIM, nuSIM või Soft SIM) ei ole äriiselt neile iseenesest vajalikud, kuna ei lahenda operaatori probleeme. Klassikaline SIM-i tehnoloogia täidab operaatori enda vajadused selgelt ära, sest operaatorid pakuvad lisaväärtust tarbijatele võrgu mitte SIM-i tehnoloogia tasandil. See on viinud suured operaatorid uute SIM-i tehnoloogiate avaldamisel pigem passiivsesse rolli. Uued SIM-i tehnoloogiad võetakse kasutusele aeglaselt ja seda ainult klientide tekitatud surve. Põhjus, miks operaatorid ei paku lisaväärtust SIM-i tehnoloogiate edendamisel põhinedes, on seotud nende majanduslike huvidega teha kliendile teenusepakkuja vahetus võimalikult keerukaks. Kuna SIM-i tehnoloogiad arenevad just kaughalduse suunas, siis selliseid lisaväärtusi operaatorid pakkuda ei soovi. Nende jaoks on majanduslikult mõistlikum panna rõhku 5G arendamisele ja turundamisele, sest see teenus ei ohusta niivõrd klientide liikumist.

Samas näevad väiksemad virtuaaloperaatorid või teenusepakkujad võimalust eristumiseks ning konkurentsieeliseks ja on siiani näidanud üles suurt huvi uute SIM-i tehnoloogiate vastu. Küll aga on nende puhul ka mahud väiksemad, seega ei avalda nad mõne tehnoloogia kasutatavusele veel laialdast mõju. Samas leidsid intervjueeritavad, et see võib peagi muutumas olla, sest väiksemad mobiilside teenusepakkujad on oma kiiruse ja paindlikkusega just idufirmadele sobivad. Sellest võib esimesi märke näha just mikromobiilsuse valdkonnas, kus see on olnud viimasel kahel aastal märkimisväärne. Mikromobiilsuse iduettevõtted on tihtipeale pöördunud teiste mobiilsideiduettevõtete juurde ja seeläbi vältinud keerukaid suhtlusi suurte operaatoritega.

Majanduse teemaploki teine arvamus tulenes rohkem IoT-seadmete tootjate ja kasutajate vaatenurk. Leiti, et majanduslikud piirangud on praegu kasutuses oleva tavalise SIM-i tehnoloogia puhul märkimisväärsed. Kinnitati Benderi ja Lehmanni (2012) leitud, et SIM-kaartide vahetamine IoT-seadmetes ei ole praegu tihtipeale majanduslikel põhjustel mõeldav ning põhiliseks abistavaks meetmeks nähti just kaughallatavaid tehnoloogiaid.

„eSIM võimaldab viia seadmed kasutusele valdkondadesse, kus hetke SIM-i tehnoloogia tõttu on see kulukas. Ühe merepoi SIM-kaardi vahetus maksab mitu tuhat eurot, sa pead minema korjama merepoi üles, maale tooma, lahti võtma, ära vahetama SIM-i, kõik kokku kinni panema, tagasi merele viima. See on küll äärmuslik näide, kuid antud seadme valdkondi tuleb ka järjest juurde.“ (Koort 2022).

Majanduslikust aspektist ei toodud välja nuSIM-i väga madala maksumuse olulisust. Intervjueeritavad põhjendasid seda faktiga, et proportsionaalselt on see võrreldes kaughalduse

funktsioonist saadud majandusliku võiduga marginaalne. Tõdeti, et Soft SIM oleks küll suur sääst seadmete tootjatele, kes praegu peavad iga teise tehnoloogia puhul SIM-i komponendi kulu kandma, kuid operaatoritele ja SIM-i tootjatele tähendaks see suure sissetulekuallika vähenemist.

„... tegemist on väga vastuolulise lahendusega. Takistuseks saavad SIM-i tootjad, kelle põhiäri on SIM-kiipide tootmine. Nad ei lase kergekäeliselt Soft SIM-i lahendusel turule tulla. [---] muidugi operaatoritele meeldib samuti müüa füüsilisi SIM-kaarte.“
(Intervjueeritav B 2022, autori tõlge ingliskeelsest intervjuust)

Nii operaatorid kui ka SIM-kaartide tootjad kinnitasid, et kaughalduse funktsiooniga tehnoloogiad vajavad uusi investeeringuid infrastruktuuri, mis toimib SIM-i tehnoloogiate taustal ja kaughaldust võimaldab. Lisaks algsetele investeeringutele suureneb ka operaatori jaoks püsikulu, mis on seotud infrastruktuuri haldamisega. Osalised tõid välja, et näiteks eSIM-i ja iSIM-i puhul ei ole kõige kulukam kaughalduse funktsiooni tehniline loomine, vaid üllatuslikult just selle sertifitseerimine. eSIM-i standarditele vastav süsteem peab olema sertifitseeritud selleks, et operaatorid usaldaksid enda profiile süsteemi käitusesse. Kuid ainult sertifitseerimisprotsess maksab kümneid tuhandeid eurosid. Sertifitseerimisprotsess tagab kaughalduse turvalisuse, aga seab nende süsteemide omanikud süsteemi haldamise ja käigus hoidmise poole pealt ka keerukasse ja kulukasse olukorda.

Neljanda teemaplokina käsitles autor SIM-i arenguperspektiivide **poliitilist** aspekti ning kajastas soodustavate ja piiravate tegurite kategooriaid intervjuude tulemustest saadud koodide põhjal (tabel 9).

Tabel 9

Poliitilise aspekti koodid ja kategooriad

Teemaplokk	Poliitiline aspekt	
Kategooria	Soodustavad tegurid	Piiravad tegurid
Koodid	<ul style="list-style-type: none"> Hanked 	<ul style="list-style-type: none"> Regulatsioonide kaugus tehnoloogia haldajatest ja kasutajatest Andmete talletamine riigisisest Piirangud SIM-kiibi kasutusele Uue krüptograafia kohustus

Allikas: autori koostatud

Poliitilise aspekti teemal tõid intervjueeritavad välja, et peamised SIM-i tehnoloogiaid mõjutavad otsused toimuvad kaudselt, pigem mobiilsidevõrkude põhjal. Soodustavate tegurite kategoorias toodi välja, et tulevikus võivad SIM-i tehnoloogiaid palju mõjutada riiklikud hanked või direktiivid. Seeläbi kinnitatakse teoorias varem käsitletud eCalli näidet, kus autor Tsurusawa (2017) tõi välja, et Euroopa kehtestatud eCalli nõue pani autotööstuse vaatama eSIM-i lahenduse poole. Samas tõdesid intervjueeritavad, et pigem soodustab see uue SIM-i lahenduse kasutuselevõttu ning ei ole ebaaus konkurentsieelis ühele või teisele lahendusele. Kuid intervjueeritavad ei leidnud, et seda tänapäeval laiaulatuslikult juba kasutatakse. Toodi välja, et on üksikuid juhtumeid, kus eSIM-i kohta taolisi nõudeid esinenud on.

„... hanke teostajad vaikselt hakkavad sisse kirjutama, et tehnoloogia peab toetama operaatori kiiret vahetust. Leedus on see suuremat kõlapinda saanud kui Eestis, seal järjest enam suuritel hangetel see kohustuslikuna sees. [---] siiani on need olnud riigihanked, kuid olen kuulnud, et seda rakendatakse ka erasektoris.“ (Antipenko 2022)

Teisalt ei ole nähtud veel hanke mõjutusi iSIM-i, nuSIM-i, Soft SIM-i tehnoloogiate puhul. Tõenäoliselt on see tingitud nende uudsusest, praegu veel vähesest kasutusest või mõnel juhul standardiseerituse puudumisest.

Piiravate tegurite kategoorias mainisid intervjueeritavad regulaatorite kauguse tehnoloogia tegelikku toimimist. Näitena tõi üks intervjueeritav VoLTE (ehk hääle edastus üle LTE) rakendamise reguleerimise probleemid ning märkis, et sarnaseid juhtumeid võib suure tõenäosusega tulla ette ka siis, kui SIM-i lahendusi hakatakse seadusandlikult reguleerima. Uue tegurina toodi välja, et nagu varem mainitud, ei ole riigid otseselt seadnud piiranguid füüsilisele SIM-i komponendile, kuid on teinud seda mõnele SIM-i tehnoloogia infrastruktuurile: eSIM-i ja iSIM-i puhul SM-DP ja SM-SR-i infrastruktuurile ning SIM-i ja nuSIM-i tehnoloogiate puhul SIM-kaardi profiili personaliseerimise infrastruktuurile. Soft SIM on standardiseerimata, seega võib selle rakendamine olla väga erinev, millest sõltub ka selle poliitiline mõjutatus. Kõige tavaprasem on seaduslik nõue hoida SIM-i ja operaatoritega seotud andmeid mõne riigi siseselt ning keelata andmete talletamine väljaspool riiki. Selliseid seaduseid on rakendanud Brasiilia, India, Venemaa, Türgi jt. Seetõttu on ka ettevõtted olnud sunnitud tegema neisse riikidesse investeeringuid, kui nad on soovinud seal enda teenuseid pakkuda.

„... hetkel ei ole keegi mures SIM-kaartide riistvara pärast, kõik on mures andmete pärast. SIM-kaart ise ei talleta konkreetselt isiklikke andmeid, küll aga teevad seda

taustsüsteemid, mis juba täna on reguleeritud.“ (Sultan 2022, autori tõlge ingliskeelsest intervjuust).

Teise kajastamata aspektina toodi mitmel korral välja krüptograafiliste algoritmide turvaliseks pidamine ning nende aktsepteerimine riiklikul tasandil. Nimelt põhinevad kõik SIM-i tehnoloogiad tugevalt meie usaldusel mõne spetsiifilise krüptograafilise algoritmi vastu. Juhul kui mõni riik otsustab, et nemad ei aktsepteeri enam maailmas levinud algoritme või väljastavad enda loodud ja kohustuslikuks muudetud algoritmi, siis on sellel otsene piirav tegur SIM-i tehnoloogiatele, mis ei saa seda algoritmi adapteerida. Intervjueeritav leidis, et sellised arengud on aset leidmas Venemaal, kuid täpsem info, millised tehnoloogiad seda adapteerida saavad, ei ole veel teada.

Viimaks nõustusid intervjueeritavad, et kuigi praegu ei ole laialdasi piiranguid SIM-kiibi kasutuselevõtule, siis viimaste aastate poliitilised otsused on näidanud, et mõne riigi kiipide keelustamine on väga realistlik võimalus. Keelustamise põhjendusena nähti küberturvalisuse olulisust, kuna SIM-i tehnoloogiad põhinevad usaldusväärse kiibi printsiibil. Seda kinnitavad ka autorid Kim, Lee ja Kwak (2020), kes tõid küberturvalisuse välja ühe kaubandussõja põhjusena. Lisaks tõdesid intervjueeritavad, et kiibile seatud võimalikud riiklikud piirangud on teema, millega operaatorid ning SIM-i tootjad juba suuremal või vähemal määral arvestavad. Samuti võib selles näha soodustavat tegurit tehnoloogiatele, mis eraldi SIM-kiipi ei vaja, nagu Soft SIM-i lahendus.

„... täna on praktiliselt kõikidel SIM-i tootjatel mitmeid võrdsete parameetritega kiipide varustajaid tihtipeale erinevat päritolu. Põhiliselt aitab see tootjatel kiibi hinnastust ja tarneaahelat optimeerida, kuid teisena aitab see kiiresti reageerida geopoliitiliselt muutuvalle keskkonnale. [---] Soft SIM-i lahendusel muidugi neid kiibi hankimise muresid ei oleks.“ (Tanwar 2022, autori tõlge ingliskeelsest intervjuust)

Viienda teemaplokina käsitles autor SIM-i arenguperspektiivide **keskkondlikku** aspekti ning kajastas keskkonnamõjude ja keskkonnamõjude lahenduste kategooriad intervjuude tulemustest saadud koodide põhjal (tabel 10).

Tabel 10

Keskkonna aspekti koodid ja kategooriad

Teemaplokk	Keskkondlik aspekt	
Kategooria	Keskkonnamõjud	Keskkonnamõjude lahendused
Koodid	<ul style="list-style-type: none"> • Plast • CO2 jalajälg tootmises • CO2 jalajälg logistikas • SIM-kaardi pesa 	<ul style="list-style-type: none"> • MFF2-formaadis SIM-i kasutamine • eSIM kui suur samm edasi keskkonnamõjude vähendamises • Kaughaldamine

Allikas: autori koostatud

Keskkonna teemaploki all kujunesid kategooriateks keskkonnamõjud ja keskkonnamõjude lahendused. Läbivalt kõikides intervjuudes oli ühine arvamus, et tavalise SIM-i tehnoloogiaga kaasneb suuremahuline plasti tooraine kasutamine. Seda kinnitavad autori Trüggelmann (2012) väljatoodud andmed. Leiti, et plasti kogus, mis kaasneb ühe SIM-kaardiga on ebaproportsionaalselt suur ning selle vähendamise esimene samm on ebavajaliku plasti likvideerimine ehk kaardi suuruse vähendamine. Tõdeti, et seda võimalust on juba suuremad operaatorid kasutama hakanud, nimetati ühte maailma suurimat operaatorit Vodafone.

„... SIM-i tehnoloogiatel on mõju süsiniku jalajäljele. Positiivse poole pealt me liigume õiges suunas, juba täna on operaatorid kuulutanud välja, et nad kasutavad jätkusuutlikumat ja taaskasutatavat plasti. Vodafone, T-Mobile ja üldiselt kõik suuremad operaatorid on suuna sinna võtnud.“ (Sultan 2022, autori tõlge ingliskeelsest intervjuust)

IoT-seadmetele mõeldud SIM-kaartide puhul on plasti koguse vähendamine kerge, kuna nende juures ei ole niivõrd oluline kasutada suure plastkaardi pinda, et edastada informatsiooni PIN-koodide, mobiil-iD või mõne muu lisateabe tarbeks. Plasti koguse vältimise variantidena toodi välja võimalus kasutada MFF2-formaadis SIM-kaarti. Selle soovitusena jõuti enamasti ka kaughaldamise olulisuse juurde, kuna MFF2 ei ole eemaldatav. See viitab vajadusele kasutada uusi SIM-i tehnoloogiaid, millel see võimekus olemas on. Oldi teadlikud SIM-kaartidega kaasnevast suuremahulisest CO2 jalajäljest, kuid intervjuueeritavad tõid CO2 tekkimiseks

erinevaid põhjuseid. Osad intervjueeritavad rõhuvad tootmise hetkele, teised transpordi jalajäljele ning mainiti ka SIM-i seadmesse paigaldamisest tekkivat CO₂ jalajälge.

Kõik intervjueeritavad tõid välja, et eSIM on keskkonna aspektis hüppeline edusamm, vähendades oluliselt kõiki keskkonnamõjusid, mis kaasnevad tavalise SIM-kaardi tehnoloogiaga. eSIM-i puhul on ainult üks SIM-i komponent kogu seadme tööea vältel, kuid võimaldab siiski vastavalt vajadusele operaatorit vahetada. Samas leidsid osad intervjueeritavad, et eSIM-i jalajälge saab veelgi enam vähendada järgmise põlvkonna iSIM-i tehnoloogiaga, kuna sel juhul on SIM juba integreeritud mobiilsidemoodulisse ning komponenti ei pea eraldiseisvalt töötleva ega transportima.

„... kui mõõta jalajälge toote elutsükli jooksul, tuleb see eSIM-i puhul väiksem kui tavalise SIM-kaardi puhul. Üle õhu vahetades operaatorit jääb sul kiip samaks, loomulikult ka kogu jalajälg, mis vahetuse protsessiga kaasneb, väheneb [---] sealt edasi iSIM, nuSIM ja Soft SIM vähendavad jalajälge veelgi.“ (Lemberg 2022)

Üks intervjueeritav tõi ka välja, et Soft SIM-i puhul oleks jalajälg peaaegu olematu, kuid viitas siiski, et ei usu selle tehnoloogia laialdasele kasutuselevõtule isegi tähtsa keskkonna aspekti olulisust arvestades.

Samas tuli intervjuude käigus välja varem keskkonna teemat uurides käsitlemata jäänud aspekt, mis hõlmab plastist SIM-kaartidega kaasnevat SIM-kaardi pesa. Nimelt on plastist SIM-kaartide puhul vajalik toota ka SIM-kaardi pesa, millele kulub omakorda lisaks toormaterjali ning mille soetamisel tekib lisaks logistika jalajälge. Viimaks leiti, et kauges perspektiivis tekitab SIM-kaardi pesa liikuva komponendi, mis kulub ning millel seeläbi omakorda kiireneb vajadus SIM-kaarti vahetada. Kulumise probleem sõltub küll IoT-seadme kasutusotstarbest, kuid mõjutatud on jälgimisseadmed ning seadmed mikromobiilsuses ja autotööstuses. Seda kinnitas IoT riist- ja tarkvaraarendusettevõtte esindaja.

„... tootes seadmeid, mis peavad toime tulema keeruliste tingimustega, näiteks vibratsioonid, niiskus, kõrged temperatuurid, on oluline liikuvate osade vältimine. Võimalus joota SIM-kaart otse trükkplaadile, kuid siiski säilitada hilisem operaatorite vahetamine, on kindel tootedisaini eelis. Samal ajal muidugi vähenevad ka keskkonnamõjud, kuna ei ole vaja SIM-kaardi pesa toota, säästetakse nii pesa materjalide kui ka transpordi pealt.“ (Intervjueeritav A, 2022)

Kokkuvõtvalt olid intervjueeritavad arvamusel, et SIM-i tehnoloogiad on kiires arenguetapis ning uute lahenduste kasutuselevõtt on IoT-sektoris kriitilise tähtsusega, et toetada asjade interneti objektide efektiivset ning mugavat kasutust. Nõustuti, et pikalt kasutuses olnud tavaline SIM-i tehnoloogia hakkab ajale jalgu jääma, kuid kiideti samas selle

turvalisust ja lihtsust. Leiti, et tänapäeval on sektoris ruumi rohkemale kui ainult ühele kindlale SIM-i tehnoloogiale. Sotsiaalse teemaploki all tulid esile tarbijate mugavustsoonist ja ebaselgest SIM-i väärtuspakkumisest tingitud piiravad tegurid. Samas leiti, et suurettevõtete, nagu Apple ja Samsung, viimase aja SIM-i tehnoloogiate esiletõstmine aitab ka IoT-sektoris SIM-i tehnoloogiate väärtuspakkumist selgitada. Tehnoloogilises teemaplokis tulid soodustavate teguritena enim esile tulevikukindlus, standardiseeritus ja turvalisus. Majanduslikus teemaplokis kajastus erinev seisukoht operaatorite ja mobiilside teenusepakkujate vahel ning seadmetootjate ja tarbijate vahel. Operaatorid nägid probleemi uute SIM-i tehnoloogiate kuludes, samas kui seadmetootjad ja tarbijad nägid märkimisväärset potentsiaali kulude kokkuhoiuks. Poliitilises teemaplokis tulid esile piiravad tegurid, milleks kõikide poolte arvates on võimalikud piirangud SIM-i riistvarale, ebapädevad regulatsioonid ning riiklikute andmete ja krüptograafia talletamise seaduste mõjud. Viimases keskkonna teemaplokis teadvustati CO₂ jalajälge, suurt plasti kasutamise kogust ja lisakomponentide, nagu SIM-kaardi pesa, mõjusid keskkonnale. Keskkonna mõjude lahendused olid seotud erinevate SIM-i formaatide kasutamisega ja kaughalduse olulisusega keskkonna mõjude vähendamisele. Keskkonna mõjudes, kuid mitte ainult, leidsid eksperdid, et kõige perspektiivikam on uus tehnoloogia, mis võimaldab kaughaldust. Kaughaldus on tegur, mis intervjueeritavate sõnul peab SIM-i tehnoloogiate hulgas leidma laialdast kasutust. See funktsioon kajastus peaaegu kõikides teemaplokkides.

Autor uuris kõikidelt intervjueeritavatelt nende arvamust, milline teemaplokk mõjutab SIM-i arengut kõige enam, kuid ühtset selget vastust välja ei kujunenud. Intervjueeritavate arvates mängib võtmerolli nii tehnoloogiline, sotsiaalne kui ka majanduslik teemaplokk, viimase olulisus oli vähesel määral ülekaalus. Sellest võib järeldada, et teemaplokkid ning tegurid on omavahel tugevalt seotud, näiteks majanduslik aspekt on seotud tehnoloogilise võimekusega. Majanduslikus teemaplokis kajastatud koode võib pidada kõige olulisemaks ning nagu tulenes analüüsist, on koodid teemaplokkide ülesed. Ühe intervjueeritava põhjendus majanduse rolli olulisuse kohta oli, et kui tehnoloogia on olemas, kuid majanduslikult väga ebaefektiivne, siis see ei leia teed seadmetootjateni ega sealt edasi lõpptarbijateni. Samas leidis see intervjueeritav ka, et tehnoloogiliselt peab iga uut lahendust olema võimalik ellu viia kõikidele pooltele aktsepteeritavate tingimustega. Kõikide osaliste aktsepteerimist nähti olulisena, kuna mobiilsidevõrkude süsteem on väga sõltuv igast lülist. Näiteks ei ole mõtet rakendada uut NB-IoT või LTE-M-i mobiilsidevõrku, kui selle kasutamiseks vajaminevaid seadmeid ei toodeta kuluefektiivselt. Samamoodi ei ole mõtet luua SIM-i tehnoloogiat, mida ei võta omaks operaatorid, kuna see ei ole neile turvaline lahendus. Tihe sektori põimitus, mida

osalised välja töid, kajastub töö koodides, mis nagu eelnevalt mainitud, olid teemaplokkide ülesed.

Võttes arvesse teoreetilist analüüsi, tabelis 2 välja toodud parameetreid, intervjuude käigus välja kujunenud koode ja intervjuueeritavate arvamusi, saab autor teha järeldusi SIM-i tehnoloogia arenguperspektiividest IoT-sektoris. Autori järeldustele põhinevalt on kõige suurema tulevikuperspektiiviga iSIM-i tehnoloogia. iSIM vastab suuremale osale soodustavatest teguritest ning sel ei ole ainult sellele tehnoloogiale kehtivaid laiaulatuslikke piiravaid tegureid. Tehnoloogia aspektis toetavad iSIM-i soodustavad tegurid: kaughaldamine, tulevikukindlus, standardiseeritus ja lihtne paigaldus. Majanduslikust vaatenurk on iSIM-i lahendusel suur kulude sääst tänu kaughaldusele ja eraldiseisva füüsilise SIM-i komponendi puudumisele. Sarnane sääst tuleneb ka keskkondlikust aspektist, kus eraldiseisva füüsilise komponendi puudumine võimaldab vähendada keskkonnamõjusid logistika ja materjali kuldelt. Poliitilise aspekti poolest suurendab standardiseeritus võimalusi iSIM-i kaasamiseks riigi- ja erasektori hangetes.

Autori järeldusi kinnitab intervjuud lõpetav küsimus, milles uuriti ekspertide hinnangut, et millisel SIM-i tehnoloogial ja mis põhjustel nähakse kõige suuremat tulevikuperspektiivi 10–15 aasta lõikes. Ekspertide arvamused on välja toodud tabelis 11, kus kajastub kõige enam eSIM-i tehnoloogia, kuid ka iSIM leiab laialdast poolehoidu.

Tabel 11

SIM-i tehnoloogiate perspektiivid

Intervjuueeritavad	SIM	eSIM	iSIM	nuSIM	Soft SIM
Tanel Peep					
Rameez Sultan					
Mikk Lemberg					
Marcin Kulczyck					
Intervjuueeritav A					
Vjatšeslav Antipenko					
Intervjuueeritav B					
Veiko Koort					
Vladimir Estis					
Deeptaansh Tanwar					

Allikas: autori koostatud

Detailsemad intervjuueeritavate selgitused toetasid eSIM-i, kuna leiti, et selle soodustavad tegurid olid märkimisväärselt etemad teistest tehnoloogiatest. Samas leiti, et iSIM on perspektiivikas, kuna põhineb suure osas eSIM-i standarditel. Kuid iSIM toob veelgi enam

soodustavaid tegureid ja isegi lahendab mõned eSIM-i piiravad tegurid, põhiliselt läbi SIM-i funktsionaalsuse integreerimise otse mobiilsidemoodulisse. Kokkuvõtvalt leidsid eksperdid, et lähiajal langeb tavalise SIM-i osakaal märkimisväärselt just uute seadmete väljatöötamisel, samas ei kao tavaline SIM lähiaastatel. Selleks leidsid intervjuueritavad kaks põhjust. Esiteks, juba tootedisaini läbinud seadmete ümber tegemine on kulukas, seega jätkatakse võimalikult kaua väljatöötatud seadmete edasise tootmisega. Teiseks, kuna praegu kasutuses olevate seadmete tööiga hoiab neid ka edaspidi mõned aastad ringluses. 10–15 aasta perspektiivis nähti, et SIM hakkab asenduma alguses eSIM-i tehnoloogiaga ja mõne aja pärast iSIM-i lahendusega.

Kokkuvõte

Asjade internet ehk võrk, milles on üle maailma miljardeid intelligentseid sensoritega varustatud interneti ühendatud seadmeid.. Internetiühenduvuse saavutamiseks kasutavad paljud neist mobiilsidevõrke ja teenuseid, mille võtmekomponendiks on SIM-kaart. SIM-kaart on aastakümneid säilinud suures jaos sama tehnoloogiana, kuid ei toeta massiivses koguses IoT-seadmete kasutuselevõttu. Töö eesmärk oli anda ülevaade IoT valdkonna olemusest, selgitada välja SIM-i tehnoloogiate roll IoT valdkonnas, nende soodustavad ja piiravad tegurid ning tuua intervjuudest ekspertidega välja SIM-i tehnoloogiate arenguperspektiivid. Selleks püstitas töö autor uurimisülesanded, mis hõlmasid teoreetilist käsitlust ning empiirilises osas rahvusvaheliste ekspertide arvamusi. Ekspertide intervjuueerimiseks jaoks koostas autor valimi, kuhu kuulus kümme isikut erinevatest SIM-i tehnoloogiaga seotud osapooltest.

Magistritöö teoreetilises osas anti ülevaade IoT olemusest ja IoT-seadmete ühenduvuse võimalustest SIM-i tehnoloogiate kontekstis. IoT-seadmete arv on kiires tõusus, ainuüksi mobiilsidevõrkudesse on tänapäeval ühendatud ligikaudu 1 miljardilt seadet ning see suhtarv on 2025 aastaks tõusmas 8 miljardi peale. Selle kasvuga peavad sobituma ka SIM-kaardid, mille tehnoloogias on viimasel ajal nähtud arengut. Töö raames määrati kindlaks praegu ja tulevikus IoT-sektoris kasutust leidvad SIM-i tehnoloogiad (SIM, eSIM, iSIM, nuSIM ja Soft SIM) ning anti neile detailne selgitus. Uued SIM-i tehnoloogiad on liikumas IoT-seadme sisse integreerimise suunas. eSIM, iSIM, nuSIM, Soft SIM – kõik võimaldavad või kohustavad SIM-i komponendil olla eemaldamatu. See toob endaga kaasa mitmeid positiivseid mõjusid, nagu suurenenud seadme töökindlus, vähenenud ruumikasutus ja väiksem keskkonna jalajälg. Samas tõstatab küsimuse, kuidas tagada võimalus operaatori või mõne SIM-kaardi funktsiooni uuendamiseks, mistõttu vajavad integreeritud tehnoloogiad kaughalduse võimekust. See omakorda toob palju soodustavaid tegureid, kuid tõstatab ka mitmeid kitsaskohti. SIM-i tehnoloogiate arenguperspektiivide määramisel rakendas autor STEPE-raamistikku, mis kajastab sotsiaalset, tehnoloogilist, majanduslikku, poliitilist ja keskkondlikku aspekti.

STEPE-raamistik oli aluseks poolstruktureeritud intervjuude küsimustele, mille valimis osales kümme rahvusvahelist eksperti valdkonna poolte hulgast: operaatorid, SIM-i tootjad, mobiilsideidufirma ja IoT-seadmete arendusega tegelev ettevõtte. Intervjuude tulemuste tõlgendamiseks kasutati kodeerimist ja kategoriseerimist. SIM-i tehnoloogia soodustavad ja piiravad tegurid selgitati välja, lähtudes iga teemaploki iseärasustest, tulemused toodi välja teemaplokkide kaupa.

Sotsiaalse teemaploki juures kinnitasid intervjuud teoreetilist käsitlust, et inimeste teadlikkus valdkonnast on madal ning puudub täpne arusaam SIM-i tehnoloogia väärtuspakkumisest. Tehnoloogilises teemaplokis kajastus nii teoreetilises kui ka empiirilises osas kaughalduse olulisus, mis võimaldab nii äriliste kui ka tehnoloogia muudatuste puhul tagada tulevikukindluse. Samas tõdeti, et uute tehnoloogiate rakendamine on väljakutse ning seda tehes peab turvalisus olema tagatud. Majandusliku teemaploki juures tõdeti uute SIM-i tehnoloogiatega tekkivat kulude säästu tarbijatele ja IoT-ettevõtetele, kuid teadvustati ka tehnoloogiaga kaasnevat uusi püsikulusid, mis rakenduvad operaatoritele. Poliitiline aspekt kajastas, et uued tehnoloogiad on enim mõjutatud hangetest ja riiklikest regulatsioonidest. Ning viimase keskkonna asepekti raames toodi välja erinevate SIM-i tehnoloogiate keskkonnamõjud ja nende lahendused. Plasti toormaterjali kulu ja CO₂ jalajälg olid põhilisteks mõju avaldavateks teguriteks. Lahendustena nähti MFF2-formaadis SIM-i kasutamist ning kaughaldust.

Kokkuvõtlikult selgus töös, et siiani kasutatud tavaline SIM-kaart ei ole sobilik massiliste IoT-rakenduste jaoks. SIM-i tehnoloogia arenguperspektiivid on seotud lähitulevikus eSIM-i ning mõninga aja pärast iSIM-i lahendustega. Need tehnoloogiad on nii autori kui ka IoT valdkonna ekspertide sõnul kõige tõenäolisem SIM-i tehnoloogia arengusuund.

Magistritöö on suunatud mobiilsideteenuseid pakkuvatele ettevõtetele, IoT-seadmete tootjatele ning IoT-ettevõtetele. Töö võimaldab end kurssi viia SIM-i tehnoloogiate ning nende soodustavate ja piiravate teguritega. Töö aitab mobiilsidevõrgu kõikidel turuosalistel paremini hinnata SIM-i komponendi arenguperspektiive, mille läbi on võimalik teha kaalutletud otsuseid kiiresti arenevas sektoris.

Magistritöö piiranguks on valimi suurus. Selle suurendamine võimaldab võtta veelgi kindlam seisukoht SIM-i tehnoloogiate arenguperspektiivide kohta ning annab võimaluse tuua välja veelgi enam soodustavaid ja piiravaid tegureid, millega töö lugejad arvestama peavad. Töö tulemustest lähtuvalt vajavad täiendavat detailset uurimist SIM-i tehnoloogiate taustinfrastruktuurid ning nende tegurid ja arenguperspektiivid. Töö hindas SIM-i tehnoloogiaid, kuid töö autor peab võimalikuks, et samuti arenevad SIM-i infrastruktuuri tehnoloogiad, mille väljaselgitamisest on valdkonna osalistele suurt kasu.

Viidatud allikad

- 5G Americas. (2019). *5G - The Future of IoT*. https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G_Americas_White_Paper_on_5G_IOT_FINAL_7.16.pdf
- Acker, O., Célette, J.-T., Bergtholdt, T., & Krüger, M. (2016). *How the “disappearing” SIM card will liberate the consumer and scramble telco roles*. <https://www.pwc.es/es/publicaciones/digital/cutting-the-last-cord.pdf>
- Beecham Research. (2014). *Benefits Analysis of GSMA Embedded SIM Specification on the Mobile Enabled M2M Industry*. <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2014/10/Benefits-Analysis-GSMA-Embedded-SIM-Specification.pdf>
- Bender, H., & Lehmann, G. (2012). Evolution of SIM provisioning towards a flexible MCIM provisioning in M2M vertical industries. *2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, ICIN 2012*, 57–64. <https://doi.org/10.1109/ICIN.2012.6376034>
- Chen, A. W., Chen, J., & Dondeti, V. R. (2020). The US-China trade war: dominance of trade or technology? *Applied Economics Letters*, 27(11), 904–909. <https://doi.org/10.1080/13504851.2019.1646860>
- Chitroub, S., Blaid, D., Aouadia, H., & Laouar, R. (2019). Securing Mobile IoT Deployment Using Embedded SIM: Concerns and Solutions. *2019 International Conference on Internet of Things, Embedded Systems and Communications (IINTEC)*, 75–79. <https://doi.org/10.1109/IINTEC48298.2019.9112138>
- Cirani, S., Ferrari, G., Picone, M., & Veltri, L. (2018). *Internet of Things : Architectures, Protocols and Standards*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Deutsche Telekom IoT GmbH. (n.d.). *Mobile IoT Guide*. Retrieved December 6, 2021, from <https://iot.telekom.com/resource/blob/data/582942/73fc340173f2395c7e4dab5e2deab70c/mobile-iot-guide.pdf>
- Elektroonilise side seaduse, ehitusseadustiku ja riigilõivuseaduse muutmise seadus*. (2022). [https://www.riigikogu.ee/tegevus/eelnoud/eelnou/70adb908-b70f-4d8b-9b20-2b25ad2d269e/Elektroonilise%20side%20seaduse,%20ehitusseadustiku%20ja%20riigilõivuseaduse%20muutmise%20seadus](https://www.riigikogu.ee/tegevus/eelnoud/eelnou/70adb908-b70f-4d8b-9b20-2b25ad2d269e/Elektroonilise%20side%20seaduse,%20ehitusseadustiku%20ja%20riigil%20õivuseaduse%20muutmise%20seadus)
- Ericsson. (2015). *Ericsson Mobility Report*. <https://www.ericsson.com/49df10/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2015/ericsson-mobility-report-june-2015.pdf>

Ericsson. (2019). *Ericsson Mobility Report*.

<https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>

Ericsson. (2021). *Connected Micromobility - A case study demonstrating cellular IoT business value to the transport industry*.

<https://www.ericsson.com/en/enterprise/forms/connected-micromobility>

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2015/758. (2015). Euroopa Liidu Teataja.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0758&from=EN>

European Telecommunications Standards Institute. (1999). *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Subscriber Identity Modules (SIM); Functional characteristics (GSM 02.17 version 5.1.1 Release 1996)*.

https://www.etsi.org/deliver/etsi_i_ets/300900_300999/300922/02_60/ets_300922e02p.pdf

Filjar, R., Vidoviü, K., Britviü, P., & Rimac, M. (2011). eCall: Automatic Notification of a Road Traffic Accident. In *2011 Proceedings of the 34th International Convention MIPRO*.

Giesecke+Devrient. (2022). *The green benefits of eSIM | G+D*. <https://www.giesecke.com/en/connectivity/mobile-network-operator/esim/green-esim>

GlobalPlatform. (2015). *The Trusted Execution Environment: Delivering Enhanced Security at a Lower Cost to the Mobile Market*. https://globalplatform.org/wp-content/uploads/2018/04/GlobalPlatform_TEE_Whitepaper_2015.pdf

GSM Association. (2017). *Remote Provisioning Architecture for Embedded UICC Technical Specification*. https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/SGP.02_v3.2_updated.pdf

GSM Association. (2018). *eSIM Whitepaper - The what and how of Remote SIM Provisioning*. <https://www.gsma.com/esim/wp-content/uploads/2018/12/esim-whitepaper.pdf>

GSM Association. (2019). *Internet of Things in the 5G Era - Opportunities and Benefits for Enterprises and Consumers*. <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/11/201911-GSMA-IoT-Report-IoT-in-the-5G-Era.pdf>

GSM Association. (2020). *Remote Provisioning Architecture for Embedded UICC Technical Specification*. <https://www.gsma.com/esim/wp-content/uploads/2020/06/SGP.02-v4.1.pdf>

- GSMA Intelligence. (2015). *Understanding SIM evolution*.
<https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=18809300&file=understanding-sim-evolution-1482139874006.pdf>
- Guerrieri, A., Cicirelli, F., & Vinci, A. (2020). *Smart Monitoring and Control in the Future Internet of Things*. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-239-5>
- Iacopino, P., & Popov, A. (2021). *eSIM: State of the consumer market and the road ahead*. <https://mobile-security.gi-de.com/esim-report-2021>
- Iacopino, P., & Rogers, M. (2017). *The future of the SIM: potential market and technology implications for the mobile ecosystem*. <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=28999708&file=The%20future%20of%20the%20SIM%20potential%20market%20and%20technology%20implications%20for%20the%20mobile%20ecosystem.pdf>
- Kasper, M., Kuntze, N., & Schmidt, A. U. (2008). Subscriber Authentication in Cellular Networks with Trusted Virtual SIMs. *2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*, 2, 903–908. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2008.4493913>
- Kigen. (2020). *7 Top eSIM Uses White Paper*. <https://kigen.com/wp-content/uploads/2020/11/Kigen-7-Top-eSIM-Uses-White-Paper.pdf>
- Kim, M. jin, Lee, H., & Kwak, J. (2020). The changing patterns of China's international standardization in ICT under techno-nationalism: A reflection through 5G standardization. *International Journal of Information Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102145>
- Koshy, D. G., & Rao, S. N. (2018). Evolution of SIM Cards – What's Next? *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 1963–1967. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554774>
- Lember, V., Kalvet, T., & Kattel, R. (2011). *Urban competitiveness and public procurement for innovation*. <http://www.jstor.org/stable/43081787>
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
- Mackenzie, M., & Rebbeck, T. (2016). *Connected cars: worldwide trends and forecasts 2013-2025*. https://www.analysismason.com/globalassets/x_migrated-

media/media/analysys_mason_connected_cars_worldwide_nov2016_sample_rdme02.pdf

- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). *The Internet of Things: Mapping The Value Beyond The Hype*.
https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.pdf
- Mayes, K., Markantonakis, K., & Piper, F. (2005). Smart card based authentication - Any future? In *Computers and Security* (Vol. 24, Issue 3, pp. 188–191).
<https://doi.org/10.1016/j.cose.2005.03.002>
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>
- Ministry of Transport and Communications. (2021). *eSIM implementation model in Lithuania has been decided*. <https://sumin.lrv.lt/en/news/esim-implementation-model-in-lithuania-has-been-decided>
- Mobile World Live. (2021). *State of the market on Integrated SIM (iSIM): Ready for Massive IoT?* <https://kigen.com/wp-content/uploads/2021/06/Survey-Report-State-of-the-market-on-Integrated-SIM-iSIM-Ready-for-Massive-IoT.pdf>
- Nael, M. (2021). *Riigikogu võttis vastu elektroonilise side seaduse*.
<https://www.err.ee/1608414302/riigikogu-vottis-vastu-elektroonilise-side-seaduse>
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2020). *Shared Micromobility in the US: 2019*. <https://nacto.org/wp-content/uploads/2020/08/2020bikesharesnapshot.pdf>
- Oliver Wyman. (2015). *The Internet of Things Disrupting Traditional Business Models*.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4724–4734. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2852491>
- Smith, A. (2017). *Mobile Internet Skills Training Toolkit: Tigo Rwanda Pilot Evaluation*.
https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2018/01/GSMA_mistt-report_R_Web_Public_Spreads.pdf

- Sommer, R. (2022). *Minister Sutt: pärast pikka ja keerulist vaidlust saame lõpuks ometi 5G konkursi välja kuulutada*. <https://arileht.delfi.ee/artikkel/95801719/minister-sutt-parast-pikka-ja-keerulist-vaidlust-saame-lopuks-ometi-5g-konkursi-valja-kuulutada>
- Things Mobile. (2022). *The “Eco-SIM card for IoT and M2M” is born - Things Mobile | The best-selling IoT SIM card on Amazon*. <https://www.thingsmobile.com/press/ecosim-card>
- Trusted Connectivity Alliance ltd. (2021). *Integrated SIM Functionality: Drivers, Approaches to Standardisation and Use Cases*. https://trustedconnectivityalliance.org/wp-content/uploads/2021/05/TCA-iTech-Intro-Paper_FINAL-FOR-WEB-UPLOAD.pdf
- Tsurusawa, M. (2017). *Latest Trends in Remote SIM Provisioning Technology*. https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2017/08/nb29-3_web-01-SpecialRemoteSIM.pdf
- Underdahl, B. (2019). *eSIM & iSIM Dummies Guide*.
- Uwe, T. (2012). *Carbon Footprint of the Card Industry*. http://www.icma.com/ArticleArchives/CarbonFootprint_SE2-12.pdf
- Wilson, M., Kitson, N., Beavor, A., Ali, M., Palfreman, J., & Makarem, N. (2021). *Digital Dividends in Plastic Recycling*. https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2021/04/ClimateTech_Plastic_R_WebSingles2.pdf

Lisad

LISA A. Mõisted ja definitsioonid

Lühend	Termin	Definitsioon
5G	Fifth generation cellular technology	Viienda põlvkonna mobiilsidevõrk
BIP	Bearer Independent Protocol	Liides, mis lubab maks SIM- kaardil püstitada andmeside vahetus läbi mobiilside mooduli
CIoT	Consumer internet of things	Tarbijate asjade internet, mille seadmed on inimesekesksed
eCall	Emergency Call	AeCall on automaatne või manuaalne autoõnnetuse teavitussüsteem, mis edastab helikõne ja sõiduki andmed päästeteenistusele
EIoT	Enterprise internet of things	Ettevõtlike asjade internet, mille seadmed ei ole otseselt inimese kesksed, aga suhestuvad inimestega, näiteks targad linnad.
eSIM	Embedded SIM	SIM-i lahendus, mis võimaldab operaatoreid üle õhu vahetada.
GSMA	GSM Association	Mobiilsideoperaatoreid koondav katuseorganisatsioon, mis esindab operaatorite huve.
ICCID	Integrated circuit card ID	Füüsilise SIM- kaardi identifikaator
IIoT	Industrial internet of things	Tööstuslik asjade internet, mille seadmed mis on tööstuslikesud infrastruktuurides
IMSI	International mobile subscriber identities	Rahvusvaheline unikaalne tellija identifikaator
IoT	Internet of things	Asjade internet ehk objektidvõrk objektidest, mis on sisse ehitatud intelligentsusega, ühenduvusvõimalustega, sensoritega ning võimekusega kasutada Interneti protokolle
iSIM	Integrated SIM	SIM-i lahendus, mis on integreeritud mobiilside moodulisse.
LPWAN	Low power wide area network	Võrgutehnoloogia, mis võimaldab väikseid andmekoguseid edastada väga väikse energiatarbega.
LTE-M	Long term evolution for machines	LPWAN-i tehnoloogia mobiilsidevõrkudes
M2M	Machine-to-machine	Masinalt masinale automaatne andmevahetus
MFF2	Machine-to-machine form factor	Joodetav SIM- kaardi formaat, mis on spetsiaalselt loodud masinate ja IoT- seadmete jaoks.
Multi-IMSI	Multiple international mobile subscriber identities	SIM-i lahendus, kus kasutatakse mitut IMSI-t, kuid seda ühe profiili raames
NB-IoT	Narrowband-internet of things	LPWAN-i tehnoloogia mobiilsidevõrkudes
nuSIM	-	SIM-i lahenduse, millel on mitme profiili toetus, kuid puudub üle õhu profiilide laadimise võimekus

SIM	Subscriber identity module	Kiipkaart, mis on loodud tellija identifitseerimiseks. Talletab krüptograafilisi võtmeid, mis on vajalikud võrku registreerimiseks.
SM-DP	Subscription manager data preparation	Süsteem, mis vastutabmaks operaatorite profiilide turvaliset talletamise eest.
SM-SR	Subscription manager secure routing	Süsteem, mis vastutabmaks operaatorite profiilide turvaliset edastamist ja eSIM- kaartide turvaliset haldamist .eest
Soft SIM	Software SIM	SIM-i lahendus, kus riistvara komponent on eemaldatud ning kõik SIM-i funktsioonid ja krüptograafilised võtmed talletatakse seadme tarkvaral.

Summary

DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF SIM TECHNOLOGIES IN IoT

Ken-Tristan Peterson

Internet of Things (IoT) is in a rapid growth, today there are over 2,8 billion devices connected to cellular networks, estimations foresee this number to grow to 5 billion by 2025. This is made possible by new radio access technologies like 5G, LTE-M, NB-IoT, the decreasing cost of cellular hardware and new SIM technologies. The regular SIM card has created problems in managing massive scale IoT devices and therefore new solutions must be adapted.

Looking into the benefits and limitations of different SIM technologies this master thesis aims to analyse the development perspectives of SIM technologies in IoT. In order to achieve the aim, the following research tasks were set:

1. give an overview of IoT and the connectivity solutions
2. identify on the basis of professional literature the current and potential future SIM technologies
3. identify the benefits and limitations of different SIM technologies
4. compile and conduct semi-structured expert interview based on the theory, in order to find out the necessary properties for new SIM technologies
5. to map the development perspectives of SIM technologies based on the factors developed during the research.

In order to perform the research tasks, the author analyses the professional literature, technical specifications of different SIM technologies and conducts semi-structured interviews with experts from the field. Throughout the paper STEPE analysis is used to evaluate social, technical, economic, political, and environmental aspects.

The interview results about the social aspect confirmed the theoretical analysis, that there is a lack of awareness and no clear value proposition understanding of SIM technologies. The importance of remote management was reflected in both the theoretical and empirical parts of the technology aspect, over the air management makes it possible to ensure a future proof system, able to comply with both business changes and technological changes. At the same time the challenge of providing a trusted and secure solution was acknowledged. The economic aspect recognized the cost savings new SIM technologies can bring to IoT device operators, but also acknowledged the new costs of the background infrastructure which is applicable to the operators. The political aspect reflected that new technologies are

most affected by procurement and national regulations. The environmental aspect highlighted the consumption of plastic raw materials and the CO₂ footprint of different technologies and SIM form-factors. The use of MFF2 format SIM and remote administration was seen as the solutions.

The master's thesis is aimed at companies providing mobile communication services, IoT device manufacturers and IoT companies. This work allows you to familiarize yourself with various SIM technologies and their beneficial and limiting factors. The work will help all market participants in the mobile network to better assess the development prospects of the SIM component, through which it will be possible to make more considered decisions in a rapidly evolving sector.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ken-Tristan Peterson, annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose SIM-i tehnoloogia arenguperspektiivid IoT valdkonnas, mille juhendaja on Eneli Kindsiko, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Ken-Tristan Peterson
18.05.2022