

TARTU ÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Tiit Priske

KRIISIKINDLUS ELEKTROONIKATÖÖSTUSES:
VÄÄRTUSAHELA JA TOOTEDISAINI ROLL RISKIDE
KUJUNEMISEL

Magistritöö

ettevõtluse ja tehnoloogiajuhtimise erialal

Juhendaja Liina Joller, Urmas Varblane;

Tartu 2026

SISUKORD

SISUKORD	2
SISSEJUHATUS.....	3
1.ELEKTROONIKATÖÖSTUSE VÄÄRTUSAHELAS KRIISIKINDLUSE TAGAMISE TEOREETILISED ALUSED.....	6
1.1 Globaalsed väärtusahelad: Mõiste, struktuur ja arengusuunad.....	6
1.2 Elektroonikakomponentide väärtusahel	11
1.3 Elektroonikakomponentide valik tootearenduse käigus	17
1.4Elektroonikatööstuse väärtusahelate kriisidele vastupidavuse tagamine	24
2.JUHTUMIUURINGU METOODILINE RAAMISTIK	35
2.1 Uurimismetoodika ja juhtumiuuringute valik.....	35
2.2Juhtumiuuringute analüüsiraamistik.....	39
3.EESTI ELEKTROONIKATÖÖSTUSE KRISIIKINDLUSE TAGAMISE JUHTUMID	41
3.1 Juhtumiuuring 1. Paindliku tootedisaini mõju kriisikindlusele	41
3.2 Juhtumiuuring 2. Kiire kasvu, tarneahela ja disaini koosmõjud.....	45
3.3 Juhtumiuuring 3. Tootedisaini mõju ettevõtte organisatsioonilisele koormusele	51
3.4 Juhtumiuuring 4. Erinevate positsioonide vahel liikumine väärtusahelas.....	55
3.5 Juhtumiuuringute võrdleva analüüsi järeldused	61
KOKKUVÕTE.....	63
VIITED.....	65
SUMMARY	72

SISSEJUHATUS

Elektroonikatööstus on üks keerukamaid ja dünaamilisemaid tööstusvaldkondi, mis nõuab hoolikat koordineerimist eri etappides, alates toorainest kuni lõpptooteni. Selle keerukus tuleneb komponentide tehnilisest keerukusest, toorainete ja tehnoloogiate kättesaadavusest, tehnoloogiainvesteeringutest, elektroonikaseadmete suurest nõudlusest, kiirest tehnoloogia arengust ning elektroonikatootmise tarneahela etappide erinevates regioonides paiknemisest. Tõhus tarneahela juhtimine elektroonikatööstuses on toote kvaliteedi säilitamiseks, klientide nõudmiste rahuldamiseks ja turul konkurentsivõime säilitamiseks ülioluline.

Globaalsed tarneahelad, on üha haavatavamad mitmesuguste riskide suhtes. Ja elektroonikatoodete tarneahel on tänu oma laiaulatuslikkusele ja keerukusele veel eriti mõjutatav. Looduskatastroofid, geopoliitilised pinged ning majanduslikud kõikumised võivad põhjustada tarnehäireid, mis omakorda toovad kaasa tootmisviivitusi ja kulude kasvu. Selliste riskide mõju on eriti tuntav kõrgtehnoloogilistes ja ajakriitilistes sektorites, nagu näiteks elektroonikatööstus, kus komponentide kättesaadavus võib olla piiratud ja alternatiivsed tarnijad puuduvad.

Tehnoloogia kiire areng ning ka tarneahelate toimimist mõjutavad sündmused sunnivad ettevõtteid pidevalt uuendama nii arendus- kui ka tootmisprotsesse, samuti ka tarneahela juhtimismudeleid. Konkurentsivõime säilitamiseks peavad ettevõtted keskenduma oma põhikompetentsidele, eelkõige uute toodete disainile ja innovatsioonile, tagades samal ajal tõhusa ja paindliku tarneahela juhtimise, mis võtab arvesse nii toote, turu kui ka geopoliitilisi riske.

Magistritöös ei käsitleta üht spetsiifilist ettevõtet või seadet, vaid tüüpilist elektroonikatoodet, mida toodetakse masstootena. Olenemata sellest, et nende toodete kasutusvaldkond võib olla väga erinev, on kaasaegsete elektroonikatoodete ülesehitus neis kasutatavate komponenditüüpide põhiselt oma olemuselt sarnane.

Magistritöö probleem ilmnas autori igapäevatööga seotud tähelepanekutest. Igapäevatöö oli seotud elektroonikatoodete tootmise ja tarneahelate ülesehitusega. Sageli olid klientideks erinevad kiiresti kasvavad ettevõtted. Nende vajadusi iseloomustas sageli lühike

ettenägemisvõime tootmismahdade osas. Lisaks pidevad tootemuudatused ja võimalik nõudluse järk kasv. Sellele lisandusid veel erinevad välised ettenägematud olukorrad ja kriisid, mis takistasid nõudluse täitmist. Näiteks geopoliitilisest olukorrast või mõnest õnnetusest tingitud tarneahelaprobleemid. Lisaks sagedane oli olukord, kus toodete nõudluse teke, disain, tarneahelate loomine ja tootmine ei olnud samas ettevõttes ja nende üksuste omavaheline suhtlemine oli ebapiisav. Selle tulemusel tekkisid mitmed organisatsiooni koormavad probleemid: arendustegevus viibis, toote tootmisesse juurutamine viibis, kiire nõudluse kasvuga ei suudetud kaasa tulla ja toote omahind läks kõrgeks. Nii kaotati eelis turule tuleku osas ja konkurendid, kes olid kiiremad ja soodsamad, ja suutsid muutuv keskkonnas paremini toimida, läksid mööda. Autori isikliku kogemuse põhjal on see pigem läbiv probleem Eesti elektrooniliste riistvaratoodete arenduses, kus tehniline kompetents on tugev. Aga positsioon kaotatakse hinnakujunduses ja turule tuleku kiiruses ja riskide väheses ettenägemises ja nende tagajärgede hilisemas ebaefektiivses lahendamises.

Töö keskendub elektroonikat arendavale ettevõttele, kes kas allhanke korras või ise ka toodab oma toodet. Töö eesmärk on väärtusahelate teoreetilise kirjanduse ja ettevõtete juhtumisuuringute põhjal anda soovitusi Eesti elektroonikatööstuse kriisikindluse tõstmiseks.

Töö eesmärgi saavutamiseks püstitab autor uurimusküsimused:

1. Kuidas mõjutavad tootearhitektuur, komponentide valik ja tarneahela ülesehitus elektroonikat arendavate ettevõtete kriisikindlust?
2. Millised väärtusahela häired ja sõltuvused põhjustavad elektroonikatööstuses kõige suuremat organisatsioonilist koormust ja tootmishäireid?
3. Milliste juhtimis-, tootearendus- ja tarneahelaalaste tegevustega püüavad ettevõtted kriisiolukordades oma toimimissüsteemi säilitada või taastada?
4. Kuidas mõjutab ettevõtte positsioon väärtusahelas tema võimet kriisiolukordades riske juhtida ja tootmist stabiilsena hoida?

Töö eesmärgi täitmiseks ning uurimisküsimustele vastuste leidmiseks läbitakse järgmised uurimisülesanded:

- Määratleda globaalse väärtusahela mõiste ja anda ülevaadet elektroonikatoodete väärtusahelast.

- Käsitleda tüüpilise elektroonikatoote ülesehitust ja põhikomponente ja nende valikut tootearenduse käigus, üldisel ning võimalikult vähetehnilisel tasandil, et luua järgnevate teemade mõistmiseks vajalik taust.
- Kirjeldada tüüpilisi elektroonikatoote tootmise mudeleid ja nende rolle väärtusahelas.
- Kirjeldada erinevaid riske, mis on seotud elektroonikakomponentide või tootmismudelite valikuga
- Määratleda tüüpilised kriisid ja nende väljendumine elektroonikatootmisettevõtetes. Määratleda võimalused kriisikindluse tõstmiseks
- Kirjeldada organisatsioonilist koormust ja selle väljendumist ettevõtetes.

Tööstus on Eesti suurim majandussektor, tootes kolmveerandi Eesti ekspordist ja olles suurim tööandja Eestis. Seejuures moodustab elektroonikatööstus olulise osa sellest ja on innovatsiooni eestvedaja. Siiani on Eesti pigem olnud allhanke riik, kus suur osa elektroonikatootmisest tehakse teenusena välisettevõtetele. Eesmärk on liikuda väärtusahelas ülespoole ja arendada kohalikke tooteid, jättes selliselt rohkem väärtust koha peale. Elektroonikaööstus annab selle jaoks head võimalused, sest selle sektori eesmärk Eestis on arendada ja toota kõrgtehnoloogilisi seadmeid nii ekspordiks aga ka riigikaitsega seotud eesmärkidel. Kuna edu valem on tootearendusmeeskondade ja tootmisüksuste lähedus ja omavaheline koostöö, siis on Eestil hea positsioon väärtusahelas ülespoole liikuda. Seda nii Kaitsetööstuses, kui ka muudes elektrooniliste riistvaratoodete arendamises. Sest ka igasugune elektroonikaseadmete kasutus maailmas üldiselt laieneb tohutu kiirusega. Kuid kuna erinevaid tarneahelat häirivaid sündmusi esineb üha rohkem ja Eesti võimekus nii riigina, kui Eesti ettevõtete võimekus nende sündmuste juhtimiseks on minimaalne, siis et konkurentsipüsida, tuleb teadvustada nende kriiside olemust, võimalikke tagajärgi ja kasvatada ettevõtetes võimekust neid kriisitagajärgi ilma ülemääraselt organisatsiooni koormata lahendada.

Töö koostamisel kasutati abistavas rollis tehisintellektil põhinevat keelemudelit ChatGPT eelkõige keeleliseks toimetamiseks, struktureerimise toetamiseks ning vormistuslike soovitude saamiseks. Kõik töö sisuline pool, seisukohad ja järeldused on autori vastutusel.

1. ELEKTROONIKATÖÖSTUSE VÄÄRTUSAHELAS KRIISIKINDLUSE TAGAMISE TEOREETILISED ALUSED

1.1 Globaalsed väärtusahelad: Mõiste, struktuur ja arengusuunad

Üldjoontes elektroonikatööstust analüüsivas temaatikas Eestis käsitletakse väärtusahelat eelkõige elektroonikatootmise teenust pakkuvate ettevõtete (EMS) vaatenurgast, siis siin töös käsitletakse seda pigem juhtettevõtte vaatenurgast. Ehk ettevõtte, kes on kaubamärgi või toote omanik ja kes eelkõige ostab sisse teenusena oma toote koostamise.

Rahvusvahelises ärimaailmas kasutatakse sageli kahte terminit, mida sageli samastatakse. Need on väärtusahel ja tarneahel. Blanchard (2021) on sõnastanud tarneahela mõiste, kui tegevuste või protsesside seeria, mis hõlmab endas toote kogu materiaalsel elutsüklil – alates toote valmistamisest kuni tarbijani jõudumiseni. Ehk sisuliselt käsitletakse materjalide ja toodete ühest punktist teise liigutamist, eesmärgiga, et tarnijani jõuaks lõpuks lõpptood. Selle käsitlemise keskmeks on efektiivsus, kulude optimeerimine ja tarnekindlus.

Väärtuse definitsioone ärikirjanduses leiab mitmeid. Kuid üldiselt võib seda kirjeldada kui kliendi poolt saadud kasu, mille eest ta on valmis maksma ja selle kasu saavutamiseks tehtud ohverduste vahelist suhet. Teisisõnu tekib väärtus siis, kui kliendi saadav kasu (nt toote või teenuse väärtus), mille eest klient on valmis maksma ületab väärtuse loomiseks tehtud kulud, sealhulgas rahalised, aja jms kulud.

Tarneahela juhtimise kirjanduses rõhutatakse, et väärtus ei ole ainult toote omadus, vaid tekib kogu väärtusloomesüsteemi (disain, tootmine, logistika ja teenindus) tulemusel, kus iga protsess lisab lõppkliendi jaoks tajutavat kasu või vähendab kulusid ja ebakindlust. Seetõttu käsitletakse väärtust kui süsteemset nähtust, mis on seotud kogu protsesside ahela efektiivsuse ja tulemuslikkusega. (Rintamäki et al., 2007)

Väärtusahela defineerimiseks kasutatakse eelkõige Michael E. Porteri käsitust. Tema on üks mõjukamaid valdkonnaga seotud majandusteadlaseid, kes on kujundanud arusaamu ettevõtete suurimatest väljakutsetest konkurentsieelistest, äristrateegiatest ja tööstusharude analüüsist jpm. Tema käsitlus konkurentsistrateegiast ning väärtusloomest on laialdaselt kasutusel nii akadeemilises ja teaduskirjanduses.

(Porter, 1985) defineerib väärtusahelat kui ettevõtte tegevuste kogumit, mille kaudu luuakse kliendile väärtust. Väärtusahel kirjeldab organisatsiooni läbi omavahel seotud protsesside, kus iga tegevus lisab algsetele sisenditele väärtust ning millest kujuneb lõpptood. Mudelis eristatakse põhi- ja tugitegevusi: põhitegevused hõlmavad näiteks nii sissetulevat kui väljaminevat logistikat, tootmist, turundust ja müüki ning teenindust, samas kui tugitegevused (nt infrastruktuur, personalijuhtimine ja tootearendus ja ostutegevus) toetavad põhiprotsesside toimimist.

Väärtusahela analüüsi olulisus seisneb selles, et see võimaldab tuvastada, millistes ettevõtte tegevustes luuakse enim väärtust ning kus tekivad suurimad kitsaskohad, pakkudes seeläbi aluse konkurentsieelise suurendamiseks kas kitsaskohtade vähendamise, või eristumise läbi

Kuna Porteri nägemus käsitleb väärtuse loomist pigem ühe organisatsiooni sees, siis selleks, et analüüsida rohkem tootmise ja tootearenduse geograafilist ja organisatsioonilist hajutatust, mis on iseloomulik kaasaegsele tööstusele, siis seetõttu on väärtusahela kontseptsiooni vaja laiendada edasi globaalse väärtusahela (Global Value Chain, edaspidi GVC) suunal. mille valdkonna keskseks autoriks on majandusteadlane Gary Gereffi.

Gereffi (1994; 2005) laiendab väärtusahela analüüsi ettevõtte tasandilt rahvusvahelisele tasandile, käsitledes väärtuse loomist kui mitme organisatsiooni, riigi ja piirkonna vahelist koordineeritud süsteemi. Gereffi lähenemine keskendub küsimusele, kuidas väärtus jaotub erinevate osapoolte vahel globaalselt ning millised mehhanismid seda koordineerivad ja juhivad. Ehk Gereffi käsitluses ei ole väärtusahel pelgalt ettevõttesisene protsesside kogum, vaid rahvusvaheliselt killustunud tootmis- ja juhtimisvõrgustik, kus erinevad ettevõtted täidavad spetsialiseeritud rolle. Selle keskele tekib juhtiva ettevõtte (lead firm) roll, kes kontrollib lõppväärtust ja läbi erinevate tegevuste koordineerib väärtusahela erinevaid osi. Lead firm võib keskenduda näiteks tootearendusele, IP-le, brändile ja turu ligipääsule, samas kui tootmine ja muu madalama lisandväärtusega tegevused on sageli delegeeritud allhankijatele, kes võivad asuda erinevates maailma piirkondades

Globaalsed väärtusahelad kujutavad endast kaasaegse majanduse keskset toimimissüsteemi, mille kaudu toimub tootmine, väärtusloome ja rahvusvaheline kaubandus.

GVC käsitluse kujunemine on tihedalt seotud globaliseerumise etapiga, mida Baldwin (2016) kirjeldab kui tootmise “teist eraldumist”. Selle nähtuse käigus eraldusid tootmise erinevad etapid üksteisest ning liikusid geograafiliselt sinna, kus nende teostamine on kõige efektiivsem. Tulemuseks on rahvusvahelised tootmisvõrgustikud, kus erinevad väärtusahela etapid asuvad

erinevates riikides ja piirkondades ning mida ühendavad omavahel nii logistilised kui ka informatsiooni vood. Baldwin (2016) kirjeldab globaalsete väärtusahelate kujunemist protsessina, kus digitaalsete tehnoloogiate areng võimaldas teadmuse ja füüsilise tootmise geograafilise eraldumise.

Selline tootmise ümberpaiknemine lõi uue tööjaotuse, kus riigid ja ettevõtted spetsialiseeruvad konkreetsetele väärtusahela etappidele. Seejuures ei ole kõik etapid võrdsed väärtuse loomise seisukohalt. Suurem osa lisandväärtusest koondub tegevustesse, mis on seotud teadmiste, arenduse, innovatsiooni ja turu tundmisega. Need tegevused on omakorda eelkõige kogunenud arenenud piirkondadesse. Samas kui töömahukad tootmisetapid panustavad sageli väiksema osa lõppväärtusesse ja need tegevused on kogunenud ka pigem madalama tööjõukuluga piirkondadesse. (Mudambi, 2008) See viib olulise eristuse väärtuse loomise ja väärtuse omastamise vahel, mis on GVC analüüsi üks keskseid küsimusi.

Ka Kaplinsky ja Morris (2001) käsitleb rõhutatakse, et väärtusahelas osalemine ei tähenda automaatselt majanduslikku kasu, kuna veel üks parameeter, millest väärtuse jaotumine sõltub, on osapoolte võime genereerida mingisugust majanduslikku eelist (Economic rent). Väärtusahela käsitlus selgitab, kuidas loodav väärtus ja sellest saadav tulu jaotuvad erinevate tegevuslülide vahel, kus suurem osa majanduslikust kasust koondub neile, kes suudavad tekitada, võimendada, säilitada ja konkurentsi eest kaitsta mingisugust majanduslikku eelist. See majanduslik eelis võib tuleneda nii piiratud ligipääsust teatud ressurssidele kui ka tootearendusest ja innovatsioonist või piirkondlikust seadusloomest, tööjõuhinnast, ettevõttesisest võimekusest, ettevõttevahelistest suhetest jms. Tavaliselt pakuvad vähem arenenud riigid madalaid tööjõu- ja toorainekulusid ning jõukamad riigid, kes omavad kõrgelt haritud tööjõudu, panevad rõhku tootedisaini ja arendustegevusele. Üldjuhul aga on need eelised ajutised ja aja jookkul need konkurentsi toimed vähenevad. See jällegi suunab ettevõtteid ja ka riike ning piirkondi pidevalt uute lahenduste ja konkurentsieeliste otsimisele ja arendamisele.

Mudambi (2008) toob ka välja nn “naeratava kõvera” (smile curve) kontseptsiooni, mille kohaselt väärtusloome on kõrgeim väärtusahela alguses ja lõpus, samas kui tootmisfaasis on lisandväärtus madalam. See kontseptsioon on oluline GVC analüüsimisel, kuna see selgitab, miks tootmises osalemine ei pruugi tagada kõrget majanduslikku kasu. Selline väärtuse jaotumine rõhutab teadmiste ja innovatsiooni olulisust ning viitab vajadusele liikuda väärtusahelas kõrgema lisandväärtusega tegevuste suunas.

GVC käsitluses keskne roll väärtusahela juhtimisel (governance), see väljendab seda, kuidas ahelas osalevate ettevõtete tegevust koordineeritakse ja kontrollitakse ning kuidas määratakse, kes mida teeb, millistel tingimustel ja millise väärtuse osakaalu eest, ehk kuidas väärtus jaotub. See juhtimine kätkeb endas erinevaid mooduseid, kuidas ahelat kontrollida: Näiteks bränd, disain ja arendus, standardite kehtestamine, kompetentsi kontroll. Põhiroll ahela juhtimisel on juhtival ettevõttel (lead firm), kes koordineerib väärtusahela tegevusi ning määrab reeglid, mille alusel teised ahela liikmed tegutsevad. Juhtiv ettevõtte ei pruugi olla tootmismahult suurim osapool, kuid tal on kontroll mingi eelpool mainitud kriitiliste väärtuse üle. See loob olukorra, kus väärtusahela väiksemad või vähemväärtuslikumad osapooled sõltuvad juhtiva ettevõtte otsustest. (Kaplinsky ja Morris 2001) (Ponte & Sturgeon, 2014)

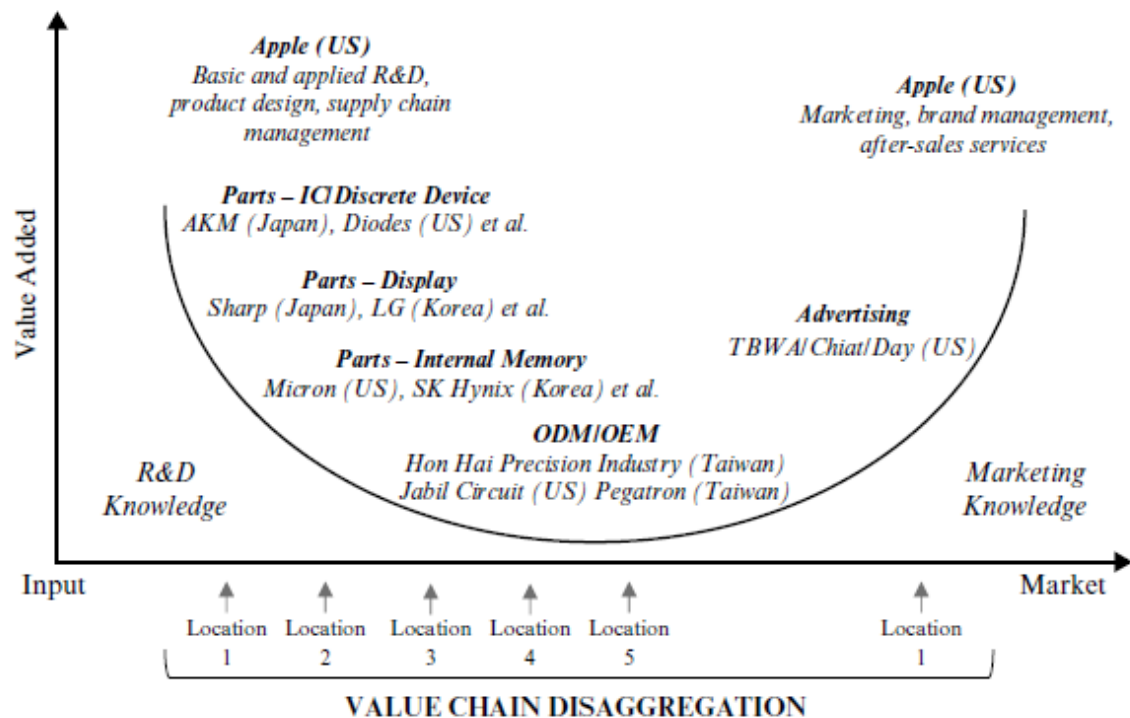
Gereffi, Humphrey ja Sturgeon (2005) eristavad viis peamist väärtusahela juhtimise vormi: turupõhine (market), modulaarne (modular), relatsiooniline (relational), captive ning hierarhiline juhtimine. Nende erinevus seisneb eelkõige selles, kui keerukas on edasiantav teadmine, kui standardiseeritavad on tegevused ning milline on tarnijate võimekus nõutud ülesandeid täita. Elektroonikatööstuses kasutatakse sageli modulaarset juhtimismudelit, kus juhtiv ettevõtte kontrollib süsteemi arhitektuuri ja standardeid, kuid tootmine toimub sõltumatutes EMS-ettevõtetes

Heaks näiteks on Apple globaalne väärtusahel.

Apple ei tooda enamikku oma seadmeid ise, vaid kasutab allhankedetaile ettevõtetest AKM, Sharp, LG. tootmispartnereid nagu Foxconn (Hoi Han), Jabil, Pegatron. Samas kontrollib Apple kogu ahela kõige olulisemaid osi nagu tootedisain ja arendus, tarkvara ja ökosüsteem, bränd ja turundus, standardid ja kvaliteedinõuded.

Kuigi eelpool mainitud tootjad tegelevad füüsilise tootmisega, toimub see rangelt Apple'i etteantud tingimuste alusel. See tähendab, et tootja otsustusvõime on suhteliselt piiratud ning ta ei oma kontrolli lõpptoodangu ega turu üle.

See näide illustreerib hästi GVC põhiolemust: kuigi tootmine võib toimuda teises riigis ja teise ettevõtte poolt, jääb väärtuse ja võimu koondumine sellele, kes kontrollib teadmispõhiseid ja raskesti kopeeritavaid tegevusi.



Joonis1. Apple'i „naeratav kõver“ väärtusahelas

Allikas: Gereffi (2019, lk 246).

Positsioon väärtusahelas ei pruugi olla jääv. Ettevõtte võib liikuda ka väärtusahelas ülespoole. GVC käsitluses kutsutakse seda upgrading'uks. Upgradingul võib olla mitu suunda. Näiteks keskenduda kulude vähendamisele ja tootmise efektiivistamisele, kuid see võib viia ka tugeva hinnakonkurentsi ja madala kasumlikkuseeni. Teine strateegia eeldab investeeringuid innovatsiooni ja kompetentside arendamisse, mis võimaldaks liikuda väärtusahelas kõrgema lisandväärtusega ja suurema kontrolliga positsioonidele, mis parandaks nende konkurentsivõimet. See suund on eriti oluline väiksemate majanduspiirkondade seas, kus väärtusahelas osalemine ei pruugi automaatselt tagada pikaajalist majanduskasvu. (Pietrobelli & Rabellotti, 2011) Apple'i väärtusahela väärtuse jaotumist kirjeldab joonis 1.

Kokkuvõttes võib globaalseid väärtusahelaid käsitleda kui kompleksseid ja dünaamilisi süsteeme, kus väärtusloome, jaotumine ja kontroll on omavahel tihedalt seotud. GVC raamistik võimaldab analüüsida mitte ainult tootmise organiseerimist, vaid ka majandusliku võimu jaotust ning edasisi arenguvõimalusi erinevate ettevõtete ja piirkondade jaoks.

1.2 Elektroonikakomponentide väärtusahel

Poole triljoni-dollariline elektroonikakomponentide tarneahel, on üks maailma kõige keerukamaid tarneahelaid üldse. Hõlmates mitmeid ettevõtteid ja tehnoloogiaid ja geograafilisi piirkondi. Ühe arvutikiibi tootmine koosneb sageli üle 1000 tootmissammust, mille käigus liigutakse üle rahvusvaheliste piiride sageli 70 või rohkem korda, enne kui kiip jõuab lõppkliendini. Olukorrad, mis mõjutavad kasvõi ühte selle ahela lüli, võivad kaasa tuua globaalse kriisi, mille kahju võib ulatuda kümnete miljardite dollariteni. Seetõttu on selle tarneahela mõistmine oluline nii poliitikakujundajatele, kui ka ettevõtjatele, kelle strateegiad või tooted sellest olenevad. (Khan, 2021)

Lihtsustatult koosneb elektroonikakiipide valmistamine järgmistest sammudest:

1. Disain. See etapp hõlmab sisuliselt kiibi nõuete ja arhitektuuri määramist ja disaini testimist ning valideerimist. Selleks kasutatakse spetsiifilisi disainisüsteeme ja tarkvarasid. Disainietapp moodustab umbes poole pooljuhtide lisandväärtusest, kuid nõuab ainult 10–15% investeeringutest.

Tootmine / Vabrik. Siin prinditakse eelnevalt disainitud elektronskeem räniplaadile. Tootmine hõlmab endas suurt hulka väga spetsiifilisi ja kapitalimahukaid tootmisprotsesse väga spetsiifiliste seadmetega, moodustades umbes neljandiku pooljuhtide lisandväärtusest, kuid see etapp nõuab peaaegu kaks kolmandikku investeeringutest.

Koostamine, testimine ja pakendamine. See etapp sisaldab plaatide lõikamist eraldi kiipideks, kiipide paigutamist raamidesse või vaigukestadesse ning kiipide testimist. Koostamine, testimine ja pakendamine on vähem oskusi ja teadmisi nõudev kui põhiülesvoolu etapid, moodustades ainult umbes 5% kiipide lisandväärtusest, kuid need nõuavad 10–15% investeeringutest. (Varas & Varadarajan, 2021).

Kiipide väärtusahela põhietapid paiknevad geograafiliselt erinevates piirkondades, kus igal piirkonnal on erinev roll ahelas vastavalt oma spetsiifikale. Ükski piirkond ei oma kontrolli kogu väärtusahela üle, vaid tootmissammud on jagatud erinevate riikide ja ettevõtete vahel, vastavalt nende kompetentsidele ja majanduslikele tugevustele. Selline geograafiline ja valdkondlik spetsialiseerumine on välja arenenud aastakümnete jooksul ja tänu sellele on pooljuhtide arendus ja tootmine saavutanud väga kõrge efektiivsuse ja innovatsioonitaseme.

Lisaks tähendab see seda, et kogu globaalne elektroonikatööstus sõltub rahvusvahelisest koostööst ja kaubandussuhetest. (OECD, 2023; Varas & Varadarajan, 2021).

Üldistades võib piirkondade rolli väärtusahelas iseloomustada alljärgnevalt:

- Ameerika Ühendriigid. USA-s toimuvad väärtusahela kõige teadusmahukamad tegevused. Siin arendatakse kiipide arhitektuur, disain. Lisaks arendatakse siin kiipide projekteerimiseks vajalikku disainautomaatika tarkvara (EDA). Lisaks arendatakse USA-s ka kiipide tootmiseks vajalikke tehnoloogiaid ja seadmeid. Ja kuna ka palju intellektuaalomandit on kogunenud USAsse, siis kõik see annab USA-le märkimisväärse mõju kogu väärtusahelas (Varas & Varadarajan, 2021; Khan, 2020)

Taiwan ja Lõuna Korea. Neis riikides keskendutakse spetsiifilisemate kiipide tootmisele. Ka siin on tootmine regiooniti jagunenud. Taiwanis toodetakse kõige keerukamaid, eelkõige loogikakiipe ja protsessoreid. Enamus CPU, GPU, AI-kiibid, nutitelefonides ja graafikakaartides kasutatavatest põhikiipidest toodetakse siin piirkonnas. Ehk näiteks Apple, AMD, Nvidia, Qualcomm saavad oma põhikiibid siit. Lõuna Korea on keskendunud rohkem mälude tootmisele: DDR, SSD, NAND jms. (OECD, 2023).

- Euroopa. Euroopa roll väärtusahelas on küll väiksem, kuid siiski strateegiliselt oluline. Euroopa on tugev pigem jõuelektroonika komponentides ja spetsiifilisemate kiipide tootmises, näiteks autotööstuse spetsiifilised kiibid ning sensor- ja signaalitöötluskiibid jms. Lisaks tuleb Euroopast ka teatud kiipide tootmiseks vajalikke seadmeid (Nt EUV litograafia). Samuti on Euroopa roll suur lihtsamate aluskomponentide tootmises. (Kleinhans & Baisakova, 2020)

- Hiina. Hiina roll pooljuht-kiipide väärtusahelas on viimastel aastakümnetel kiirelt kasvanud. Kuna Hiinas on tootmiskulud madalamad, aga tootmine on hästi arenenud, siis kiibitootmise seisukohast on Hiinasse kogunenud vähemväärtuslikud ning tööjõu ja tootmismahukamad protsessid, nagu koostamine, testimine ja pakendamine. Lisaks toodetakse Hiinas pigem lihtsamaid ja vanema tehnoloogia kiipe, mida kasutatakse autotööstuses ja tööstuselektronikas. Teisalt aga on Hiina kujunenud maailma suurimaks kiipide tarbijaks, seda põhjusel, et Hiina on suurim elektroonikatoodete tootmise keskus. Enamik nutitelefone, arvuteid jms. enimlevinud elektroonikaseadmeid koostatakse just Hiinas.

Hiina rolli kasvu on toetanud siseriiklik tööstuspoliitika ja investeeringud kiibi-

tootmisega seotud tegevustesse. Viimase kümnendi jooksul on riik suunanud palju investeringud kiipide tootmistehnoloogiate ja tootmisvõimsuste arendamisse, eesmärgiga vähendada sõltuvust imporditud kiipidest (CRS, 2021).

OECD raporti põhjal on tänu pooljuhtide väärtusahelale kasvanud märkimisväärselt kaubandussõltuvused. Aastatel 2020-2022 tuvastati OECD riikidel kokku 49 kaubandussõltuvust, millest 29 olid seotud Hiinaga. Võrreldes 2012-2014 perioodiga, on kaubandussõltuvuste koguarv kasvanud 53%. Eelkõige on sõltuvus kasvanud just pooljuht-komponentide osas. See viitab Hiina kasvavale rollile toodete koostamisele lisaks ka komponentide tarnijana. See asjaolu omakorda kasvatab riski võimalike tarnehäirete osas, mis võib realiseeruda ka mõne poliitilise kriisi või kaubanduspiirangu puhul. (U.S. Department of Commerce, 2022; OECD, 2025, lk33)

Selliste tootmisvõimsuste koondumine kitsasse piirkonda tähendab, et poliitilised pinged või looduskatastroofid võivad märkimisväärselt mõjutada ülemaailmset elektroonikatööstust. Ühelt poolt on kontroll kiipide väärtusahela üle muutunud majandusliku julgeoleku küsimuseks ja seetõttu USA ja Euroopa liit on hakanud rakendamata erinevaid meetmeid ning programme, et kasvatada enda tootmisvõimekust ja vähendada sõltuvust teistest piirkondadest. Lisaks rahvusvahelise tarneahela kasutamine, mis on üles ehitatud piirkondade majanduslikele tugevustele, aitab optimeerida tootmiskulusid ja hoida pooljuhtide hinda madalamal.

Kui mõni regioon peaks otsustama kogu väärtusahela üksnes enda juures üles ehitada, tähendaks see vähemalt 1 triljoni dollari suurust investeringut, ja selle tagajärjel tõuseb kogu turul müüdavate kiipide hind 35%-65%, mis mõjutab kõikide elektroonikatoodete hindu märkimisväärselt.

(SIA & BCG, 2021)

Elektroonikatööstuse väärtusahela järgmine samm kirjeldab süsteemi või trükkplaadikoostu ja toote koostamist. Tänu elektroonika arengule ja elektroonikatoodete laiale levikule, on nende tootmistehnoloogia viimastel aastakümnetel läbi teinud suure arengu, liikudes vertikaalselt tootmisstruktuuridelt hajutatud ja spetsialiseeritud tootmisüksusteni. Selline muutus on tingitud ühelt poolt globaliseerumisest ning kasvavavast hinna ja konkurentsivõimest ja teisalt toodete tehnoloogilisest keerukusest, mis on sundinud ettevõtteid ümber korraldama traditsioonilisi tootmispõhimõtteid. Varasemad tootmismudelid, kus toote omanikud vastutasid nii toote

arenduse, tootmise kui ka turustamise eest, ei olnud enam piisavalt efektiivsed. Seda eriti keerukate elektroonikatoodete puhul, kus tekkis vajadus spetsiifiliste tehnoloogiliste protsesside järele, mis eeldasid nende tehnoloogiate allhankimist ja neile tehnoloogiatele spetsialiseerunud partnerite kaasamist. (Barnes, Dai & Deng, 2000).

Suures pildis jagunevad tänapäevased elektroonika tootmismudelid kaheks. Kas tooteomanik toodab enda toodet ise või allhangib ta toote koostamiseks vajalikud teatud tehnoloogilised sammud või koguni kogu toote koostamise. Neist esimest mudelit nimetatakse Original equipment manufacturing (OEM) ja teine on Electronics Manufacturing Services (EMS) mudel. OEM id on ettevõtted, kes vastutavad toote kontseptsiooni, disaini, turunduse ja intellektuaalomandi eest. Traditsioonilises mudelis tegelesid OEM id ise ka kogu tootmisega, kuid tänapäevaste, keerukate elektroonikatoodete tootmine nõuab spetsiifilisi tootmistehnoloogiaid ja neid omada võib olla ressursimahukas ning ebamõistlik. EMS ide äri on pakkuda lepingulist tootmisteenust, sh PCB-de kokkupanekut jms. toote koostamisega seotud tegevusi. Lisaks komponentide hankimist, toodete testimist ning logistikateenuseid. Nende roll ei piirdu ainult allhanke teenusega, vaid ulatub ka tarneahela planeerimise ja operatiivse juhtimise valdkonda (Barrad & Valverde, 2020).

Sturgeon (2002) kirjeldab, et elektroonikatööstuses on paljud ettevõtted otsustanud eraldada kõrge lisandväärtusega tegevused nagu tootearendus ja äriarendus füüsilisest tootmisest. Selle tulemusel tekkisid spetsialiseerunud EMS-ettevõtted, kelle rolliks kujunes efektiivne tootmine, samas kui väärtusahela juhtimine jäi juhtivatele brändiettevõtetele.

Kuna EMS ettevõtted on keskendunud üksnes tootmisele, tarneahela juhtimisele ja nende efektiivistamisele siis on nad välja arendanud toimimissüsteemid, mis võimaldavad vähendada turule jõudmise aega (time-to-market), optimeerida tootmisprotsesse ja reageerida turumuutustele kiiremini kui traditsioonilised tootmisettevõtted seda suudaks. Seetõttu on EMS mudel OEM idele tänapäeval pigem strateegiline partnerlus, mis võimaldab OEM-il keskenduda kõrgema lisandväärtusega tegevustele, nagu tootearendus, müük ja turundus.

Ise oma toodete tootmine või nende andmine EMS ile allhankesse mõjutab oluliselt ettevõtte kulustruktuuri, riske ja konkurentsivõimet. Ise tootmise eeliseks on suurem kontroll toodete kvaliteedi ja tootmisprotsesside üle, võimaldades OEM il tootmist, aga toetada ka enda tootearendust. Selline lähenemine on oluline keerukate, pidevalt muutuvate, patenteeritud või kiiret innovatsiooni või muidu pidevat sekkumist nõudvate toodete puhul. Samas on sellel

udelil mitmed miinused ja riskid: suuremad investeeringukulud seadmetesse, suuremad riskid rahavoogudele ja suurem risk tarneahela häirete korral (Lahy, 2017).

EMS partneri kasutamine võimaldab vähendada esialgseid investeeringuid tootmisvõimekusse, kuna kasutatakse EMS-i tehnoloogiaid. Üldjuhul parandab EMS-i kaasamine tunduvalt tootmisefektiivsust ja kvaliteeti ning vähendab tarneahela kogukulusid, eriti kui EMS i kasutatakse suurte tootmismahdade puhul (Barnes et al., 2000).

Üks EMS partnerluse olulisemaid eeliseid on komponentide ostujõud, mis mõjutab otseselt toote hinnakujundust. EMS ettevõtted, kes teenindavad mitmeid OEM kliente, hangivad komponente suuremates mahtudes kui üksik OEMid, mis võimaldab saavutada soodsamaid hindu ja paremaid ostu ning maksetingimusi. Selline kulude vähenemine avaldub otseselt lõpptoodete marginaalides ja hindades (Lokanc, Olivetti & Tucker, 2021). Samuti on EMS idel tavaliselt rohkem arenenud haldus ja logistikasüsteemid, mis võivad vähendada inventari- ja transpordikulusid.

Lisaks aitab EMS mudel maandada tarneahela riske, mis tulenevad komponentide nappusest, geopolitiilistest olukordadest või muudest tarneahela katkestustest. EMS id, kellel on lai tarnijate võrgustik ja hästi juhitud tarneahelad, suudavad OEM idele pakkuda alternatiivseid lahendusi, mis vähendavad tootmise seisakute tõenäosust (Lokanc et al., 2021). Samuti võimaldab EMS paindlikult reageerida turumuutustele ning kohandada tarneahelat ja tööjõu vajadusi vastavalt nõudlusele.

Tõhus koostöö OEM i ja EMS i vahel ei piirdu tootmise delegeerimisega, vaid hõlmab pidevat koostööd, strateegilist planeerimist, tulemusmõõdikute määramist ja jälgimist ning tarneahela ja rahavoogude juhtimist. (Sharma, Srivastava & Gupta, 2021).

Autori seisukoht on, et Eestis kaasatakse EMS-e tootearendusse liiga hilja, kuid OEMi ja EMS-iga koostöö juba disainifaasis on kriitiline, sest enamik toote kuludest, tootmisvõimekusest ja tarneahela riskidest määratakse ära varajaste inseneriotsustega. Kui EMS on kaasatud algusest peale, saab rakendada DFM/DFA põhimõtteid (design for manufacturing/assembly), valida parema kättesaadavusega või standardsemad komponendid ning vältida lahendusi, mis on küll tehniliselt toimivad, kuid tootmises keerulised, kallid või ebastabiilsed. EMS-partner toob disainifaasi reaalse turuinfo komponentide saadavuse, hinnadünaamika ja alternatiivide kohta, mis aitab ennetada hilisemaid tarneprobleeme. Lisaks võimaldab varajane koostöö optimeerida testitavust, kvaliteedikontrolli ja sertifitseerimise nõudeid, vähendades ümbertegemise vajadust ning kiirendades toote turulejõudmist Seega ei

ole EMS disainifaasis pelgalt tootja rollis, vaid oluline sisend tootearenduse otsustesse, mis mõjutavad otseselt toote konkurentsivõimet, kulustruktuuri ja tarneahela vastupidavust.

Lisaks tuleb märkida, et kuna EMS mudel on üldjoontes efektiivsem ja suurema ostujõuga, siis seetõttu on sageli EMS-is tootmine soodsam, kui OEM seda enda juures teeks.

EMS mudel on tänapäeva elektroonikatööstuses üks alustalasid ja strateegiliselt väga oluline, pakkudes kulude optimeerimist, paindlikkust, ostujõudu, kiirust ja riskide hajutamist. Sellest tulenevalt on EMS partnerite kaasamine ja nende juhtimine olulise tähtsusega.

1.3 Elektroonikakomponentide valik tootearenduse käigus

Elektroonikaseade – seade, mis vajab töötamiseks elektrivoolu või elektromagnetvälja, ning seade selle voolu ja välja tekitamiseks, suunamiseks ning mõõtmiseks ja mis on mõeldud kasutamiseks pingel mitte üle 1000 V vahelduvvoolu ning mitte üle 1500 V alalisvoolu korral; (Riigi Teataja: Jäätmeseadus, paragrahv25)

Kaasaegsed elektroonikaseadmed koosnevad paljudest omavahel seotud komponentidest, alates lihtsatest passiivkomponentidest, nagu kondensaatorid ja takistid, kuni keerukate ränipõhiste integraallülitusteni (IC), mis võivad sisaldada funktsioone, näiteks digitaalloogikat, mälu ja toitehaldust. Need komponendid monteeritakse trükkplaadile (PCB), mis koosneb isoleerivast aluspinnast ning juhtradadest ja väljadest, mille külge komponendid joodetakse. (Englhard, 2025)

Pea kõik tänapäevased elektroonikaseadmed sisaldavad põhilise alamkoostuna sellist elektroonilist trükkplaadikoostu (PCBA-Printed circuit board assembly). See koost on peamine tegur, mis annab elektroonikatootele tema funktsionaalsuse. Tänu sellele sageli võrdsustataksegi elektroonikatootmist eelkõige trükkplaadi koostamisega.

Suures pildis jaguneb trükkplaadi koost komponentitüüpide järgi :

Trükkplaat, ja sinna peale paigutatud elektroonikakomponendid.

Elektroonikakomponendid jaotatakse üldiselt kahte põhikategooriasse: passiivseteks ja aktiivseteks komponentideks. Passiivsed elektroonikakomponendid ei tekita oma töö käigus energiat ega võimendust ning nende hulka kuuluvad näiteks takistid, kondensaatorid ja induktiivpoolid . Aktiivsed elektroonikakomponendid seevastu on võimelised genereerima energiat või tagama signaali võimenduse ning nende hulka kuuluvad transistorid ja diodid

Passiivsed elektroonikakomponendid on iga elektriahela kõige elementaarsemad ja lihtsamad komponendid ning moodustavad arvuliselt suurima osa tüüpilise trükkplaadi koostu kõikidest elektroonikakomponentidest. Ligikaudu kolmveerand kõikidest elektroonikakomponentidest on passiivsed komponendid. (Tan, 2016)

Aktiivsed elektroonikakomponendid on vooluahela elemendid, mis on võimelised signaale võimendama ning viima ahelasse täiendavat energiat. Nende tööks on üldjuhul vajalik väline toide ning nad võimaldavad elektronide voogu juhtida erinevate füüsikaliste mehhanismide

kaudu. Aktiivsete elektroonikakomponentide peamised tunnused on, et nad on mõeldud signaalide võimendamiseks ja nad käituvad mittelineaarselt. (Tan, 2016)

Trükkplaadid (printed circuit boards, PCB-d) on peaaegu kõigi elektroonikatoodete aluskomponent ning elektroonilised skeemid, seadmed ja kiibid on laotud ja üles ehitatud neile trükkplaatidele. Tavapäraseid mitmekihilised trükkplaadid koosnevad dielektrilisest alusmaterjalist, mis on mõlemalt poolt kaetud juhtiva vasest kihiga ning lamineeritud kõrge temperatuuri ja rõhu all. Juhtivale kihile kantakse keemiliselt mittereageerivad materjalid koos trükkmustriga, mille järel eemaldatakse üleliigne vask keemilise söövituse teel

Trükkplaadi alusmaterjaliks on enamasti leekkindel FR4, mis on komposiitmaterjal ning koosneb epoksiidvaigust, klaaskiust ja vaskfooliumist. (Nassajfar, 2021)

Kui vaadata tarneahela seisukohast, siis nii aktiiv-ja passiivkomponentidel kui ka trükkplaatidel on igaühel hankimisega seotud iseärasused:

- Trükkplaadid: Toodetakse spetsiaalselt vastavalt tellija spetsifikatsioonile ja joonistele. Neid valmistatakse spetsiaalsetes tehastes. Kõige rohkem Aasias, kus tootmine on kõige soodsam. Kuid trükkplaatide tootjaid on ka Euroopas, kuigi eelkõige nad on keskendunud väiksematele ja kiirematele partiidele. Eestis on hetkeseisuga 1 trükkplaatide tootja- Brandner OÜ

- Passiivkomponendid on riiulitooded ja neil on palju erinevaid tootjaid ja sama funktsionaalsuse ja pakendiga komponente saab mitme erineva tootja käest. Üldjoontes on passiivkomponentide hinnad kogu toote hinna osas marginaalsed.

- Aktiivkomponendid, on samuti riiulitooded, kuid erinevalt passiivkomponentidest on need sageli tootjaspetsiifilised ja sageli on nende tarnimine seotud erinevate hinna, koguse ja tarnekokkulepetega ning nende tarnekanalitele ei ole sageli alternatiivseid variante.

Spetsiifilisemad aktiivkomponendid on sageli võtmekomponendid, mis puudutavad toote funktsionaalsust. Nende kättesaadavus, hind ja tarneaeg mõjutavad kõige rohkem kogu toote hinda ja tarneaega. Tüüpiliselt on teatud osa neist ka võtmekomponendid ja kogu tootedisain on üles ehitatud nende komponentide ümber. Kui passiivkomponentide puhul on suhteliselt lihtne kasutada teiste tootjate alternatiive, siis aktiivkomponentide tarneprobleemide korral peab sageli kogu tootedisaini ümber tegema. Lisaks võivad teatud aktiivkomponendid olla ka väga valdkonnaspetsiifilised. Kui antud valdkond kasvab kiirelt, mis tarbib neid komponente rohkem, kui tootja toota jõuab, siis sageli teenindatakse väiksemaid kliente viimasena. Mis tähendab, et need võivad tootmisel pudelikaelaks jääda.

Kokkuvõtteks võib öelda, et disainis halvasti tehtud komponendivalikud võivad eskaleeruda väga suurteks probleemideks hilisemates etappides.

Elektroonikatooted võivad olla väga erineva kuju, suuruse, eesmärgiga. Kuid kõik need koosnevad komponentidest, mis jagunevad kõige laiemas mõttes selliselt, nagu eelpool kirjeldatud.

Tüüpilise elektroonikatööstustoote võtmekomponentide põhitüübid on kirjeldatud tabelis:

Komponendi tüüp	Funktsioon
Loogika (MCU / protsessor)	Juhib kogu seadme loogikat, suhtleb sensori- ja väljundmoodulitega, täidab kaitse- ja kontrollalgoritme
Toitehaldus	Stabiilse pinge loomine PCBA erinevatele osadele, akude või kondensaatorite laadimine
Lülitus / võimsus (MOSFET / transistorid)	Koormuste lülitamine, releede juhtimine, kaitselülituste juhtimine
Side / kommunikatsioon (sidekiibid / transiiverid)	Andmete saatmine ja vastuvõtt teiste süsteemide või võrkudega
Signaalide töötlemine (op-võimendid / analoogkiibid)	Mõõtesignaalide võimendamine, filtrid, analoogandurite töötlemine
Mälu (andmete salvestus)	Juht-tarkvara, seadistuste ja logide salvestamine
Andurid	Mõõdavad voolu, pinget, temperatuuri, magnetvälju, asendit, asukohta jne.

Joonis 2. Tüüpilise elektroonikatoote põhikomponentide ülesehitus

Allikas: autori koostatud Englhardi (2025) põhjal.

Vastavalt Varase jt (2021) sõnastusele, nimetatakse neid komponente kiipideks (Semiconductor-inglise keeles). Need komponendid on enamjaolt väga spetsiifilised ja annavad seadmele selle vajaliku funktsionaalsuse, et töödelda, salvestada ja edastada andmeid. Enamjaolt on neis komponentides veel omakorda miniatuursed elektroonikaskeemid, mis on kihiti erinevate juhtivate või isoleerivate materjalidega. Tänapäevased kiibid võivad olla üksnes mõne ruutmillimeetrise läbimõõduga, aga sisaldada miljoneid väikseid elektroonikakomponente.

Elektroonikatoodete arendamisel on komponentide valik üks tähtsamaid otsuseid, mis mõjutab otseselt toote funktsionaalsust, töökindlust, hinda ning maandab tarneahela riske. Elektroonikakomponendid on elektroonikasüsteemide peamised ehitusplokid ning nad määravad suurel määral toote toimivuse. Seetõttu käsitletakse komponentide valikut elektroonikaseadmete arenduses sageli tähtsaima inseneriotsusena (Wu et al., 2024).

Elektroonikakomponentide valik algab tavaliselt süsteemi eesmärgi ja arhitektuuri määratlemisest. Selle etapi käigus määratletakse süsteemi funktsionaalsed nõuded, nagu arvutusvõimsus, energiatarve, signaalitöötlusvõimekus ning kasutatavad sideprotokollid. Nende nõuete põhjal koostatakse süsteemi funktsionaalne plokkskeem, mis kirjeldab seadme peamisi funktsionaalseid alam-mooduleid ning nende omavahelisi seoseid. Funktsionaalne plokkskeem võimaldab inseneridel tuvastada peamised elektroonilised alamsüsteemid, mille jaoks tuleb valida sobivad võtmekomponendid ja neid toetavad alamkomponendid.

Komponentide valiku oluline osa on ka nendega seonduvate riskide ja nende toimumisparameetrite, töökindluse ja kvaliteedi hindamine. Elektroonikakomponentide parameetrid ja kvaliteet mõjutavad otseselt seadme töökindlust ning vale komponentide valik võib põhjustada rikkeid süsteemi hilisemas töös, lühemat eluiga või tootmisprobleeme. Seetõttu kasutatakse paljudes tööstusharudes komponentide valiku hindamiseks erinevaid riskianalüüsi meetodeid, mille eesmärk on hinnata võimalikke riske, mis võivad tekkida komponentide kvaliteedi, saadavuse või tehniliste omaduste tõttu (Wu et al., 2024).

Elektroonikatoodete arendamisel tuleks arvestada ka komponentide tarneahela iseärasuste ja riskidega. Elektroonikatööstus on tugevalt globaliseerunud ning paljude elektroonikakomponentide tootmine käib läbi piiratud arvus tehaste. See tähendab, et komponentide saadavust hilisemas etapis võivad mõjutada geopoliitilised tegurid, logistilised häired või tootmispiirangud. Need häired võivad põhjustada märkimisväärsed tootmisviivitusi või isegi peatada toodete tootmise. Kõige suurem risk tootmisettevõtetele on sellistes olukordades asjaolu, et iga elektroonikatoote peal võib käia kümneid või sadu erinevaid komponente. Igatüüpi puhul tehakse erinevaid hinna ja siduvuskokkuleppeid, ja võib tekkida olukord, kus ühe komponendiga tekib saadavusprobleem, kuid kõik teised komponendid tarnitakse vastavalt kokkuleppele ja tootjal ei ole võimalik neid tühistada. See tähendab, et tarnija ees tekib maksekohustus aga teisalt toodet toota ja müüa ei ole võimalik. See omakorda toob kaasa selle, et ettevõtte finantsid jäävad tema lattu kinni. Samuti jääb tootmisüksus tööta. Kui antud toote tootmiseks vajalikud ressursid moodustavad ettevõtte ressurssidest märkimisväärselt osa, siis tähendab see seda, et kui saadavusprobleem kestab isegi üksnes mõni

päev, ei ole ettevõttel oma tootmisressurssidega lihtne seda puudujääki korvata. Ehk iga selline saadavusprobleem ei tähenda tootmisettevõttele mitte saamata jäänud tulu, vaid suurt potentsiaalset kulu või koguni pankrotti.

Elektroonikakomponendid moodustavad elektroonikatoote tootmisest peamise osa. Elektroonikatööstusega seotud uuringud näitavad, et komponentide hankimine moodustab sageli suure osa ettevõtete kuludest. Mõnede hinnangute kohaselt võivad materjalide ja komponentide hankimisega seotud kulud moodustada 22–53% elektroonikatootjate kogukuludest (Sureeyatanapas et al., 2020).

Seetõttu peaks olema komponentide valik tihedalt seotud ka tarnijate valikuga. Elektroonikatootjad kasutavad tarnijate hindamiseks mitmeid põhimõtteid, näiteks komponentide kvaliteet, hind, tarnetäpsus ning tarnija tehniline pädevus ja tugi ja majanduslik usaldusväärsus. Lisaks hinnatakse ka tarnijate võimet reageerida võimalikele tarneahela häiretele.

Komponentide valikul peaks arvestama sageli ka komponentide elutsükli. Elektroonikakomponentidel on tavaliselt piiratud tootmistsükkel ning tootjad võivad lõpetada komponentide tootmise, kui need muutuvad tehnoloogiliselt vananenuks või kui nende tootmine ei ole enam majanduslikult otstarbekas. Selline olukord võib tekitada probleeme toodete pikaajalise tootmise või hoolduse korral. Sageli pakutakse välja ka uue komponendiversioon või asenduskomponent, kuid sageli ei pruugi see sobida üks ühele vana komponendiga ja seetõttu on vaja muuta ka tootedisaini.

Seetõttu peaks kasutama strateegiaid, mille eesmärk on vähendada sõltuvust üksikutest komponentidest või tarnijatest. Näiteks püüda kriitiliste komponentide jaoks leida alternatiivseid tarnijaid või kasutada standardiseeritud komponente, mida toodavad mitmed erinevad tootjad.

Näiteks kaitsetööstuse elektroonikatoodete arendamisel on komponentide valik sageli veelgi rangemalt reguleeritud. Kaitsetööstuses kasutatavad seadmed peavad sageli olema kõrgendatud töökindlusega ning nende tarneahel peab olema usaldusväärne ja kontrollitav. Seetõttu eelistatakse nende toodete disainis sageli komponente, mille tootmine toimub usaldusväärsetes riikides ning mille päritolu on võimalik täielikult jälgida ja tõestada.

Lisaks on paljud komponenditootjad oma komponentide kasutamisele peale pannud piirangu, mis keelab nende kasutamist kas sõja- või ka kaitsetööstustoodetes.

Komponendid jõuavad lõpptootjale Eestis üldjoones kahte peamist tüüpi tarnijatelt. Kas otse komponenditootjalt või läbi suurte edasimüüjate (distributor) Need edasimüüjad mängivad märkimisväärest rolli elektroonikakomponentide tarneahelas. Nemad nõ vahendavad komponente valmistajalt, aga üldjuhul lisavad ka mingit lisandväärtust. Nad annavad tootearendajatele ja tootjatele ligipääsu komponenditootjate võrgustikule ja nemad kujundavad peamiselt komponentide tarneahelat. Nad haldavad komponentide logistikat ja ladusid ja teevad lõpptootjatega tarne ja hinnakokkulepped. Nad jälgivad komponentide tootmist ja kasutamist ja vastavalt sellele suunavad logistikat, et komponendid ei hakkaks kuhjuma ladudesse, ent ei tekiks ka puudujääke. Lisaks pakuvad nad sageli tehnilist tuge ja nemad on peamised, kes kriiside puhul hakkavad esmajärjekorras lahendusi otsima, kuidas oma klientidele varustuskindlus taastada.

Igal komponendil ja komponenditüübil võivad olla erinevad kokkulepped lõpptooteni jõudmiseks. Mõni valmistaja on valmis oma komponente otse lõpptootjale müüma, mõni müüb üksnes läbi distributorite. Mõni tootja kasutab toodete müümiseks ühte kindlat distributorit, mõnel on mitmega edasimüügikokkulepped. Mõni müüb eeltellimuste alusel, mõni toodab ka lattu. Mõnede komponentide puhul hoiab distributor endal ladu. Mõni müüb läbi internetikeskkondade. Ehk variante on mitmeid. Sageli distributorite müügi ja maksetingimused ja ka hinnad on paremad, kui otse tootjalt ostes. Üldjoontes lõpptootja valib sealt sobivaima tarneahela primaarseks ja kui on alternatiivsed tarneahelaid mõnel komponendil- kas siis teisi distributoreid või muid müügikanaleid, siis need jäetakse varuks, kui peamise tarnekanaliga midagi juhtub.

Kui üldjoontes tarneahela riskide hindamisel saab võrrelda erinevaid tarnijaid ja tarneprobleemide korral tarnija asendada, siis elektroonikatootmises esineb sageli olukorda, kus teatud võtmekomponente hangitakse üksnes ühte tarneahelat mööda. Kas otse tootjalt või tootja-distributorilt. Ja antud juhul tarneriskide hindamisel ei saa riski maandamiseks tarnijaid vahetada, vaid riskide maandamine tuleb ära teha ühe tarnija raames.

Elektroonikakomponentide valik on keerukas protsess, mis hõlmab tehniliste, majanduslike ja logistiliste tegurite analüüsi. Õigete komponentide valik on kriitilise tähtsusega elektroonikatoodete töökindluse, tootmiskulude ja tarneahela vastupidavuse tagamisel. Oluline on välja tuua, et põhiline tarneahela riskidega seotud analüüs peaks olema tehtud tootearenduse käigus, mitte siis, kui toodet tootma hakatakse.

1.4 Elektroonikatööstuse väärtusahelate kriisidele vastupidavuse tagamine

Viimastel aastatel on globaalne majanduskeskkond olnud mõjutatud mitmest järjestikusest kriisist, mis on avaldanud otsest mõju tööstusele ja eelkõige elektroonikatootmisele. Eesti kui väike ja avatud majandusega riik on nende muutumiste suhtes eriti tundlik, kuna meie elektroonikatootmine sõltub suures osas imporditud komponentidest ning eksporditurgude toimimisest. Globaalsed väärtusahelad, millele Eesti elektroonikatööstus suuresti tugineb, on muutunud viimastel aastatel pigem ebastabiilsemaks ning see on toonud kaasa vajaduse juhtida tarneahelaid mitte ainult efektiivsuse, vaid ka vastupidavuse seisukohast. Allpool on väljatoodud mitmed näited viimastel aastatel elektroonikatööstust mõjutanud kriisidest, mis on täiesti erinevatest valdkondadest ja võib öelda, et riskianalüüsi seisukohast oleks neid olnud üksjagu keeruline ette näha. Hoolimata kriiside erinevast olemusest, avaldus nende mõju elektroonikatööstusele sarnaste mehhanismide kaudu: Teatud tootmiseks vajalikke komponente enam olemasolevatest tarnekanalitest kokkulepitud hinna või tarneajaga enam ei saa.

COVID-19 pandeemia oli esimene ulatuslik kriis, mis tõi laialdaselt esile tarneahelate haavatavuse. Pandeemia alguses katkestati tootmine mitmetes Aasia tootmispiirkondades, mis põhjustas viivitusi komponentide kättesaadavuses. Samal ajal muutus nõudlus – vähenes nõudlus traditsioonilistes tööstussektorites, kuid kasvas tarbeelektronikas ja digilahendustes. Uuringute kohaselt koges COVID-19 kriisi ajal kuni 94% tootmisettevõtetest tarneahela häireid (Deloitte, 2021). Eesti elektroonikatööstuses väljendus see tarneahela seisukohast komponentide hilinemises, tootmisgraafikute pidevas ümberplaneerimises ning raskustes klientidele lubatud tarneaegade täitmisel. Kuna sektor on tugevalt ekspordile suunatud, tähendas see otsest mõju ka müügitulule ja tarnekindlusele

COVID-19 kriisist välja kasvanud pooljuhtide kriis (komponendikriis) süvendas tarneahela probleeme veelgi. Kui majandus taastus, kasvas nõudlus elektroonika järele kiiresti, kuid tootmisvõimsus ei suutnud sellele järele tulla. Selle tulemusena pikenesid komponentide tarneajad tavapäraselt 8–12 nädalalt kuni 26–52 nädalani (McKinsey & Company, 2021). Autor puutus kokku korduvalt ka olukorraga, kus tarneajad lükati ka 100+ nädala peale. Eesti ettevõtete jaoks tähendas see olukorda, kus tootmine ei sõltunud enam ainult tellimuste olemasolust või tootmisvõimekusest, vaid kriitiliste komponentide kättesaadavusest. Praktikas väljendus see tootmise ajutistes seiskumistes, vajaduses osta komponente alternatiivsetest ja kallimatest kanalitest ning suuremate laovarude hoidmises, mis omakorda sidus ettevõtete

kapitali. Pooljuhtide kriisi ajal muutus tavapärane hankeloogika märkimisväärselt ning paljud ettevõtted hakkasid kasutama nn „forward buying“ ja „hoarding“ strateegiaid, kus komponente osteti ette suuremates kogustes kui tegelik vajadus eeldas. Sellise käitumise eesmärk oli maandada riski, et kriitilised komponendid muutuvad kättesaamatuks või nende tarneajad pikeneb kriitilise piirini. Mitmed uuringud on näidanud, et elektroonika- ja autotööstuse ettevõtted suurendasid teadlikult oma laovarusid ning ostsid komponente ette isegi hinnatõusu tingimustes, et tagada tootmise järjepidevus (McKinsey Global Institute, 2020). See tõi kaasa olukorra, kus nõudlus turul ei kajastanud enam ainult reaalsel tootmisvajadust, vaid sisaldas ka spekulatiivset komponentide kokkuostmisest tekkinud mahtu, mis omakorda süvendas kriisi ja pikendas tarneaegu veelgi. Ka Ivanov (2020) kirjeldab, et kriisiolukordades kipuvad ettevõtted optimeerimise asemel liikuma ellujäämisloogikale, mille tulemusena suureneb ületellimine ja tarneahela ebastabiilsus veelgi.

Sarnast käitumist täheldati laialdaselt ka pooljuhtide kriisi ajal, kus ettevõtted, kartes komponentide puudust, esitasid tellimusi mitmele tarnijale samaaegselt või tellisid komponente rohkem kui tegelik vajadus eeldas. See põhjustas nn „bullwhip effect“i, kus tarneahela ülemistes astmetes suurenes nõudluse kõikumine oluliselt ning tekitas täiendavat ebastabiilsust (Ivanov, 2020).

Selline nähtus on oluline ka käesoleva töö kontekstis, kuna see selgitab, miks komponentide kättesaadavus muutus kriisi ajal veelgi ettearvamatumaks ning miks ettevõtted olid sunnitud otsima alternatiivseid hankekanaleid või tegema disainimuudatusi. Need ettevõtted, kes suutsid leida kas alternatiivseid tarnekanaleid, isegi suurema hinnaga, või kes suutsid tänu ümberdisainimisele tootmist töös hoida, nautisid sel perioodil üksjagu suuri käibenumbreid.

2022 aastal alanud Venemaa sõda Ukrainas tõi kaasa uue kriisilaine, mille mõju avaldus Eesti elektroonikatööstuses peamiselt läbi energiakulude, toormaterjalide ja logistika. Energiakandjate hinnad tõusid järsult, mõjutades otseselt tootmiskulusid ja ettevõtete kasumlikkust (European Central Bank, 2022). Lisaks suurenes ebakindlus toormaterjalide, eelkõige metallide, kättesaadavuses ning kasvasid transpordikulud. Logistilised ahelad muutusid vähem prognoositavaks, mis tähendas, et ettevõtted pidid kohandama oma tootmisplaane, suurendama varusid ning otsima alternatiivseid tarnijaid. Samal ajal ilmnas, et ettevõtted, kelle tarneahelad olid geograafiliselt lühemad ja paiknesid Euroopa-siseselt, suutsid kriisiga paremini kohaneda ning mõnel juhul isegi oma turupositsiooni tugevdada.

Lisaks suuremahulistele kriisidele on elektroonikatööstust mõjutanud mitmed väiksemad, kuid siiski olulised häired. 2021. aastal blokeeris konteinerlaev Ever Given Suessi kanali, peatades ligikaudu 12% maailma kaubandusest (UNCTAD, 2021). Kuigi katkestus kestis vaid kuus päeva, põhjustas see mitmenädalasi viivitusi globaalsetes tarneahelates. Eesti ettevõtete jaoks väljendus see komponentide hilinemises ja tootmisgraafikute muutmises. Samuti on tarneahelaid mõjutanud erinevad looduskatastroofid, näiteks Islandi Eyjafjallajökulli vulkaanipurse, mis seiskas ajutiselt Euroopa lennuliikluse ja mõjutas ajakriitilisi tarneid (International Air Transport Association, 2010). Elektroonikatööstuses, kus kasutatakse sageli õhutransporti komponentide transportimiseks, tõi see kaasa täiendavaid viivitusi.

Viimastel aastatel on tarneahelaid mõjutanud ka Hiina tootmispiirkondade sulgemised COVID-19 leviku tõkestamiseks, mis pidurdasid tootmist ja logistikat globaalsetes sõlmpunktides (World Bank, 2022). Lisaks on korduvad sadamate ummikud ja tööseisakud, eriti USA läänerannikul, põhjustanud olulisi viivitusi Aasiast tulevas kaubavoos (U.S. Congressional Research Service, 2022). Samuti on üksikute tehaseõnnetuste, näiteks pooljuhtide tootmisega seotud tehasepõlengute, mõju ulatunud globaalsete väärtusahelateni, kuna tootmine on kontsentreeritud piiratud arvu tootjate kätte (McKinsey Global Institute, 2020).

Eesti elektroonikatööstuse eripära seisneb selles, et see on tugevalt seotud globaalse väärtusahelaga ning sõltub suurel määral imporditud komponentidest. OECD andmetel on ligikaudu 70–75% elektroonikakomponentide tootmisest koondunud Aiasse (OECD, 2021), mis tähendab, et Eesti ettevõtted sõltuvad pikast ja keerulisest logistikaahelast ning piiratud arvust tootmispiirkondadest. Selline struktuur muudab ettevõtteid haavatavaks ka kaudsete kriiside suhtes, mis ei pruugi otseselt Eestit mõjutada, kuid mille mõju kandub edasi läbi tarneahela.

Kõigi nende kriiside koostoime on toonud Eesti elektroonika- ja arendusettevõtetele kaasa mitmeid tagajärgi, sealhulgas suurenenud ebakindluse komponentide saadavuses, vajaduse hoida suuremaid varusid, kõrgemad sisend- ja transpordikulud ning raskused tarneaegade täitmisel. Lisaks on suurenenud organisatsiooniline koormus, kuna ettevõtteid peavad tegelema pidevate tarneprobleemide lahendamisega. Kuna Eesti ettevõtteid tegutsevad sageli rahvusvaheliste väärtusahelate osana, ei ole neil võimalik neid riske täielikult kontrollida, vaid nad peavad nendega kohanema.

Kokkuvõttes on viimaste aastate kriisid näidanud, et tarneahelate toimimine ei ole iseenesestmõistetav ning nende stabiilsus sõltub paljudest välistest teguritest. Eesti

elektroonikatööstuse puhul võimendab kriiside mõju tugev sõltuvus imporditud komponentidest, kõrge ekspordiosakaal ning piiratud mõju globaalsetele tarneahelatele. Samas on kriisid toonud esile ka võimalusi – ettevõtted, kes suudavad pakkuda stabiilsemat ja prognoositavamalt tarnet, võivad saavutada konkurentsieelise isegi ebastabiilses keskkonnas. Ka Christensen (1997) kirjeldab, et ebastabiilsel perioodil võivad väiksemad ja paindlikumad ettevõtted saavutada eelise võrreldes suurte ja jäikade organisatsioonidega, kuna nende otsustusprotsessid ja süsteemid on lihtsamini kohandatavad mistõttu nad on paindlikumad..

Väärtusahela võimet taluda häireid ja taastuda kirjeldatakse mõistetega resilentsus (taastumisvõime pärast kriisi) ja robustsus (võime säilitada toimimine kriisi ajal). Elektroonikatööstuses on need teemad muutunud eriti oluliseks just seoses COVID-19 pandeemia, geopoliitiliste pingete ning strateegiliste geo- ja tööstuspoliitikate muutustega (Miroudot 2020)

Globaalsete väärtusahelate varasem areng on põhinenud eeskätt efektiivsuse maksimeerimisel, mis on väljendunud tootmise geograafilises kontsentreerumises, kulude minimeerimises ja varude minimeerimisel ja „just in time“ põhimõtete järgimises tarneahelates. Selline korraldus on küll suurendanud kuluefektiivsust, kuid samal ajal vähendanud süsteemi vastupidavust (Gereffi, 2020). Elektroonikatööstuse puhul on see toonud kaasa kriitilise sõltuvuse piiratud arvul tootmis- ja tehnoloogilistest võimekustest, eelkõige Aasias.

Hiljutised globaalsed kriisid ja poliitilised olukorrad on toonud esile väärtusahelate haavatavused ning käivitanud ulatusliku arutelu nende ümberkujundamise vajaduse üle (Miroudot, 2020; Baldwin & Freeman, 2022). Poliitikakujundajad ja ettevõtted on välja tulnud mitmete erinevate strateegiatega, mille eesmärk on suurendada väärtusahelate vastupidavust ja loomulikult omada suuremat kontrolli nende üle. Nende hulka kuuluvad tarneahelate geograafiline hajutamine, strateegiliste tootmistehnoloogiate arendamine, tootmise regionaliseerimine või tagasitoomine (*reshoring*), samuti suuremate varude hoidmine ja mitme tarnija kasutamine.

Sams Baldwin ja Freeman 2022 analüüsivad globaalsete väärtusahelate riske ning nende mõju majanduslikule vastupidavusele. Autorid väidavad, et avalikus arutelus kiputakse ahelate haavatavust sageli ülehindama, kuna keskendutakse üksikutele kriisidele, nagu COVID-19 pandeemia või Ukraina-Venemaa sõda. Nad soovivad pigem käsitleda tarneahelaid portfelliteooria loogika kaudu, kus hajutatus võib hoopis vähendada koguriski. Nad rõhutavad,

et kriisid globaalsetes väärtusahelates ei ole ainult riskid vaid ka mehhanismid, mis võimaldavad efektiivset restruktureerimist. Empiiriliselt leitakse, et tarneahelate tegelik risk sõltub rohkem struktuurset kontsentratsioonist, kus mingi kriitiline tootmine on koondunud ühte piirkonda kui geograafilisest kaugusest. Samuti näidatakse, et nähtavad otsesed sõltuvused ei pruugi peegeldada kogu süsteemi tegelikku haavatavust. Autorid järeldavad, et laiapõhjaline tootmise tagasitoomine (reshoring) ei pruugi suurendada vastupidavust, kuid samas võib vähendada efektiivsust. Lisaks on rõhutatud, et resilientsuse suurendamise eesmärgile suunatud poliitikad võivad kaasa tuua ka negatiivseid kõrvalmõjusid, nagu kulude kasv ja efektiivsuse vähenemine, ilma et süsteemi tegelik vastupidavus proportsionaalselt suureneks). Seetõttu ei pruugi väärtusahelate ümberkorraldamine olla edukas protsess, vaid pigem kaasnevad sellega uued riskid

Seetõttu ei ole poliitika soovitusena pigem globaliseerumise vähendamine, vaid pigem lokaalsel ja ettevõtete tasandil tarneahelate läbipaistvuse, mitmekesistamise ja riskijuhtimise parandamine. Aga soovitatakse ka tugevdada töötajate ja juhtide oskusi, et nad suudaks kriisides paremini hakkama saada, parandada digitaalset infrastruktuuri, et võimaldada ka töötamist kriisiolukorras. Tagada valmisolek anda finantstoetusi vastavate sektorite ettevõtetele ja töötajatele, et šokkide ajal likviidsusprobleeme leevendada. Piirata olulisemate strateegiliste ja kontsentreeritud sektorite välisriikide suuremat sõltuvust, toetades innovatsiooni ja vajadusel osalist tootmise lähemale toomist. Jälgida tasakaalu majanduse efektiivsuse ja riskijuhtimise vahel, vältides liigseid tootmise ümberkorraldusi, mis võivad kahjustada konkurentsivõimet. (OECD 2022)

Kokkuvõttes võib järeldada, et elektroonikatööstuse globaalsete väärtusahelate resilientsus kui ka robustsus on küll viimaste kriiside tulemusel suurenenud, kuid see ei ole toonud kaasa olulist fundamentaalset struktuurset muutust väärtusahelate toimimises.

Kriisiriskide juhtimisel muutub oluliseks ka tootearenduse ja operatiivse tarneahela seos. Christopher ja Holweg (2011) rõhutavad, et kaasaegsed tarneahelad nõuavad tasakaalu efektiivsuse ja paindlikkuse vahel, kus kriisikindlus ei saa olla eraldiseisev tegevus, vaid peab olema integreeritud süsteemi disaini juba varases faasis. See tähendab, et paljud kriisiriskid ei teki mitte tootmis- või tarnefaasis, vaid on määratud juba varasemate strateegiliste valikutega.

Sellest tulenevalt on tootearenduse faas kriisiriskide seisukohalt üks olulisemaid mõjutuskohti, kuna seal kujunevad välja toote arhitektuur, komponentide sõltuvused ning võimalikud alternatiivsed lahendused. Siin on keskne roll modulaarsusel ja komponentide ühtlustamisel,

mida Steven K. Fixson (2005) käsitleb kui strateegilist disaini- ja juhtimisvalikut, mitte pelgalt tehnilist omadust. Tema käsitluse kohaselt võimaldab modulaarne tootearhitektuur jaotada süsteemi iseseisvateks komponentideks, mille vahelised standardiseeritud liidesed loovad võimaluse komponentide asendamiseks ja süsteemi ümberkonfigureerimiseks ilma terviklahendust ümber disainimata. See tähendab, et kriisikindlus ei ole mitte ainult operatiivne või organisatsiooniline tegevus, vaid see on otseselt sisse ehitatud tootearenduse varajaste otsuste kaudu, mis määravad ära ettevõtte sõltuvused kogu väärtusahelas.

Üks näide sellisest olukorrast: Kaks suurt mobiiltelefonide tootjat Ericsson kui ka Nokia seisis silmitsi kriitilise võtmekomponendi, raadiosageduskiibi, puudusega pärast seda, kui 2000. aasta märtsis süttis põlema üks võtmetarnija tehas New Mexico (Philip'i pooljuhtide tehas). Ericsson reageeris kriisile aeglaselt ja oli oma tootedisaini ehitanud üles nii, et kiibile alternatiivlahendust ei olnud. Ja läbi selle kaotati 400 miljonit eurot müügitulu. Seevastu Nokia kavandades oma mobiiltelefonid modulaarse tootedisaini kontseptsiooni alusel ning disainis sama kiibi asendatavaks, ja tal oli võimalus hankida sama funktsiooniga kiipe mitmelt tarnijalt. Pärast Philip'i tarnehäirest teada saamist reageeris Nokia viivitamatult, kohandades oma mobiilide disaini nii, et muudetud seadmed suudaksid kasutada veidi erinevaid kiipe Philip'i teistest tehasest ning teistelt tarnijatelt. Selle tulemusena suutis Nokia rahuldada tarbijanõudlust sujuvalt ning tugevdas oma turupositsiooni. (UCLA Anderson School of Management, n.d.)

Tootearhitektuuri käsitletakse kui seost funktsionaalsete elementide ja füüsiliste komponentide vahel ning nendevaheliste liideste struktuuri, mis määrab ära, kui modulariseeritud või integreeritud on toode ning kui lihtsalt on hilisemas elutsükli võimalik komponente asendada või süsteemi ümber konfigureerida (Ulrich, 1995; Ulrich & Eppinger, 2016). Sellest tulenevalt kujundavad tootearenduse varajased otsused otseselt tulevase tarneahela struktuuri ning selle haavatavust, kuna need määravad nii komponentide sõltuvusstruktuuri ja sellest tulenevalt ka võimalike komponendiasenduste ja läbi selle ka tarnijate vahetatavuse ulatuse.

Seda perspektiivi toetab Fine (1998), kelle "Clockspeed" raamistik rõhutab, et tootearhitektuur, tootmisprotsess ja tarneahela konfiguratsioon peavad olema omavahel kooskõlas, kuna nende elementide dünaamiline sobimatus loob süsteemseid riske. Kui tootearenduses valitakse arhitektuur, mis eeldab kõrget spetsialiseeritust ja kitsast tarnijate baasi, kuid tarneahel ei ole piisavalt paindlik, tekib olukord, kus ettevõtte võime reageerida häiretele on piiratud juba disainitasandil. Seetõttu ei saa tarneahela riske käsitleda pelgalt väliste kriiside ja olukordade tagajärjena, vaid neid tuleb vaadelda kui osaliselt disaini iseärasust .

Tootearhitektuuri mõju tarneahela riskidele on detailsemalt käsitletud ka tootearendust ja modulaarsust käsitlevas kirjanduses.. Fixson (2005) rõhutab, et modulaarsus ei ole üksnes tehniline disainipõhimõte, vaid strateegia, mis mõjutab organisatsiooni võimet standardiseerida komponente ning suurendada asendatavust tarneahelas ja läbi selle vähendades tarneriske. Seega on tootearhitektuuri valik disainifaasis otseselt seotud tarneahela riskiprofiiliga, kuna see määrab, kui kergesti on võimalik süsteem häirete korral ümber disainida.

Oluline aspekt tootearenduse ja tarneahela seostes on ka komponentide kriitilisuse kujunemine. Tang (2006) toob esile, et tarneahela risk ei tulene üksnes väliskeskkonna ebakindlusest, vaid paljuki ka sisemistest disainiotsustest, nagu komponentide spetsifikatsioon, tootedisain, standardiseerituse tase ja komponendivalmistajate ja tarnijate valik. Kui toode sisaldab komponente, millel on piiratud asendatavus või mille tarnijate arv on väike, muutuvad need komponendid tarneahela kriitilisteks kitsaskohtadeks. Chopra ja Sodhi (2004) rõhutavad sarnaselt, et just sellised kitsaskohad suurendavad tarneahela haavatavust ning muudavad häirete mõju ebaproportsionaalselt suureks.

Sellest tulenevalt kujuneks tootearenduse varajases faasis sisuliselt otsustuskoht, kus on võimalik ära määrata, kas tulevane riskijuhtimine põhineb operatiivsetel otsustel ja puhvritel või hoopis paindlikul disainilahendustel. Ühelt poolt on võimalik maandada riske läbi strateegiliste varude ja paindlike hankestrateegiate, mis võimaldavad absorbeerida ajutisi tarnehäireid. Teisalt on võimalik vähendada riskide tekkimise tõenäosust juba disainifaasis, suurendades komponentide standardiseeritust, modulaarsust ning asendatavust, mis võimaldab hilisemat ümberlülitumist alternatiivsetele tarnijatele või komponentidele (Christopher & Peck, 2004; Tang, 2006). Nende kahe lähenemise vahel kujuneb praktiline kompromiss, mis sõltub nii tehnoloogilistest piirangutest kui ka strateegilistest prioriteetidest, kuludest, kuid eelkõige juhtimisotsusest.

Sellest tulenevalt saab väita, et tarneahela vastupidavus kujuneb tootearenduse varajaste arhitektuursete ja hilisemate organisatsiooniliste otsuste koosmõjus. Tootedisainis tehtud otsused määravad suurel määral tarneahela paindlikkuse ning selle, millised riskid muutuvad süsteemselt kriitiliseks. Seetõttu on tootearenduse algfaas käsitletav olulise sekkumispunktina, kus disainivalikute kaudu on võimalik juba eelnevalt kujundada vastupidavust ja vähendada hilisemat sõltuvust puhtalt operatiivsetest kriisimeetmetest.

Kokkuvõtvalt tuleb arvestada, et vaatamata globaalse väärtusahela järjest kasvavale volatiilsusele ning Eesti ettevõtete piiratud võimekusele seda oluliselt mõjutada, ei ole

vastupidavus kriisidele üksnes nende väliste tegurite poolt määratud. Kohalike elektroonikatootearendusettevõtete puhul võiks kujuneda kriisikindlus süsteemina, milles on keskendutud nii vastupidavusele, aga ka robustsusele, milles tootearenduse faasis tehtud disainiotsuseid võiks käsitleda kui strateegilisi otsuseid. Neid võiks täiendada organisatsiooniline valmisolek, kriisiplaanid, targad tarnijasuhted, strateegilised puhvrid ja muud targad riskide maandamise lahendused. Kuigi sellised ettevõtted ei suuda mõjutada globaalse väärtusahela struktuuri, saavad nad teadlike sisemiste valikute kaudu vähendada sõltuvust üksikutest kriitilistest lülidest ja läbi selle oluliselt suurendada oma vastupidavust kriisidele.

Globaalses väärtusahelas paiknevad ettevõtted ei ole võrdses positsioonis ei väärtuse loomise ega selle juhtimise mõttes. Eesti kontekstis, kus tootearendusettevõtted on maailma mastaabis väikesed, esineb sageli olukord, kus nad tegutsevad küll väärtusahela kõrgema lisandväärtusega etappides (nt disain, arendus või süsteemiintegratsioon), kuid neil puudub võimekus mõjutada tarneahela struktuuri või partnerite käitumist. See tekitab olukorra, kus formaalselt kõrge positsioon väärtusahelas ei tähenda tegelikku kontrolli süsteemi toimimise üle, eriti kriisiolukordades. Sellises keskkonnas kujuneb keskseks küsimuseks, kuidas kompenseerida piiratud mõjuvõimu teiste meetoditega

Oluliseks teguriks on organisatsiooniline valmisolek. Ambulkar jt (2015) toovad välja, et ettevõtte võimekus kriisidele reageerida sõltub mitte ainult protsessidest, vaid ka juhtide ja töötajate kompetentsist ning nende võimest tegutseda ebakindlates tingimustes. Oluline on kasvatada võimet ette näha, reageerida ja taastuda häiretest, mis eeldab nii oskuseid riske juhtida kui ka operatiivset otsustusvõimekust. Boin ja Lagadec (2000) rõhutavad, et kriisijuhtimise võimekus ei teki iseenesest, vaid vajab teadlikku arendamist läbi koolituste, ettevalmistuse. Väikeste ettevõtete puhul on see eriti oluline, kuna otsustusõigus on sageli koondunud vähestele inimestele ning nende ettevalmistus ja valmisolek määravad otseselt organisatsiooni reaktsioonikiiruse.

Lisaks organisatsioonilisele valmisolekule on kriisiriskide maandamisel oluline roll eelnevalt kavandatud kriisiplaanidel ja strateegilistel puhvritel. Sheffi ja Rice (2005) näitavad, et ettevõtted, kellel on olemas selged kriisistsenaariumid ja tegevusplaanid, suudavad katkestustest kiiremini taastuda ning vähendada nende majanduslikku mõju. Viimastel aastatel on paljud ettevõtted juurutanud erinevaid LEAN ja konsolideerimis põhimõtteid, mis kriisiolukorras hoopis vähendavad ettevõtte võimet reageerida. Pigem aitavad strateegilised puhvrid, nagu varud, ajapuhvrid või alternatiivsed tootmisvõimekused, mida LEAN defineerib

sageli kui raiskamisi, vähendada sõltuvust toimivast tarneahelast ja selle häiretest. Samas on tegemist teadliku kompromissiga, kuna need meetmed vähendavad lühiajalist efektiivsust, kuid suurendavad organisatsiooni vastupidavust (Allikas: Leanway.) (Tang, 2006). Ka Womack ja Jones (1996) kirjeldavad LEAN-tootmist kui süsteemi, mille eesmärk on vähendada raiskamist ja varusid kogu väärtusahelas. Kuigi selline lähenemine suurendab efektiivsust, võib see samal ajal vähendada süsteemi võimet absorbeerida tarnehäireid.

Eelkõige nähakse kriisi sageli kui välist sündmust – näiteks tarneahela katkestust, geopoliitilist konflikti või nõudluse järsku muutust, mis mõjutab lõpuks ettevõtte tegevust. Käesolevas töös lähtutakse aga lähenemisest, mille kohaselt ei ole kriis ettevõtte jaoks mitte sündmus ise, vaid selle sündmuse tagajärgedest tulenev koormus, millega organisatsioon peab toime tulema. Just see lisatöö- organisatsiooniline koormus, määrab, kas ja kui edukalt ettevõtte suudab kriisiolukorras toimida. Seega nihkub fookus kriisi põhjustelt organisatsiooni sisemisele võimekusele: määravaks ei saa mitte häire ise, vaid see, kui suure koormuse selle tagajärgede lahendamine organisatsioonile tekitab ja kas organisatsioon suudab neid tagajärgi hallata.

Organisatsiooniline koormus viitab olukorrale, kus märkimisväärne osa ettevõtte ressurssidest – eelkõige ajast, tähelepanust ja juhtimisvõimekusest – kulub operatiivsete probleemide lahendamisele, selle asemel, et keskenduda planeeritud ja otseselt väärtust loovatele tegevustele. Kriisiolukorras väljendub see vajaduses töödelda suures mahus informatsiooni, teha kiireid otsuseid ning koordineerida tegevusi mitme osapoole vahel. Probleem ei pruugi olla näiteks komponendi puudus iseenesest, vaid see, kui palju lisatööd, suhtlust ja otsustuskoormust selle puuduse lahendamine kaasa toob. Kui see koormus ületab organisatsiooni tegeliku juhtimis- ja koordinatsioonivõimekuse, hakkab süsteemi toimimine alla käima.

Simon (1962) käsitles keerukaid süsteeme kui omavahel seotud alamsüsteemide kogumeid, mille juhtimine muutub järjest raskemaks, mida keerulisemaks muutub süsteem. Sellistes süsteemides ei teki probleemid sageli üksikutest vigadest, vaid süsteemi osade sõltuvuste kuhjumisest, mis suurendab koordineerimis- ja juhtimisvajadust.

Selline koormus ei pruugi kajastuda otseselt finantsnäitajates, kuid avaldub kaudselt läbi madalama efektiivsuse, pikemate tarneaegade, suurema stressi organisatsioonis ning piiratud võimekusena tegeleda arenduse ja strateegiliste tegevustega. Kirjanduses käsitletakse seda nähtust erinevate mõistete kaudu, nagu “tulekahjude kustutamine” või „firefighting” ja “hidden factory”, mis viitavad olukorrale, kus organisatsioon tegeleb pidevalt probleemide

lahendamise ja suur osa tööst toimub väljaspool planeeritud protsesse (Miller & Vollmann, 1985; Repenning, 2001).

Tootmissüsteemide kontekstis väljendub organisatsiooniline koormus sageli nähtamatu tööna, mis on seotud vigade parandamise, ümbertöötamise, täiendava koordineerimisega ja ebastandardsete lahenduste otsimisega. Miller ja Vollmann (1985) kirjeldavad seda kui “varjatud teha”, kus märkimisväärne osa ressurssidest kulub tegevustele, mis ei suurenda otseselt tootmiskahtu, kuid on vajalikud süsteemi toimimise säilitamiseks mingis planeerimatus olukorras. Sarnast nähtust on täheldatud ka tootearenduse kontekstis, kus operatiivsete probleemide kuhjumine viib olukorran, kus organisatsioon keskendub ettenägematute probleemide lahendamisele, mitte nende juurpõhjuste lahendamisele (Repenning, 2001). Kriisitingimustes see efekt võimendub, kuna probleemide arv ja kiirus kasvavad hüppeliselt

Organisatsiooniline koormus on tihedalt seotud süsteemi keerukuse ja omavaheliste sõltuvustega. Keerulistes toodetes ja süsteemides on erinevad komponendid ja protsessid omavahel seotud, mistõttu ühe elemendi muutus või probleem võib kanduda ahelreaktsioonina üle kogu süsteemi. Modulaarsuse teooria käsitleb seda seost läbi sõltuvuste vähendamise: mida rohkem on süsteem modulaarne, seda vähem on vaja komponentide ja osapoolte vahelist koordineerimist (Baldwin & Clark, 2000). Vastupidiselt tähendab tihedalt seotud ehk integraalne süsteem suuremat koordineerimisvajadust ning seeläbi ka suuremat organisatsioonilist koormust. Perrow (1984) kirjeldab selliseid süsteeme kui “tihedalt seotud” (tightly coupled) süsteeme, kus väikestel häiretel võib olla ebaproportsionaalselt suur mõju kogu süsteemi toimimisele. Elektroonikatööstuse globaalsed tarneahelad vastavad sageli sellele kirjeldusele, kuna ühe komponendi probleem võib halvata kogu süsteemi.

Modulaarsuse ja organisatsiooni vahelist seost kirjeldab ka nn “mirroring hypothesis”, mille kohaselt tehnilised sõltuvused tootes peegelduvad organisatsiooni struktuuris ja suhtlusmustrites (Colfer & Baldwin, 2016). See tähendab, et kui toode on üles ehitatud paljude omavahel sõltuvate komponentide kaudu, peab ka organisatsioon tegema rohkem koostööd, suhtlema tihedamalt ning koordineerima rohkem tegevusi. Selline seos on oluline ka tarneahela kontekstis, kuna tehnilised sõltuvused kanduvad edasi tarnijatevahelisteks sõltuvusteks, suurendades kogu süsteemi haavatavust häiretele. Kriisilukorras väljendub see otseselt organisatsioonilise koormuse kasvuna.

Tarneahelate seisukohast on näha, et süsteemi keerukus ja häired võivad põhjustada nn “ripple effect’i”, kus ühe komponendi või tarnija probleem levib läbi kogu tarneahela ja põhjustab ulatuslikke viivitusi ning lisakulusid (Ivanov, Dolgui, & Sokolov, 2014; Ivanov, 2020). Selline mõju ei ole pelgalt ühe osakonna poolt lahendatav logistiline probleem, vaid suurendab otseselt kogu organisatsioonilist koormust, kuna ettevõtte peab tegelema alternatiivsete lahenduste leidmise, tootmise ümberplaneerimise ning klientide ootuste juhtimisega. Lisaks on kirjeldatud nn “bullwhip effect’i”, kus nõudluse kõikumine võimendub tarneahelas, põhjustades ületellimist, varude kasvu ning täiendavat ebastabiilsust (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997). Ka see nähtus väljendub praktikas organisatsioonilise koormuse kasvuna, kuna nõuab pidevat süsteemi korrigeerimist ja probleemide lahendamist.

Tootedisaini roll organisatsioonilise koormuse kujunemisel on seetõttu kriitiline. Disaini käigus tehtud otsused määravad ära, kui sõltuv on toode üksikutest komponentidest, kui lihtne on neid komponente asendada ning kui paindlik on tootmis- ja tarneahel. Kui toode on disainitud viisil, kus kasutatakse unikaalseid komponente või üksikuid tarnijaid, suureneb risk, et tarneahela häired põhjustavad tootmise seiskumise. Sellisel juhul ei avaldu probleem mitte ainult tarneahelas, vaid kogu organisatsioonis, kuna tuleb kaasata täiendavaid ressursse probleemide lahendamiseks – ehk suureneb organisatsiooniline koormus.

Vastupidiselt võimaldab modulaarsem ja standardiseeritum disain vähendada sõltuvusi ning seeläbi ka organisatsioonilist koormust. Modulaarsed süsteemid loovad võimalusi komponentide vahetamiseks, tarnijate mitmekesistamiseks ning tootmise paindlikumaks korraldamiseks. Lisaks võimaldavad need hajutada riske ning reageerida kiiremini muutustele turul ja tarneahelas. Selline lähenemine ei vähenda ainult tehnilisi riske, vaid mõjutab otseselt ka organisatsiooni toimimist, vähendades vajadust pideva operatiivse sekkumise järele ka kriisiolukordades.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et kriisi mõju organisatsioonile ei määra mitte niivõrd kriitiline sündmus ise, vaid selle tagajärgede lahendamisega kaasnev organisatsiooniline koormus. See koormus on tihedalt seotud tootedisaini, tootmise ja tarneahela eelneva ülesehitusega. Kui süsteem on keerukas ja sõltuv üksikutest komponentidest või tarnijatest, suureneb vajadus koordineerimise, probleemide lahendamise ja juhtimisressursside järele. Vastupidi, hästi läbimõeldud disain ja tarneahela ülesehitus võimaldavad seda koormust vähendada ning suunata organisatsiooni ressursid väärtust loovatesse tegevustesse ka keerulistel aegadel. Mis olemuselt ongi juba kriisivastupidavus.

2. JUHTUMIUURINGU METOODILINE RAAMISTIK

2.1 Uurimismetoodika ja juhtumiuuringute valik

Käesolevas magistritöös kasutatakse kvalitatiivset juhtumiuuringu meetodit, mille eesmärk on analüüsida, kuidas elektroonikatooteid arendavates ja tootvates ettevõtetes kujunevad tarneahela ja tootedisainiga seotud riskid, kuidas need kriisiolukordades avalduvad ning millised tegurid mõjutavad ettevõtete võimekust nende häiretega toime tulla. Uuritavad olukorrad on mitmekihilised ning tihedalt seotud ettevõtete kompetentsi, töökorralduse, juhtimisvõimekuse ja otsustusprotsessidega. Lisaks mõjutavad ettevõtete toimimist erinevad välised tegurid, mille üle ettevõtetel puudub otsene kontroll, nagu globaalsed tarnehäired, komponentide saadavuse probleemid või kiire nõudluse muutus. Selliste olukordade mõju ei ole võimalik üheselt hinnata pelgalt kvantitatiivsete meetoditega, kuna võrreldavate ettevõtete, toodete ja olukordade täielik kattuvus on praktikas harvaesinev. Seetõttu keskendub magistritöö uurimuslik pool samas taustsüsteemis sarnaste ettevõtete ja situatsioonide võrdlemisele, et hinnata, kuidas erinevad juhtimisotsused, tarneahela ülesehitus, tootedisaini valikud ning ettevõtte positsioon väärtusahelas mõjutavad organisatsiooni vastupidavust kriisiolukordades. Analüüsi eesmärk ei ole luua universaalset mudelit kõikidele ettevõtetele, vaid mõista, kuidas sarnastes tingimustes tehtud erinevad otsused võivad mõjutada ettevõtte võimekust säilitada tootmine ja toimimine ja reageerida erinevatele häiretele. Uurimuslik osa käsitleb ettevõtteid, kes tegelevad elektroonikatoodete arendamisega ning on jõudnud faasi, kus nende toodetele on tekkinud kasvav turunõudlus. Sellises olukorras muutub kriitiliseks ettevõtte võimekus suurendada tootmismahu, säilitada tarnekindlus ning kindlustada oma positsioon väärtusahelas enne konkurentide turule sisenemist. Paralleelselt tootmismahude kasvatamisega toimuvad ettevõtetes sageli ka pidevad arendustegevused, mis suurendavad organisatsiooni keerukust ning sõltuvust tarneahela toimimisest. Ettevõtteid mõjutavad samaaegselt nõudluse kõikumine, tarnijatega seotud probleemid, komponentide puudus ning globaalsetest kriisidest tulenevad häired, nagu COVID-19 pandeemia ja ülemaailmne komponentide kriis. Lisaks võivad erinevate tööstussektorite kiired kasvuperioodid mõjutada komponentide saadavust ning pikendada tarneaegu kogu väärtusahela ulatuses. Sellised olukorrad põhjustavad ettevõtetes finantsilisi ja organisatsioonilisi pingeid, mis võivad mõjutada nende võimekust säilitada tootmise järjepidevus, täita klientide nõudlust ning jätkata samaaegselt tootearendustegevustega. Uurimusliku osa eesmärk on anda erinevate situatsioonikirjelduste kaudu ülevaade kriisiolukordadest, ettevõtete tegevustest ja nende tulemustest ning hinnata

nende põhjal ettevõtete kriisitoimimise võimekust. Analüüsi keskmes ei ole üksnes välised kriisid või tarnehäired, vaid eelkõige küsimus, miks mõned ettevõtted suudavad sarnaste häirete tingimustes säilitada toimimisvõime ja tootmise järjepidevuse, sama ajal kui teistes ettevõtetes põhjustavad samad häired ulatuslikke tootmisprobleeme, organisatsioonilist ülekoormust ning raskusi ettevõtte strateegiliste eesmärkide saavutamisel.

Uurimismeetodina kasutatakse juhtumiuuringut (case study), mida defineeritakse kui empiirilist uurimismeetodit, mis uurib kaasaegset nähtust selle reaalses kontekstis, eriti olukordades, kus nähtuse ja konteksti piir ei ole selgelt eristatav (Yin, 2014). Käesolevas töös on uuritavaks nähtuseks ettevõtete võime toime tulla tarneahela häiretega ning kontekstiks elektroonikatoodete arendus- ja tootmiskeskond või ettevõtte.

Juhtumiuuringu eesmärk on uurida konkreetset nähtust, protsessi või olukorda selle tegelikus kontekstis võimalikult terviklikult. Juhtumiuuringu puhul ei keskenduta üksnes üksikutele mõõdetavatele näitajatele, vaid püütakse mõista uuritava nähtuse kujunemist, selle taustategureid ning erinevate osapoolte kogemusi ja tõlgendusi (Yin, 1994). Meetod sobib hästi olukordadesse, kus uuritav probleem on keerukas, mitmetahuline ning seotud reaalse tegevuskeskkonnaga.

Juhtumiuuringu tugevuseks on võimalus käsitleda uuritavat nähtust tervikuna, arvestades samaaegselt nii organisatsioonilisi, tehnilisi kui ka inimlikke tegureid. Stake'i (1995) järgi võimaldab juhtumiuuring mõista, kuidas inimesed konkreetseid olukordi kogevad, tõlgendavad ja neile reageerivad. Seetõttu kasutatakse juhtumiuuringut sageli uurimustes, kus on oluline mõista protsesside tegelikku toimimist ning osapoolte praktilisi kogemusi.

Ka Freebody (2003) kirjeldab, et kvalitatiivse juhtumiuuringu keskmes on enamasti inimeste kogemused, tähelepanekud ja tõlgendused uuritava nähtuse kohta. Ja kvalitatiivse uurimise eesmärk ei ole ainult nähtuste kirjeldamine, vaid ka nende tähenduste mõistmine osalejate vaatenurgast. Sellest tulenevalt ei keskendu juhtumiuuring üksnes sellele, mis juhtus, vaid ka sellele, kuidas osapooled olukordi tajusid, milliseid probleeme nad märkasid ning milliseid järeldusi või teadmisi kogemuste põhjal kujunes.

Juhtumiuuringus kasutatakse üldjuhul mitut erinevat andmeallikat, et saada uuritavast nähtusest võimalikult terviklik ülevaade. Yin (1994) toob välja, et olulisteks andmeallikateks võivad olla intervjuud, vaatlused, dokumendid ning osalejate kirjeldused ja kogemused. Käesolevas töös põhineb empiiriline osa peamiselt uuritavate osapoolte kogemusi ja näiteid analüüsides. Selline lähenemine võimaldab paremini mõista, kuidas uuritavad nähtused avalduvad tegelikus

ettevõtluskeskkonnas ning kuidas erinevad osapooled neid tajuvad ja tõlgendavad.

Juhtumiuuringu puhul on oluline, et uurija ei piirduks ainult ühe vaatenurgaga. Erinevate osapoolte kogemuste võrdlemine võimaldab tuvastada korduvaid mustreid, probleeme ja seoseid ning aitab vähendada ühepoolsete tõlgenduste mõju. Stake'i (1995) järgi suurendab erinevate vaatenurkade kasutamine uurimistulemuste usaldusväärsust ning aitab kujundada terviklikumat arusaama uuritavast nähtusest.

Oluline roll on ka uurija tõlgendusoskusel. Kvalitatiivses uurimises ei ole uurija pelgalt neutraalne andmete koguja, vaid osaleb paratamatult kogutud informatsiooni tõlgendamises ja seoste loomises (Freebody, 2003). Seetõttu peab uurija säilitama kriitilise lähenemise ning analüüsima kogutud materjali süsteemselt ja läbimõeldult. Samuti tuleb arvesse võtta võimalikke alternatiivseid tõlgendusi ning vältida olukorda, kus tähelepanu pööratakse ainult uurija esialgseid eeldusi toetavatele näidetele.

Andmete analüüsimisel kasutatakse juhtumiuuringus sageli mustrite võrdlemise meetodit. Yin'i (1994) järgi seisneb selle meetodi eesmärk teoreetiliste käsitluste ja empiirilistes juhtumites ilmnevate mustrite võrdlemises. Analüüsi käigus otsitakse korduvaid seoseid, sarnaseid kogemusi ja tüüpilisi probleeme, mis erinevates juhtumites esinevad. Selline lähenemine võimaldab teha üldisemaid järeldusi ka siis, kui uurimus põhineb peamiselt kvalitatiivsel materjalil ja osapoolte praktilistel kogemustel.

Tankler (2005) rõhutab samuti, et juhtumiuuringu puhul on oluline käsitleda uuritavat nähtust võimalikult terviklikult ning võtta arvesse kogu uurimuse seisukohalt oluline informatsioon. Juhtumiuuringu eesmärk ei ole üksnes üksikute sündmuste kirjeldamine, vaid erinevate tegurite vaheliste seoste mõistmine ja uuritava nähtuse laiem tõlgendamine.

Kokkuvõttes võimaldab juhtumiuuring uurida keerukaid protsesse nende loomulikus keskkonnas ning siduda teoreetilised käsitlused praktiliste olukordadega. Meetod sobib hästi olukordadesse, kus uurimuse eesmärk on mõista osapoolte kogemusi, tähelepanekuid ja tõlgendusi ning nende põhjal kujunenud mustreid, seoseid ja nende põhjal tehtud järeldusi

Käesoleva töö autor töötas ettevõttes, mis tegutseb elektroonikatootmise teenusepakkujana (EMS). Autori töö oli seotud klientide projektide, tarneahelate ja tootmise korraldamisega, mis andis ligipääsu erinevate elektroonikat arendavate ettevõtete (OEM-ide) toodete, disainiotsuste ja tarneahelate toimimisele ja on andnud võimaluse lähedalt jälgida nende tegevuste ja otsuste mõju ning nende seotust ettevõtete käekäiguga.

Oluline eripära võrreldes tava-EMS-idega seisneb selles, et antud ettevõtte töötab nii alustavate ja kasvavate ettevõtetega kui ka väljakujunenud ettevõtetega, peamiselt Eestist ja

Skandinaavlast. See võimaldab jälgida ettevõtete arengut ajas ning hinnata nii nende kasvu kui ka liikumist väärtusahelas- alates varajasest tootearendusest kuni suuremahulise tootmise ja paika loksunud tarneahelani. Varajases faasis sõltuvad ettevõtted suurel määral oma partneritest, sealhulgas EMS-ist, kes korraldab tootmise ja tarneahela. Ettevõtte kasvades võib suureneda tema kontroll tarneahela üle ning väheneda sõltuvus üksikutest tarnijatest. Siit tuleb ka ühisosa-kuna erinevad ettevõtted tegutsevad sama tootmispartneri kaudu, on võimalik võrrelda nende lähenemisi sarnases keskkonnas ning hinnata, millised otsused mõjutavad nende võimet toime tulla tarneahela häiretega ja kriiside taustal enda tegevust säilitada või isegi kasvatada. Uurimuses kasutatakse mitme juhtumi võrdlevat analüüsi (multiple-case study), mille eesmärk on tuvastada korduvad mustrid erinevate ettevõtete käitumises (Yin, 2014). Üksikjuhtumid ei võimalda teha laiapõhjalisi järeldusi, kuid mitme juhtumi võrdlus pakub võimalust üldisemate seoste tuvastamiseks.

Kuna tegemist on reaalse töökeskkonnaga, ei ole kõiki mõjusid võimalik täpselt kvantifitseerida. Eelkõige kehtib see täpsete kulutatud ressursi ja samuti summade kohta, mis on seotud probleemide lahendamisega ning kajastuvad ettevõtetes üldkulude (overhead) all. Sellest hoolimata on võimalik hinnata nende kulude suurusjärku ning mõju organisatsiooni toimimisele. Samuti ei ürita me hinnastada saamata jäänud äri.

2.2 Juhtumiuuringute analüüsiraamistik

Töö empiirilises osas analüüsitakse nelja erinevat juhtumit, mis kõik käsitlevad elektroonikat arendavate ja tootvate ettevõtete kokkupuudet erinevate väärtusahela häirete ja kriisiolukordadega. Kuigi juhtumid erinevad nii toodete, ettevõtete kui ka kriiside olemuse poolest, kasutatakse nende analüüsimisel ühtset raamistikku, mis võimaldab juhtumeid omavahel võrrelda ning tuvastada nende vahel sarnaseid süsteemseid mustreid. Need mustrid ei ole käsitletud täpsete kvantitatiivsete näitajatena, vaid analüütiliste kategooriatena, mis aitavad väljendada ja struktureerida juhtumite omavahelist võrdlust.

Juhtumite analüüsimisel keskendutakse järgmistele aspektidele:

- Ettevõtte või toote peamised süsteemsed sõltuvused;
- Väärtusahelas avaldunud häire või saadavusprobleemi olemus;
- Häire mõju tootmisele ja tootmisvõimekusele;
- Häire mõju organisatsioonile ja organisatsioonilise koormuse kujunemisele;
- Süsteemi algne paindlikkus ning sõltuvus üksikutest komponentidest, tarnijatest või protsessidest;
- Juhtimise, tootearenduse ja tarneahela vahelise koostöö roll kriisiolukorras;
- Tegevused, mille abil püüti süsteemi paindlikkust taastada;
- Kriisi lõpptulemus süsteemi toimimise seisukohalt.

Analüüsi eesmärk ei ole kirjeldada üksikuid tarneahela probleeme, vaid mõista, kuidas tootearenduse, juhtimise ja tarneahela omavaheline koostöö mõjutab ettevõtte kriisikindlust.

Juhtumite võrdlemisel lähtutakse eeldusest, et erinevad kriisid võivad avalduda sarnaste süsteemsete mehhanismide kaudu. Käesolevas töös käsitletakse kriisi eelkõige olukorrana, kus väärtusahelas tekib mingit tüüpi saadavusprobleem - näiteks komponentide, tootmisvõimekuse või organisatsioonilise võimekuse piiratus, mille tagajärjel suureneb organisatsiooniline koormus ja äritegevus saab mõjutatud.

Juhtumite analüüsiraamistik on toodud välja tabelis 2:

Analüüsitav aspekt	Kirjeldus
Toote ja väärtusahela kirjeldus	Milline oli toode, tootmismudel ja ettevõtte roll väärtusahelas
Süsteemne jäikus või sõltuvus	Milline oli tehniline, tarneahela või organisatsiooniline sõltuvus süsteemis, mille tulemusel tekkis häire
Kriisi või häire avaldumine	Milline väline sündmus häire tekitas
Mõju tootmisele	Kuidas häire mõjutas tootmist, kvaliteeti või tarnet
Mõju organisatsioonile	Kuidas muutus ja väljendus organisatsiooniline koormus häire tagajärjel
Süsteemi paindlikkust taastav tegevus	Milliseid tegevusi kasutati ettevõtte toimimissüsteemi toimimise taastamiseks või häirekindluse suurendamiseks
Juhtimise ja disaini koostöö etapp	Kas, kuidas ja millal hakkasid juhtimisotsused, tootearendus ja tarneahel koos toimima
Tulemus	Kas ettevõtte toimimissüsteem muutus jäigemaks või paindlikumaks
Peamine järeldus	Mida see sündmus kriisikindluse kohta näitab

Tabel 2. Juhtumite analüüsiraamistik

Allikas: autori koostatud.

3. EESTI ELEKTROONIKATÖÖSTUSE KRIISIKINDLUSE TAGAMISE JUHTUMID

3.1 Juhtumiuuring 1. Paindliku tootedisaini mõju kriisikindlusele

Tegu on kiiresti kasvava IoT-seadmeid arendava ettevõttega 1, mille peamiseks tegevusvaldkonnaks oli elektriliste kergliikurite ja haldusseadmete arendamine. Tegemist oli tüüpilise tootearendusettevõttega, mille peamine kompetents seisnes elektroonika- ja tarkvaraarenduses, kuid mille tootmine ja suurem osa tarneahela juhtimisest toimus partnerite kaudu. Sellises mudelis tegutses ettevõtte väärtusahelas nn lead firm'i rollis, kontrollides tootearendust ja kliendisuhteid, kuid sõltudes tootmise ja komponentide hankimise osas EMS-partnerist. Sellist juhtiva ettevõtte rolli globaalses väärtusahelas on kirjeldanud Gereffi (1994; 2005), kelle käsitle kohaselt kontrollib lead firm väärtusahela kriitilisemaid osi, samas kui tootmine ja osa operatiivsetest tegevustest delegeeritakse teistele osapooltele.

Analüüsitud juhtum käsitleb IoT-seadme tootmist koostöös kliendiga, kus tööjaotus oli EMS äris tavapärane: klient vastutas toote disaini ja komponentide valiku eest ning antud ettevõtte tegeles komponentide hankimise ja tootmisega. Toote arhitektuur oli üles ehitatud ühe konkreetse kommunikatsioonimooduli ümber ning lisaks kasutati tootmises spetsiifilist valumaterjali.

Probleemid ilmnesisid tugevamalt globaalse komponendikriisi ajal, kui mitmete komponentide saadavus halvenes ja tarneajad pikenesid märkimisväärselt. Kaks peamist pudelikaela olid kommunikatsioonimoodul ja valumaterjal. Isegi ühe komponendi puudumisel seisis tootmine täielikult.

Tüüpiline tootmismahd oli ligikaudu 10 000 toodet partiis, mille tootmine võttis umbes 2 kuud. Ühe toote müügihind oli ligikaudu 80 eurot ehk ühe partii väärtus oli ligikaudu 800 000 eurot. Seisakute pikkus varieerus kahest nädalast kuni ühe kuuni. Kui eeldada, et kuu aja jooksul oleks toodetud ligikaudu pool partiist, tähendab see umbes 400 000 euro väärtuses toodangu edasilükkumist.

Kommunikatsioonimooduli puhul püüti probleemi alguses lahendada tarneahela tasandil, otsides komponente alternatiivsetest allikatest ja ostes neid väiksemates kogustes kõrgema hinnaga. See võimaldas tootmist ajutiselt jätkata, kuid tekitas probleeme nii ostuprotsessides, laos kui ka hinnastamises, kuid hiljem tehti juhtide ja tootearendusinseneride koostöös otsis ja

muudeti tootedisaini selliselt, et võimalik oli kasutada teise valmistaja alternatiivset moodulit. See pealtnäha lihtne ja loogiline otsus ei toonud kaasa otsest hinnavõitu, kuid vähendas tarneaga ligikaudu kahe kuu võrra ning vähendas sõltuvust ühest komponendist. See oli piisav, et viia tootmine normaaltingimustele ja tarneprobleemid kadusid. Seda toetab ka Fixsoni (2005) modulaarsuse käsitus, mille kohaselt suurendab modulaarne arhitektuur komponentide standardiseeritust ja asendatavust ning vähendab sõltuvust üksikutest tarnijatest.

Valumaterjali puhul sõltuti algselt ühest tarnijast, kelle tarnekindlus oli madal. Alternatiivina oli võimalik materjali osta väikestes kogustes, kuid ligikaudu kaks korda kõrgema hinnaga. See tähendas, et iga toodetud partii omahind kasvas märgatavalt. Siinkohal ei olnud võimalik alternatiivset materjali kasutada. Probleem lahendati disainimuudatusega, mille tulemusena loobuti spetsiifilisest materjalist ja kasutati uut konstruktsioonilist lahendust, kus valumaterjal asendati spetsiaalse tihendatud korpusega.

Tang (2006) tõi välja, et tarneahela risk ei tulene üksnes väliskeskkonna häiretest, vaid ka ettevõtte sisemistest otsustest, nagu näiteks komponendi- ja materjalivalikust. Kui toode kasutab spetsiifilist materjali, millel on üks põhitarnija, muutub see materjal süsteemseks kitsaskohaks. Seetõttu oli valumaterjalist loobumine mitte ainult tootmistehniline muudatus, vaid ka tarneahela riskiprofiili muutmine.

Lisaks seostub see eelpool mainitud käsitlusega, mille järgi määravad varajased disainiotsused ära, kui lihtsalt on hiljem võimalik komponente asendada või süsteemi ümber konfigureerida. Ulrichi (1995) ning Ulrichi ja Eppingeri (2016) järgi ei ole tootearhitektuur ainult tehniline lahendus, vaid määrab ära toote füüsiliste komponentide, funktsioonide ja liideste seosed. Kui kriitiline funktsioon on seotud ühe konkreetse komponendi või materjaliga, kandub selle komponendi tarnerisk otse kogu toote tarneahelasse.

Lisaks otsestele mõjudele tekkis märkimisväärne kaudne kulu, mida ettevõtted sageli kliendipõhiselt ei mõõda. Enne disainimuudatusi tegelesid mõlema osapoole juures probleemide lahendamise kokku ligikaudu 8 inimest, kellest mitmed olid kummagi organisatsiooni osakondade juhid ja vastutasid ka arendustegevuse eest. Hinnanguliselt kulus nende peale kokku umbes 20 töötundi nädalas. See kulu ei kajastunud otseselt toote hinnas, kuid mõjutas mõlema organisatsiooni efektiivsust.

Lisaks otsesele materjalikulule avaldasid seisakud mõju ka tootmiskuludele. Seisakute järel tuli tootmismahu taastamiseks kasutada rohkem tööjõudu, sageli ületundide arvelt. See tõstis tööjõukulu ning muutis tootmise planeerimise keerulisemaks. S heffi ja Rice (2005) käsitluses on sellised kulud tüüpilised kaudsed kriisikulud, mis ei pruugi kajastuda otse toote omahinnas, kuid vähendavad organisatsiooni efektiivsust. Nende käsitluses on tarneahela katkestuste mõju

sageli suurem kui otsene tootmiskadu, kuna katkestused seovad juhtimisressurssi, tekitavad täiendavat koordineerimist ning vähendavad organisatsiooni võimet tegeleda arenduse ja kasvuga.

Oluline on märkida, et mõlema probleemi puhul oli tegemist olukorraga, kus tootmine seisis täielikult ühe komponendi puudumise tõttu, samal ajal kui ülejäänud materjalid olid olemas. See tähendab, et raha oli seotud laovarudes, kuid müügitulu ei tekkinud.

Lisaks ei suudetud tarnida hankes kokkulepitud aegadel, mis põhjustas ka leppetrahve.

Chopra ja Sodhi (2004) mainivad oma töös, et tarneahela haavatavus suureneb eriti olukorras, kus kogu süsteem sõltub ühest kriitilisest komponendist.. Käesolevas juhtumil ilmnes sama loogika, praktiliselt ühe komponendi või materjali puudumine ei vähendanud tootmistahtu osaliselt, vaid peatas kogu tootmise.

Juhtum näitab, et üheainsa komponendi saadavusprobleem võib peatada kogu tootmise ning tekitada märkimisväärse finants- ja organisatsioonilise mõju. Samuti näitab see, et osa probleemidest oli seotud varasemate disainiotsustega ning neid ei olnud võimalik lahendada ainult tarneahela tasandil. Oluline oli välja tuua ka ettevõtte juhtimisotsust kaasata insenerid pealtnäha tootmispartneri juures tekkinud tarneahelaprobleemi lahendusse ja seda probleemi analüüsides selgus, et pigem ei olnudki tegu üksnes tarneahelaprobleemiga. See tõi kaasa sama lähenemise ka mitmele teisele komponendile, kuid üksnes nende kahe olukorra viimine tarneahela juhtimisega seotud probleemist disainiprobleemiks andis suure mõju ettevõtte kriisikindlusele.

Samas ei ole tegemist universaalse lahendusega, vaid ühe juhtumiga, mida võrreldakse järgmistes peatükkides teiste lähenemistega.

Analüüsitava aspekt	Kirjeldus
Toote ja väärtusahela kirjeldus	Kergelektrisõiduki IoT kommunikatsioonimooduliga elektroonika-seade. Tootmine toimus EMS-partneri kaudu. Ettevõtte on küll väärtusahela tipus, lõpptoote arendaja, kuid mahud ei ole piisavad, et mõjutada kogu ahela toimimist.
Süsteemne jäikus või sõltuvus	Toode sõltus konkreetsetest spetsiifilistest alamtoodetest. Alternatiivsed lahendused puudusid ja sisemine võimekus ja valmisolek neid arendada samuti.
Kriisi või häire avaldumine	Pooljuhtide kriisi tõttu muutusid alamtoodete tarneajad kriitiliselt pikaks
Mõju tootmisele	Tootmisseisakud, tarneaegade oluline pikenemine ning raskused tootmismahtude säilitamisel
Mõju organisatsioonile	Mõlemal ettevõttel suurenes hanke-, planeerimis- ja projektijuhtimise koormus ning organisatsioon liikus pidevasse probleemide lahendamise režiimi
Süsteemi paindlikkust taastav tegevus	Toote ümberdisain, kus osad pudelikael-alamtooted kõrvaldati arhitektuurist ja teistele leiti kõrvale alternatiivid.
Juhtimise ja disaini koostöö etapp	Algfaasis ei olnud tarneahela riskid piisavalt seotud tootearenduse ega juhtimisotsustega. Koostöö tugevnes pärast kriisi avaldumist, kui juhtimisotsused võimaldasid muuta toodet vastavalt tarneahela olukorrale
Tulemus	Tarneajad vähenesid ning tootmine stabiliseerus
Peamine järeldus	Kriisikindlus suurenes siis, kui tekitati tehniline paindlikkus ning sünkroniseeriti see juhtimisotsustega

Tabel 3. Juhtumiuuringu 1 kokkuvõte

Allikas: autori koostatud.

3.2 Juhtumiuuring 2. Kiire kasvu, tarneahela ja disaini koosmõjud

Analüüsitav juhtum käsitleb koostööd ettevõttega 2, kes arendab ja toodab energiasalvestussüsteeme merendussektorile. Tegemist oli tehniliselt keeruka elektromehaanika tootega mis on ühtlasi nii mass- kui ka projektipõhine tootmine. Ettevõtete koostöö ei piirdunud ainult toote tootmisega, vaid hõlmas laiemalt toote tootmisse juurutamist (NPI), tarneahela ülesehitamist ja optimeerimist ning tootmisprotsesside loomist ja optimeerimist.

Juhtumi eripära seisnes selles, et tegemist oli Kanada ettevõttes Hiina arendajate poolt arendatud tootega, mis tuli viia seeriatootmisse Eestis. See tähendab, et erinevalt varajasest tootearendusest ei olnud enam võimalik teha suuri arhitektuurilisi muudatusi ilma olulise ajakuluta, kuid samas ei olnud toode ka piisavalt küps, et tootmine toimiks stabiilselt.

Fine'i (1998) "Clockspeed" raamistik toetab kenasti seda tähelepanekut, kuna selle järgi peavad tootearhitektuur, tootmisprotsess ja tarneahela konfiguratsioon olema omavahel kooskõlas. Kui toode on arendatud ühes tehnilises ja geograafilises keskkonnas, kuid viiakse tootmisse teises, ja kasutades tarneahelat kolmandast keskkonnast, võivad varasemad disainiotsused tekitada tootmise ja tarneahela tasandil süsteemseid probleeme.

Algfaasis oli ettevõttel keeruline leida sobivat tootmispartnerit. Selle peamiseks põhjuseks olid ettevõtte suhteliselt väike käive, valdkonna uudsusest tingitud skeptitsism tarnijates, toote tehniline keerukus ning tollimõõdustikus arendatud detailid. See tähendas, et paljud potentsiaalsed tootmispartnerid ei olnud valmis riski võtma või ei näinud koostöös piisavat ärilist mahtu. Ehk ettevõtte positsioon oli selline, et keegi ei olnud valmis neile tegema isegi koostamispakkumist. Kuna ettevõtte, kus autor töötas, positsioon oli sel hetkel tugevam, siis tänu sellele ja isiklikele suhetele loodi esmane tarneahel ja läbi selle tekkis võimekus seda toodet kliendile pakkuda. See tähendas ka koostöö algust.

Koostöö alguses oli tarneahel üles ehitatud minimaalse vajaliku arvu eelkõige Eesti tarnijate baasil, kuid nõudluse kasvades tekkisid probleemid seoses sellega, et toote arendus toimus kiiresti ning uusi versioone tuli pidevalt tootmisse juurutada. See tähendas, et tarnijad pidid pidevalt kohanema uute nõuete ja muudatustega, sageli lühikese etteteatamisajaga.

Selline lähenemine tõi kaasa märkimisväärsed kvaliteediprobleeme. Tarnijad ei suutnud alati uute versioonide nõudeid piisava kvaliteediga täita, mis viis olukorrani, kus valminud detailid

ei vastanud ootustele ning tuli tagasi saata või ümber teha. See omakorda tekitas täiendavaid viivitusi tarneahelas ning pikendas tootmistsükli.

Oluline aspekt oli ka tarnijate reaktsioon probleemidele. Mitmel juhul ei tunnistanud tarnijad probleemide tõsidust ning käsitlesid neid pigem „ülekvaliteedina“ ehk põhjendamatu kvaliteedinõuetena, mitte reaalse kvaliteedipuudusena. See raskendas probleemide lahendamist, kuna puudus ühine arusaam nõutavast kvaliteeditasemest. See näitab eelnevalt mainitud väärtusahela nähtust. Gereffi (2019) ja Ponte ning Sturgeon (2014) tõid välja, et väärtusahelas ei määra tegevusi ainult see, kes toodet arendab, vaid ka see, kellel on suurem võime kehtestada nõudeid, juhtida tarnijaid ja koordineerida osapooli. Kui väike kasvav ettevõtte, ei oma veel piisavat mõju tarnijate üle, võib isegi korrektne tehniline nõue (Kõik kvaliteedistandardid käsitlevad kliendi nõuet kui kõige peamist, mis välistab muud nõuded) jääda tarnija jaoks „ülekvaliteediks“.

Sellest tulenevalt ei olnud peamine probleem mitte ainult komponentide kättesaadavus, vaid ka nende kvaliteet ja vastavus nõuetele. See eristab käesolevat juhtumit eelmisest, kus keskseks probleemiks oli komponentide puudumine. Antud juhul oli probleemiks EMS-i ja tarneahelavahelised suhted.

Pidevate probleemide tõttu kaasati projekti eraldi projektijuht, kelle peamine roll oli tegeleda tootmise ja tarneahela probleemide lahendamisega. Tegemist oli sisuliselt täiskohaga rolliga, mille fookus ei olnud uute toodete arendamisel, vaid olemasolevate probleemide lahendamisel ja protsesside stabiliseerimisel.

See on oluline indikaator organisatsioonilise koormuse kohta. Kui ühe projekti jaoks on vajalik eraldi ressurss, kes tegeleb pidevalt probleemide lahendamisega, viitab see süsteemsele probleemile toote ja tarneahela ülesehituses. Samas võimaldas see roll järk-järgult probleeme vähendada ning luua paremini toimiv süsteem.

Kuid koostöö edenedes selgus, et lõppkliendi näol on tegu tugeva ettevõttega, kes hakkas aktiivselt turgu vallutama. See tähendas, et ka tarnijad muutusid koostööaltimeks. Näiteks ilmnes kiiresti oluline tehniline kitsaskoht, mis oli otseselt seotud tootedisainiga. Detailid olid tsingitud korrosioonikaitse eesmärgil, kuid disaini eripära tõttu tekkisid tsinkimisprotsessis vanni uputades nn õhutaskud. See põhjustas kvaliteediprobleeme, pikki ja määramatuid tarneaegu ja rohkem praaki ning kallimaid teenusehindu. Kuid see oli selge näide, kus tootmisprobleem ei tulenenud tarnijate võimekusest, vaid disaini ja tootmisprotsessi omavahelisest sobimatusest. Probleemi lahendamiseks tegi tsinkimisettevõtte kliendile ettepaneku muuta disaini, lisades detailidesse avasid, mis võimaldasid tsinkimisprotsessil

toimida ühtlasemalt. Tegemist oli suhteliselt väikese muudatusega disainis, kuid selle mõju oli märkimisväärne: Kohe paranes kvaliteet, vähenes hind ja tarneaeg muutus ka paikapidavaks. See oli esimene oluline hetk, kus tootmise sisend muutis otseselt toote edukust ning näitas, et disain ei ole iseseisev, vaid peab olema kooskõlas tootmisprotsessiga. Aga selleks, et disaini kohta konstruktiivset tagasisidet oleks võimalik tarneahelast koguda, peavad tarnijad mingil kujul selle andmiseks motiveeritud olema. See näide toetab tootmiseks disainimise loogikat. Ulrich ja Eppinger (2016) rõhutavad, et tootearenduses tuleb arvestada mitte ainult toote funktsiooni, vaid ka selle valmistatavust. Kui detaili geomeetria ei sobi valitud tootmisprotsessiga, võib probleem avalduda hiljem kvaliteedi, hinna ja tarneaaja kaudu. Seetõttu ei olnud avade lisamine üksnes tehniline parandus, vaid tootearhitektuuri kohandamine tegeliku tootmisprotsessiga.

Nõudluse kasvades muutus kriitiliseks ka tarneahela ülesehitus. Sõltuvus üksikutest tarnijatest oli suur, mis tähendas riski nii hinna kui ka tarnekindluse osas. Selle vähendamiseks lisati mitu metallitarnijat, kes tootsid lehtmetaili detaile EMS-ile. Mitme tarnija kasutuselevõtt tõi kaasa konkurentsi tarnijate vahel, mis hoidis hinnad ja kvaliteedi stabiilsena. Kuna sõltuvus tarnijast vähenes, aga samal ajal kasvas tänu ettevõtte edule tarnijatel huvi tarnimise vastu, siis see tekitas paindlikkust ja läbi selle ka kiiremaid tarneaegu ning võimalust erinevaid kiirtellimusi vastu võtta. See aga oli lõppkliendi jaoks väga suur argument. Ja see argument oli suurem kui võimaliku tarnijate konsolideerimise tagajärjel tekkida võiv rahaline võit.

Lisaks tehti oluline samm tootmise efektiivsuse tõstmiseks läbi tarnija poolt ette pandud disainimuudatuste. Muudeti toote konstruktsiooni ja keevitusplaani selliselt, et oleks võimalik kasutada robotkeevitust. See tähendas, et tootmisprotsess ei sõltunud enam samal määral käsitööst ning muutus paremini skaleeritavaks.

Selle muudatuse mõjul kasvas tootmiskiirus ja kvaliteet. Vähenes sõltuvus inimtööjõust ja ka see samm vähendas tarneaega ja kasvatas paindlikkust. See on hea näide sellest, kuidas disainimuudatus võib vähendada sõltuvust inimtööjõust ja muuta tootmisprotsessi skaleeritavamaks. Selline muudatus seostub protsessi-upgrading'u käsitlusega, mille järgi ettevõtte parandab oma positsiooni väärtusahelas tootmisprotsesside efektiivsuse, kvaliteedi ja korratavuse tõstmise kaudu (Pietrobelli & Rabellotti, 2011).

Kokkuvõttes vähenes antud EMS-i kaudu toodetud toodete tarneaeg ligikaudu 3 kuuni, samas kui konkurentidel oli see jätkuvalt 6–7 kuud. See erinevus ei tulenenud ainult tootmisest, vaid kogu süsteemi, disaini, tootmise ja tarneahela koostoimest.

Oluline muutus toimus ka organisatsioonilisel tasandil. Kui alguses kulus märkimisväärne osa ajast operatiivsete probleemide lahendamisele, siis pärast protsesside stabiliseerimist vähenes selline vajadus oluliselt. See võimaldas vabastada ressursse ning suunata need teiste projektide arendamisele. Seda illustreerib ka asjaolu, et algselt projekti jaoks kaasatud projektijuht sai hiljem liikuda teiste projektide tootmisprotsesside juhtimisele.

Tarneahela seisukohast oli oluline ka selle hajutatus. Kuigi algfaasis tekitasid probleemid märkimisväärsed viivitusi, osutus hiljem mitme tarnija kasutamine ja tarneahela mitmekesisus eeliseks. Eriti ilmnes see hilisemates kriisilukordades, sealhulgas Ukraina sõja mõjul tekkinud häiretes, kus ettevõtte suutis tänu hajutatud, kuid Eesti-sisesele tarneahelale säilitada tootmisvõimekust ning pigem isegi suurendada oma äritegevust, kuna laiem motiveeritud kohalik tarnijate võrgustik andis Ettevõtte 2-le selge konkurentsieelise. Ettevõtte suutis reageerida oma projektidele kiiremini, võita rohkem tellimusi ning kasvada kiiremini kui konkurendid. Baldwin ja Freeman (2021) rõhutavad, et tarneahela risk ei sõltu ainult geograafilisest kaugusest, vaid eelkõige struktuurset kontsentratsioonist.. Lisaks on see hea näide sellest, kuidas tehnilised ja tarneahela otsused mõjutavad ettevõtte positsiooni väärtusahelas. Christopher ja Peck (2004) käsitlevad tarnijate mitmekesistamist ühe olulise tarneahela vastupidavuse põhimõttena. Samas ei tähenda see ainult tarnijate arvu suurendamist, vaid ka võimalust jaotada koormust, võrrelda kvaliteeti ja säilitada läbirääkimisvõime. Käesolevas juhtumis ei olnud mitme tarnija kasutamine ainult riskimaandus, vaid lõi ka paindlikkuse kiirete tellimuste vastuvõtmiseks, mis on otseselt seotud ärikasvuga.

See viitab sellele, et kuigi tarneahela ülesehitamine ja stabiliseerimine nõudis märkimisväärselt ressursi, lõi see pikemas perspektiivis eelise. Ettevõtte ei olnud sõltuv ühest tarnijast ja võimalikult palju tarneahelast oli pärit Eestist, mis vähendas riski ja suurendas paindlikkust.

Käesolev juhtum toetab eelmist sellega, et juhitud tarneahela, juhtkonna ja disainerite koostöö parandab oluliselt vastupidavust kriisidele ja olles selles tugevad, võivad kriisid olla ka äri kasvatamise kohad.

Juhtum näitab, et toote tootmisse juurutamine on kriitiline etapp, kus arenduse käigus tehtud otsused avalduvad praktiliste probleemidena. Kui selles etapis ei suudeta protsesse stabiliseerida, võib see viia olukorrani, kus märkimisväärne osa organisatsiooni ressursist kulub probleemide lahendamisele.

Samas näitab juhtum ka seda, et süsteemne lähenemine – mis hõlmab nii disaini, tootmist kui ka tarneahelat – võimaldab neid probleeme järk-järgult vähendada ning saavutada stabiilsem toimimine. See aga tähendab, et väärtusahela liider peab olema piisava mõjuga, et motiveerida ülejäänud ahela liikmeid initsiatiivi näitama.

Lõppkokkuvõttes vähenesid riskid, paranes tootmise efektiivsus ning ettevõtte saavutas turul tugeva positsiooni. Koostöö alguses oli ettevõtte positsioon väärtusahelas suhteliselt nõrk, kuid alustades koostööd tootmispartneriga tugevnes see märkimisväärselt. Hiljem, ettevõtte kasvades, muutus ka tema roll väärtusahelas ning ta saavutas turuliidri positsiooni juba iseseisvalt.

Tänaseks on see süsteem kõige rohkem installeeritud merenduse valdkonna akulahendus maailmas (üle 50% kõikidest installatsioonidest maailmas) ning seda on kasutatud mitmetes “esmakordsetes” projektides, näiteks:

- Maailma esimesed täiselektrilised parvlaevad
- Maailma esimesed hübriid- ja elektrilised töölaevad
- Maailma esimesed autonoomsed ja madala emissiooniga merelahendused
- Maailma esimene täiselektriline tanker

Analüüsitava aspekt	Kirjeldus
Toote ja väärtusahela kirjeldus	Merenduse energiasalvestussüsteem, valdkonna eestvedaja. Tootmine toimus EMS-partneri kaudu. Ettevõtte on küll väärtusahela tipus, lõpptoot arendaja, kuid mahud ei ole piisavad, et mõjutada kogu ahela toimimist
Süsteemne jäikus või sõltuvus	Tootmine sõltus piiratud tarnijate võimekusest ning tootmisprotsess ei olnud algselt piisavalt küps
Kriisi või häire avaldumine	Kiire tootmismahude kasv tõi kaasa kvaliteediprobleemid ja tootmise ebastabiilsuse
Mõju tootmisele	Tekkisid viivitused, ümbertöötlemised ning kvaliteediprobleemid. Kliendil tarneraskused oma klientidele.
Mõju organisatsioonile	Suurenes koordineerimisvajadus tootmise, tarnijate ja kliendi vahel
Süsteemi paindlikkust taastav tegevus	Tootedisaini kohandamine vastavalt tarnijate ja tootmise tagasisidele ning tarnijavõrgustiku laiendamine
Juhtimise ja disaini koostöö etapp	Juhtimisotsused võimaldasid muuta toodet ja tootmisprotsessi vastavalt tarneahela reaalsele võimekusele, vähendades tootmisprobleeme. Tarnijavõrgustiku laiendamine kasvatas paindlikust ja lühendas tarneaegu. Kuigi see tähendas kõrgemat omahinda või lisa tarnijate juurutamist
Tulemus	Tootmise kvaliteet ja stabiilsus paranesid ning tarneahel muutus robustsemaks. Tarneajad vähenesid oluliselt ja kliendile tekkis ärielis. Kriisid ei mõjutanud tarneid
Peamine järeldus	Kriisikindlus suurenes siis, kui tootearendus, juhtimine ja tarneahel tegutsesid sama eesmärgi nimel ja olid kõik valmis kompromissideks. Ehk kui tekitati tehniline paindlikkus ning sünkroniseeriti see juhtimisotsustega

Tabel 4. Juhtumiuuring 2 kokkuvõte

Allikas: autori koostatud.

3.3 Juhtumiuuring 3. Tootedisaini mõju ettevõtte organisatsioonilisele koormusele

Analüüsitud juhtum käsitleb koostööd ettevõttega 3, mille peamiseks tooteks on kõrge täpsusega elektrilised ajamid ja juhtimissüsteemid, mille põhjal nad on arendanud oma põhitooted-rallisimulaatorid. Tegemist on elektromehaanilise tootega, mille puhul on samaaegselt kõrged nõuded nii tehnilisele täpsusele kui ka visuaalsele kvaliteedile, kuna tegemist on lõpptarbijale suunatud tootega.

Koostöömudel erines oluliselt eelmisest juhtumist. Toote disain ja tehnilised otsused tehti kliendi poolt ja EMS ettevõtte, kus autor töötas, roll piirdus lõppkoostega ning tootmise ja tarneahela korraldamisega. Erinevalt Ettevõtte 2 juhtumist ei olnud EMS kaasatud toote disaini muutmisse ega tarnijate valiku strateegilistesse otsustesse, vaid tegutses pigem etteantud raamides.

Algne olukord oli iseloomulik globaalsele tarneahelale, kus tootearendus toimus Euroopas (Soomes), kuid enamus mehhaanilisi komponente hangiti Hiinast. Selline ülesehitus võimaldas algfaasis hoida tootmiskulusid madalamal, kuid lõi sõltuvuse pikast ja keerulisest tarneahelast, mis on üksjagu mõjutatud globaalsetest keerulistest olukordadest.

Peamine väljakutse ei olnud üksik komponent, vaid pigem vastuolo nõudluse ja tarneahela vahel. Äri iseärasusest tingituna on nõudlus väga kõikuv ja raskesti prognoositav, samas kui lõpptarbijate ootused olid seotud kiire tarneajaga, mis lõi hea pinnase keerulistele finantsolukordadele. See tähendas, et ettevõtte pidi samaaegselt: reageerima kiiresti tellimustele. hoidma madalat laovarude. vältima tootmise seisakuid.

Praktikas ei olnud võimalik kõiki neid eesmärke korraga saavutada. See viis olukorran, kus tuli teha kompromisse kas tarnekiiruse või finantsriski arvelt.

Üheks peamiseks probleemiks kujunes varude juhtimine. Kuna tarneajad Hiinast olid pikad ja toodete kvaliteet ebastabiilne, tuli kiire nõudluse tagamiseks hoida märkimisväärsed laovarused. Samas ei olnud nõudlus piisavalt prognoositav, et tagada nende varude realiseerimine. See tähendas, et märkimisväärne osa ettevõtte kapitalist oli seotud laovarudesse ilma kindla teadmiseta, millal sealt raha vabaneb. Tang (2006) kirjeldab sellist olukorda klassikalise riskijuhtimise kompromissina: suuremad varud vähendavad tarnekatkestuse riski, kuid suurendavad kapitali sidumist ja aegumise riski. Kui nõudlus on kõikuv, muutub see

kompromiss eriti keeruliseks, sest ei teata, kas varu realiseerub müügiks või jääb finantskoormuseks.

Teine oluline probleem oli seotud tarnekindluse ja kvaliteediga. Hiinast tulevate komponentide puhul esines nii tarneviivitusi kui ka kvaliteediprobleeme. Viivitused võisid olla seotud nii makromajanduslike tegurite, logistika kui ka tootmisvõimekusega. Kvaliteediprobleemide puhul tähendas see sageli defektsete detailide saabumist, mis tõi endaga vajaduse koostada reklamatsioone. Aga samas oli vaja katta tootmise jaoks materjalitarve, mis tähendas uute tellimuste esitamist. Siit tekkis täiendav ajakulu suhtlusest tarnijatega.

See omakorda pikendas tootmistsükli ning tekitas olukordi, kus tootmine ei saanud jätkuda vajalike komponentide puudumise tõttu.

Seda olukorda katab Baldwin ja Freeman (2021) käsitlus, mille järgi ei ole tarneahela haavatavuse põhjus alati geograafiline kaugus, vaid sõltuvus kitsastest ja raskesti asendatavatest tootmisvõimekustest. Meie näite puhul ei olnud probleem ainult selles, et tarnijad asusid Hiinas, vaid selles, et nende asendamine, mõjutamine ja ümbermängimine oli piiratud.

Erinevalt eelmistest juhtumitest ei olnud probleemide lahendamisel võimalik teha olulisi disainimuudatusi. Kuna toode oli juba turul ning disain oli fikseeritud, oleksid suuremad muudatused nõudnud märkimisväärset arendusaega ja -ressurssi. See tähendas, et probleemide lahendamine toimus peamiselt tarneahela ja operatiivse juhtimise tasandil.

Selline lähenemine tõi kaasa olukorra, kus probleemide lahendamine oli pidev protsess, mitte ajutine kõrvalekalle. Suur osa organisatsiooni ressursist kulus tarnijatega suhtlemisele, probleemide lahendamisele ja tootmise planeerimisele. Sellel organisatsioonilise koormuse mõõtmisel on käesolevas töös eelnevalt peatutud, kus märkimisväärne osa tööajast kulub operatiivsete probleemide lahendamisele ja selle täpset kulu ei ole lihtne mõõta.

Tootmise seisukohast väljendus see ebastabiilsuses. Materjalide hiline mine tähendas jällegi tootmise seiskumist, samas kui materjalide saabumisel tuli kaotatud aeg kiiresti tasa teha. See tekitas tootmises tööjõukulu kasvu (ületunnid, ajutine tööjõud), tootmise planeerimine muutus keerulisemaks. Tekkisid kvaliteediprobleemid ja kõik see tekitas üleüldist stressi ettevõttes. Lisaks mõjutas see tugevalt kliendisuhet. Lõpptarbija ootab tarneaega, mis ei pruugi olla kooskõlas tarneahela tegelike võimalustega. See tekitas pidevat pinget nii tootja ja kliendi kui ka tarnijate vahel. Veidi aitavad seda olukorda lahti seletada Christopher ja Holweg (2011), kes rõhutavad, et liiga tugevalt efektiivsusele optimeeritud tarneahelad võivad kaotada

paindlikkuse. Ettevõtte 3 juhtum is avaldus see tootmise ebastabiilsusena: materjalipuudus tekitas seisakuid ning hilisem taastamine nõudis ületunde ja kiirendatud tootmist, mis omakorda jällegi suurendas kulusid ja kvaliteediriske.

Tarneahela sõltuvuse vaaates oli olukord samuti ebasoodne. Kuna peamised mehhaanilised komponendid tulid piiratud arvult tarnijatelt Hiinas, oli võimalus tarnijaid vahetada või kiiresti alternatiive leida piiratud. See tähendas, et iga häire- olgu selleks logistiline probleem, tootmisviivitus või kvaliteediprobleem - kandus otseselt üle tootmisse.

Oluline erinevus võrreldes Ettevõtte 2 juhtumiga seisnes tarnijate ja tootmispartnerite vahelises suhtes. Ettevõtte 2 puhul olid tarnijad geograafiliselt lähemal ning nende jaoks oli klient strateegiliselt olulisem. Ettevõtte 3 puhul oli ettevõtte mõju Hiina tarnijatele oluliselt väiksem, mis tähendas, et tarnijate motiveerimine ja mõjutamine oli keerulisem.

See vähendas ettevõtte võimet tarneahelat aktiivselt juhtida ning suurendas sõltuvust tarnijate otsustest. Sellises olukorras muutub tarneahela juhtimine pigem reaktiivseks – probleemidele reageeritakse, kuid neid ei ole võimalik ennetada ega süsteemselt vähendada.

Fixsoni (2005) käsitluse järgi on toote modulaarsus ja komponentide asendatavus strateegilised omadused, mis tuleb kujundada varases arendusfaasis. Hiljem, kui toode on turul ja tarneahel fikseeritud, muutub paindlikkuse lisamine märksa kulukamaks. Ettevõtte 3 juhtum näitabki olukorda, kus hilisem tarneahela juhtimine ei suutnud täielikult kompenseerida vara-sema disaini ja tarnijavaliku jäikust.

Käesolev juhtum näitab, et olukorras, kus tootedisain ja tarneahela struktuur ei võimalda paindlikkust, kanduvad tarneahela probleemid otseselt tootmis- ja organisatsiooni toimimisse. Erinevalt eelmistest juhtumitest ei olnud võimalik probleeme lahendada disainimuudatuste kaudu, mistõttu jäi ainus võimalus neid operatiivselt hallata.

Juhtumi põhjal võib järeldada, et kui tarneahel on geograafiliselt kaugel, tarnijate arv on piiratud, disain on jäik, nõudlus on kõikuv, siis tekib süsteemne ebastabiilsus, mida ei ole võimalik täielikult lahendada tarneahela juhtimisega.

Võrreldes Ettevõtte 2 juhtumiga on tegemist sarnase äri vastupidise lähenemisega. Mõlemal juhul on tegemist tehniliselt keerukate elektromehaaniliste toodetega, kuid tulemused on oluliselt erinevad. Ettevõtte 2 puhul võimaldasid disaini ja tarneahela otsused vähendada riske

ning saavutada konkurentsieelise, samas kui Ettevõtte 3 puhul viis disaini ja tarneahela jäikus olukorrani, kus probleemid kordusid ja nende lahendamine nõudis pidevat ressursi.

See toetab käesoleva töö keskset käsitlust, mille kohaselt ei teki tarneahela probleemid ainult tarneahela tasandil, vaid on suurel määral seotud varasemate insenertehniliste ja disainiotsustega.

Analüüsiv aspekt	Kirjeldus
Toote ja väärtusahela kirjeldus	Kõrge kvaliteedinõudega simulaatoriseadmed, mille tarneahel oli tugevalt seotud Hiina tootjatega. Tootmine toimus EMS-partneri kaudu. Ettevõtte on küll väärtusahela tipus, lõpptoote arendaja, kuid mahud ei ole piisavad, et mõjutada kogu ahela toimimist
Süsteemne jäikus või sõltuvus	Tarneahel oli lukus optimeeritud peamiselt hinnale ning sõltus pikast globaalsest tarneahelast. Disainimuudatusi ettevõtte ei olnud valmis tegema.
Kriisi või häire avaldumine	Hiina logistikahäired põhjustasid tarneprobleeme ja tootmine Hiinas tõi kaasa pidevaid kvaliteediprobleeme.
Mõju tootmisele	Tekkisid tarneviivitused, kvaliteediprobleemid ning tootmise ebastabiilsus
Mõju organisatsioonile	Mõlemad ettevõtted liikusid pidevas „tulekustutus“-režiimis ning suurenes klientide ja tootmise vaheline koordinatsioonikoormus. Häiritud oli ka kliendisuhe.
Süsteemi paindlikkust taastav tegevus	Probleeme lahendati peamiselt operatiivselt läbi EMS-i ja tarnijakokkulepete, kuid süsteemi terviklikku ümberkujundamist toimus vähe
Juhtimise ja disaini koostöö etapp	Tarneahela juhtimine keskendus peamiselt kuluefektiivsusele ning tehniliste ja tarneahela probleemide lahendamine jäi suuresti operatiivseks. Disaini ja tarneahela vaheline süsteemne koostöö oli piiratud. Ettevõtte juhtkonna seisukoht oli, et tegu on ajutiste tarneahelaprobleemidega.
Tulemus	Süsteemi jäikus säilis ning organisatsiooniline koormus suurenes. See kasvatas projektijuhtimiskulu, mis ei kajastunud küll toote materjalihinnas, vaid kasvatas tootmiskulu. Kokkuvõttes oli mõjutatud toote hind kui ka tarnekindlus
Peamine järeldus	Liigne, üksnes hinna põhine tarneahela optimeerimine võib vähendada toimimissüsteemi paindlikkust ning suurendada kriisi mõju organisatsioonile kui ka ärile

Tabel 5. Juhtumiuuring 3 kokkuvõte

Allikas: autori koostatud.

3.4 Juhtumiuuring 4. Erinevate positsioonide vahel liikumine väärtusahelas

Analüüsitav juhtum käsitleb koostööd ettevõttega 4, mis oli üks esimesi IoT-lahenduste arendajaid jagatavate elektriliste tõukerataste turul. Tegemist oli riist ja tarkvaratehnoloogiapõhise startup-ettevõttega, kelle peamine kompetents seisnes valdkonnateadmistes ja sellele vastavas tarkvara ja ka elektroonikaarendamises, kuid kellel puudus tootmisvõimekus ning kogemus tarneahela juhtimisel.

Ettevõtte tehnoloogia oli arenduse hetkel väga innovaatiline ning tekitas suurt huvi suurtes rahvusvahelistes klientides, kuid vaatamata sellele ei olnud ettevõttel võimalik oma toodet turule skaleerida, kuna puudus võimekus korraldada tootmist ja tarneahelat. See väljendus olukorras, kus mitmed elektroonikatootmise teenusepakkujad ei olnud valmis nendega koostööd alustama, käsitledes ettevõtet kõrge riskiga kliendina, kuna neil oli vähene valdkonnakogemus, madal finantsvõimekus ja ka valdkond ise oli piisavalt uudne. Sellises olukorras tekkis selline „muna ja kana“ olukord, kus ilma tootmisvõimekuseta ei ole võimalik saada suuri kliente, kuid ilma suurte klientideta ei ole võimalik üles ehitada tootmisvõimekust. Ettevõtte 4 puhul oli see eriti kriitiline, kuna turule sisenemine eeldas võimet toota suhteliselt kiiresti ja suurtes kogustes. Seda olukorda saame siduda väärtusahela upgrading’u käsitlusega. Pietrobelli ja Rabellotti (2011) toovad oma uurimuses välja, et ettevõtte liikumine kõrgema lisandväärtusega tegevustesse eeldab mitte ainult innovatsiooni, vaid ka õppimist, võimekuste arendamist ja ligipääsu sobivatele partneritele. Ettevõtte puhul oli tehnoloogiline innovatsioon olemas, kuid lisaks oma suurusele piiras tootmise ja tarneahela juhtimise oskus ning võimekus ettevõtte tegelikku positsiooni väärtusahelas.

Selline olukord on iseloomulik varajases faasis riistvaratehnoloogiaetevõtetele, kes asuvad väärtusahelas suhteliselt madalal positsioonil. Kuigi nende tehnoloogiline kompetents ja isegi turunõudlus võib olla kõrge, puudub neil siiski mõju tarneahelas ning usaldusväärsus suurte partnerite silmis. See piirab nende võimet sõlmida lepinguid ning skaleerida oma äritegevust. Kuid just Eestile on majanduslikult kõige suurem kasu selliste ettevõtete kasvust, kellel on keeruline ja kõrgtehnoloogiline oma toode, kus on nii tarkvaratoote plussid, kuid kes toob ka keerulise riistvaratootmise ja arendamise kompetentsi piirkonda.

Koostöö EMS-iga tugevdas ettevõtte positsiooni. EMS ei tegutsenud ainult tootjana, vaid sisuliselt esindas ettevõtet 4 tarneahelas kui ka klientidele. See tähendas mitut olulist aspekti:

- Komponentide hankimine toimus EMS-i ostujõu ja kontaktide kaudu
- Hinnad ja tingimused olid võrreldavad suurematele ettevõtetele pakutavaga
- Tootmine toimus usaldusväärse partneri juures, mis tekitas turvatunnet klientides
- Tarneahel oli struktureeritud ja hallatav

See vähendas oluliselt Ettevõtte 4 sõltuvust üksikutest tarnijatest ning parandas tarneahela toimimist.

Oluline muutus toimus ka kliendisuhetes. Kuna EMS sines tootmispartnerina, suurenes ka lõppklientides usaldus ettevõtte 4 vastu. Kuna neil oli olemas füüsiline partner, kellel oli juba olemasolev positsioon ja kogemused ja tugevad protsessid. See on oluline aspekt väärtusahela kontekstis – usaldus ei teki ainult toote olemusest või kvaliteedist, vaid ka võimest tagada stabiilsed tarned kliendile. Kuna keeruka riistvaratoote kiire ja suuremahuline skaleerimine tähendab väga tugevat kogemust ja organiseerimisvõimet ja eeldab ettevõttelt tugevaid protsesse ja kiireid juhtimisotsuseid, aga ka võimekust juhtida suuri finantse ilma, et need kuskile takerduksid. GVC käsitluses on juhtival ettevõttel, (kes siin sel hetkel oli pigem EMS) oluline roll usalduse ja koordineerimise loomisel (Gereffi, 2019; Ponte & Sturgeon, 2014). Suurklient ei osta ainult toodet, vaid hindab kogu tarnevõimekust. Seetõttu võivad EMS-partneri olemasolu ja töömoodused suurendada lõppkliendi usaldusväarsust isegi siis, kui toote intellektuaalne väärtus jääb lõppkliendile.

Seega ei muutunud ainult tarneahel, vaid ka ettevõtte positsioon väärtusahelas. Kui algfaasis oli ettevõtte 4 sõltuv nii tarnijatest kui ka tootmispartnerite valmisolekust nendega koostööd teha, siis koostöö tulemusena paranes nende läbirääkimispositsioon ning nad suutsid osaleda suuremahulistes projektides.

Tootmise seisukohast tähendas see kiiret üleminekut prototüübi- ja väikeseeria tootmiselt suuremahulisele tootmisele. Selline üleminek eeldab nii tarneahela kui ka tootmisprotsesside pidevat ümbermängimist ja stabiliseerimist. EMS-i roll oli siin kriitiline, kuna see võimaldas lõppkliendil:

- Standardiseerida tootmisprotsesse
- Tarnida vastavalt kokkulepitule
- Tagada komponentide kättesaadavus
- Hallata logistikat
- Vähendada tootmisriske

Samal ajal võimaldas see ettevõtte 4-jal keskenduda oma põhikompetentsile – toote arendusele ja tarkvarale.

Tarneahela mõõtnes vähenes sõltuvus üksikutest komponentidest ja tarnijatest, kuna hankimine toimus läbi suurema partneri. Tarneaeg muutus prognoositavamaks ning tootmise katkestuste risk vähenes.

Oluline on märkida, et tegemist ei olnud ainult operatiivse muutusega, vaid strateegilise nihkega. Ettevõtte ei pidanud ise üles ehitama kogu tootmis- ja tarneahela võimekust, vaid sai seda kasutada läbi EMS-partneri. See võimaldas neil liikuda väärtusahelas ülespoole kiiremini, kui see oleks olnud võimalik iseseisvalt ja lisaks võimaldas see keskenduda laienemiseks kriitilisematele tegevustele, nagu tootearendus ja müük. Tootmismahude kasvades muutus oluliseks ka tarneahela skaleeritavus. EMS-i kaudu oli võimalik suurendada tootmismahu ilma, et ettevõtte 4 oleks pidanud ise investeerima tootmisvõimekusse. See vähendas jällegi oluliselt kapitalivajadust ning kiirendas kasvu. Siia saab tuua ka näite EMS-partnerlust käsitlevast kirjandusest, mis toetab seda tähelepanekut. EMS-i kasutamine võimaldab OEM-il kasutada partneri ostujõudu, tarnijavõrgustikku, tootmisprotsesse ja logistilist võimekust, vähendades samal ajal vajadust teha suuri alginvesteeringuid tootmisse (Barnes et al., 2000; Lokanc et al., 2021). Seetõttu ei olnud EMS siin ainult tootja, vaid väärtusahela võimekuse vahendaja.

Koostöö arenedes tekkis ettevõtte 4-jal ambitsioon hakata tootmist suuremas mahus ise üles ehitama, eesmärgiga suurendada kontrolli oma tarneahela ja tootmise üle ja hoida rohkem raha enda juures. Selline soov on loogiline ettevõtte arengufaasis, kus soovitakse liikuda väärtusahelas ülespoole ning vähendada sõltuvust välisest tootmispartnerist.

Praktikas osutus see üleminek keerulisemaks, kui esialgu hinnati. Tootmise ülesehitamine ei tähenda ainult seadmete või ruumide olemasolu, vaid hõlmab ka terviklikku süsteemi, mis koosneb tarnijatest, hulgaliselt siseprotsessidest, kvaliteediprotsessidest, tootmise planeerimisest ning operatiivsest juhtimisest. Selle struktuuri vajaduse mittepiisav hindamine ja puudulik koordineerimine tõi kaasa mitmeid probleeme.

Esiteks ilmnemiseid raskused komponentide hankimisel ja tarnijate juhtimisel. Kuna mahud vähenesid (EMSil on paljud komponendid kasutuses ka teistel toodetel), siis ilma EMS-partneri ostujõuta muutus komponentide kättesaadavus ebastabiilsemaks ning hinnad halvemaks. Lisaks nõudis tarnijatega suhtlemine ja probleemide lahendamine märkimisväärtset ajakulu, milleks organisatsioon koormas liialt ressursi.

Teiseks tekkisid probleemid tootmisprotsesside stabiliseerimisel. Ilma väljakujunenud protsesside ja kogemusega suurenes vigade arv, mis väljendus nii kvaliteediprobleemides kui ka madalamas tootlikkuses või seisakutes. See omakorda tähendas suuremat ümbertöötamise vajadust ning pikemaid tootmistähtaegsusi, mis lisaks omakorda jälle koomasid ka teisi osakondi ja kulutasid üksjagu finantsi.

Kolmandaks suurenes oluliselt organisatsiooniline koormus. Kui varasemalt oli tootmise ja tarneahela juhtimine suures osas delegeeritud tootmispartnerile, siis nüüd tuli need funktsioonid katta ettevõtte sees. Mis tähendas nii rutiinset ostu ja tootmisplaneerimist kui ka pidevat tootmisprobleemide lahendamist. Kuna EMS-il on teatud positsioonid mehitatud pädevate spetsialistidega ja katavad ära kõik kliendid, siis siin on kaks varianti. Kas võtta kogenud spetsialistid, kellel ei ole piisavalt koormust, kuid kes küsivad suurt palka või kasutada vähem kompetentseid ja universaalseid inimesi. Kuid nemad sageli ei suutnud kõiki probleeme piisavalt kiiresti lahendada. See tähendas, et tootmise ja tarneprobleemidega olid pidevalt seotud nii arendusmeeskond kui ka operatiivne juhtimine. See omakorda tähendas, et nende tähelepanu hajus põhieesmärkidelt ning suur osa ressursist suunati pidevatele operatiivprobleemide lahendamisele. See haakub ka kriisijuhtimise kirjanduse näidetega, mille järgi ettevõtete vastupidavus sõltub tugevalt juhtide ja võtmeisikute panusest, kompetentsist ja otsustusvõimest (Boin & Lagadec, 2000; Ambulkar et al., 2015).

Neljandaks muutus turunõudlus nii seal, kus vahepeal oli tellimusi vähem ja siis olid jällegi kiired ajad, kus oli vaja personali juurde palgata. Kui EMSi üks eesmärk on kasvavat klienti selliste olukordade eest kaitsta ja EMS on harjunud sedatüüpi keskkonnas toimima ja läbi kogu kliendiportfelli nõudluse efektiivse planeerimise pidevalt inimressursil piisavat hõivet hoidma,

siis antud ettevõttel siin seda võimalust ei olnud. Ehk tekkisid tootmisseisakud, kus ikkagi paljud kulud jooksid peale, mis tähendas, et ettevõtte finantsolukord hakkas hästi kiiresti halvenema.

Tulemuseks oli olukord, kus tootmise ülesehitamine ei toonud kaasa oodatud efektiivsuse kasvu, vaid pigem suure efektiivsuse languse. Ja võib öelda, et paljuski maksis ettevõttele tema turuliidri positsiooni ja võib ehk öelda, et on mõjutanud ka ettevõtte finantsraskustesse sattumist ja läbi selle ka omanike muutust.

Käesolev episood illustreerib, et väärtusahelas ülespoole liikumine ei ole läbi kindlate tegevuste garanteeritud. Kuigi tootmise ja tarneahela kontrolli suurendamine ja disaini ja tootmise ja tarneahela ühte meeskonda viimine võib teoreetiliselt parandada ettevõtte positsiooni, eeldab see vastavat organisatsioonilist võimekust. Selle puudumisel võib katse neid funktsioone üle võtta viia vastupidise tulemuseni.

Samuti näitab juhtum, et EMS-ettevõtte roll võib ulatuda oluliselt kaugemale tootmisest. Teatud olukordades võib EMS toimida kui väärtusahela integreerija, kes võimaldab väiksematel ettevõtetel osaleda suuremates projektides ning parandada oma positsiooni turul, kuid EMS-i põhiroll on ikkagi pakkuda oma positsiooni väärtusahelas ja jagada oma tehnoloogilist võimekust, tarneahelaid ja kompetentsi mis on palju suurem, kui tootmisliinid või koostamisoperaatorid. Läbi selle jääksid lõppkliendile spetsiifilised suurimat ärilist väärtust tekitavad tegevused.

Prahalad ja Hamel (1990) väidavad, et ettevõtte pikaajaline konkurentsieelis põhineb tema põhikompetentsidel, milleks võivad olla näiteks tootearendus, tehnoloogiline teadmus, võrgustik, müük.

Oma tootmisele üleminek võib olla mõistlik otsus, kuid eeldab väga põhjalikku planeerimist, koordineerimist, riskianalüüsi ja juhtimist. Mitte lihtsalt tulud miinus kulud, korda optimistlik aasta tootmisprognoos.

Ettevõtte 4 juhtum näitab, et väärtusahelas positsiooni ei määra ainult see, kellele kuulub toode või intellektuaalomand. Tegelik positsioon sõltub ka võimest juhtida tootmist, tarneahelat, rahavoogu ja kliendi usaldust. Mudambi (2008) Siinkohal oli see pigem EMS.

Analüüsitav aspekt	Kirjeldus
Toote ja väärtusahela kirjeldus	Kergelektrisõiduki IoT kommunikatsioonimooduliga elektroonika-seade. Tootmine toimus EMS-partneri kaudu. Ettevõtte on küll väärtusahela tipus, lõpptoote arendaja, kuid mahud ei ole piisavad, et mõjutada kogu ahela toimimist
Süsteemne jäikus või sõltuvus	Ettevõtte kiire kasv ja tootmise ja tarneahela juhtimise allhankest enda juurde toomine suurendas süsteemi keerukust, sõltuvusi ning operatiivset kui ka finantsilist koormust
Kriisi või häire avaldumine	Nõudluse tsüklilisus ja tarneahela probleemid suurendasid tootmise ning tarnete ebastabiilsust. See tähendas ka mõju rahavoogudele.
Mõju tootmisele	Juhtimine ja arendus töötasid küll koos, kuid arendusmeeskond oli hõivatud igapäevaste tootmisprobleemidega. Tootmisgraafikuid tuli pidevalt ümber planeerida.
Mõju organisatsioonile	Organisatsioon liikus pidevasse tulekahjude kustutamise-režiimi ning vähenes võime keskenduda pikaajalisele arendusele
Süsteemi paindlikkust taastav tegevus	Ettevõtte varajases arengufaasis võimaldas EMS-iga koostöös tekkinud suur paindlikkus kriisidega kiiresti kohaneda
Juhtimise ja disaini koostöö etapp	Ettevõtte algfaasis toimis tihe koostöö tootearenduse, juhtimise ja tootmise vahel. Kasvades suurenes süsteemi keerukus ning algset paindlikkust oli keeruline säilitada
Tulemus	Organisatsiooniline koormus suurenes ning süsteemi kohanemisvõime vähenes
Peamine järeldus	Kiire kasv võib vähendada kriisikindlust, kui süsteemi keerukus kasvab kiiremini kui organisatsiooni kohanemisvõime. Ehk läbi juhtimisotsuste kaotati paindlikkuses.

Tabel 6. Juhtumiuuring 4 kokkuvõte

Allikas: autori koostatud.

3.5 Juhtumiuuringute võrdleva analüüsi järeldused

Kokkuvõttes saab kõiki neid näiteid taandada ja võrrelda sellisel kujul nagu allpool toodud tabelis:

Aspekt	Ettevõte 1	Ettevõte 2	Ettevõte 3	Ettevõte 4
Süsteemne sõltuvus	Sõltuvus konkreetsest materjalidest	Sõltuvus piiratud tootmis- ja tarnijavõimekusest	Sõltuvus hinnapõhisest Hiina tarneahelast	Sõltuvus kiiresti kasvava organisatsiooni võimekusest
Häire tüüp	Saadavusprobleem väärtusahelas	Saadavusprobleem väärtusahelas	Saadavusprobleem väärtusahelas	Saadavusprobleem väärtusahelas
Häire mõju tootmisele	Tootmise ebastabiilsus ja ümberkorraldused	Tootmise ebastabiilsus ja ümberkorraldused	Tootmise ebastabiilsus ja ümberkorraldused	Tootmise ebastabiilsus ja ümberkorraldused
Häire mõju organisatsioonile	Suur organisatsiooniline koormus ja tulekahjude kustutamine	Suur organisatsiooniline koormus ja tulekahjude kustutamine	Suur organisatsiooniline koormus ja tulekahjude kustutamine	Suur organisatsiooniline koormus ja tulekahjude kustutamine
Süsteemi algne paindlikkus	Madal	Keskmine	Madal	Kõrge
Juhtimise ja disaini koostöö	Tekkis pärast kriisi	Integreeriti tootmise käigus	Piiratud	Algfaasis tugev, hiljem vähenes
Paindlikkust taastav mehhanism	Tootearenduse ja tarneahela koostöö	Tootearenduse ja tarneahela koostöö	Operatiivne probleemilahendus	Operatiivne probleemilahendus
Süsteemi lõpptulemus	Süsteemi paindlikkus suurenes	Süsteemi paindlikkus suurenes	Süsteemi jäikus säilis	Süsteemi paindlikkus vähenes
Peamine süsteemne õppetund	Paindlikum süsteem vähendas kriisi mõju	Paindlikum süsteem vähendas kriisi mõju	Süsteemi jäikus suurendas kriisi mõju	Süsteemi paindlikkuse vähenemine suurendas kriisi mõju

Tabel 7. Juhtumiuuringute võrdlev analüüs

Allikas: autori koostatud.

Juhtumiuuringute võrdlus näitas, et kuigi häired avaldusid erinevates väärtusahela osades ja erinevate väliste sündmuste tulemusena, olid nende süsteemsed mõjud ettevõtetele suurel määral sarnased. Kõigis juhtumites avaldus kriis mingil kujul saadavusprobleemina, mis võis tähendada eelkõige ettevõttele kriitiliste materjalide, kuid ka tootmisvõimekuse, logistilise võimekuse või organisatsioonilise võimekuse piiratud kättesaadavust.

Kõikides juhtumites põhjustasid häired tootmise ebastabiilsust, pidevaid ümberkorraldusi ning organisatsioonilise koormuse kasvu. Olenemata sellest, millest häire alguse sai, liikusid organisatsioonid suurel määral nn tulekahju kustutamise režiimi, kus märkimisväärne osa ettevõtte ressurssidest suunati operatiivsete probleemide lahendamisele. Selle tulemusena vähenes organisatsioonide võime keskenduda pikaajalisele arendusele ja strateegilistele tegevustele.

Juhtumite peamine erinevus ei seisnenud seega mitte häire tüübis, vaid selles, kui paindlikult suutis ettevõtte kriisiolukorras kohandada ja sünkroniseerida tootearendust, tarneahelat ja juhtimisotsuseid. Juhtumid näitasid, et kriisikindlus suurenes ettevõtetes, kus juhtimine, tootearendus ja tarneahel hakkasid toimima ühe integreeritud süsteemina. Ettevõtted, kes olid valmis muutma toodet vastavalt tarneahela olukorrale, kaasama tarnijate tagasisidet tootearendusse ning tegema kiireid juhtimisotsuseid, suutsid vähendada kriisi mõju nii tootmisele kui organisatsioonile tervikuna.

Eriti oluline roll ilmnas tootearhitektuuri paindlikkusel ja ümberdisainivõimekusel. Juhtumid näitasid, et süsteemid, mis olid üles ehitatud jäikade sõltuvuste ümber, muutusid kriisiolukorras oluliselt haavatavamaks. Samal ajal võimaldas modulaarsem ja paindlikum tootearhitektuur vähendada sõltuvust üksikutest komponentidest või tarnijatest ning taastas kiiremini süsteemi toimimisvõime.

Samuti ilmnas, et liigne keskendumine kuluefektiivsusele ja hinnapõhisele optimeerimisele võib vähendada süsteemi paindlikkust ning suurendada kriiside mõju. Juhtumites, kus tarneahel oli optimeeritud peamiselt madalaima hinna loogikale ning tehnilised ja tarneahelaga seotud otsused ei olnud piisavalt integreeritud, säilis süsteemi jäikus ning organisatsiooniline koormus suurenes ka pärast esialgse häire möödumist.

Juhtumiuuringud toetavad magistritöö teoreetilist osa ja nende põhjal võib järeldada, et elektroonikatööstuse kriisikindlus ei sõltu ainult positsioonist väärtusahelas või üksikutest riskijuhtimise meetmetest või suurematest varudest, vaid eelkõige süsteemsest paindlikkusest kogu väärtusahela ulatuses. Kõige olulisemaks kriisikindlust suurendavaks teguriks osutus võime kiiresti integreerida koos tootearendus, tarneahel ja juhtimisotsused vastavalt muutunud olukorrale.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli analüüsida elektroonikat arendava ja tootva ettevõtte poolt arendatud riistvaratoote väärtus- ja tarneahela toimimist ning hinnata, kuidas erinevad riskid mõjutavad ettevõtete võimet nõudlust täita ja kriisiolukordades toime tulla. Analüüs näitas, et elektroonikatööstuse peamised väljakutsed ei tulene üksikutest häiretest, vaid süsteemsetest sõltuvustest, mis kujunevad välja juba tootearenduse ja väärtusahela ülesehituse käigus.

Töös toodi välja, et tarneahela probleemid ei ole enamasti pelgalt logistilised või hankega seotud küsimused, mis on mõjutatud mingitest kontrollimatutest sündmustest, küll enamjaolt nad väljenduvad tarneprobleemidena. Kuid nendest tarneprobleemidest äriprobleemide võimalik tekkimine on otseselt seotud varajaste disainiotsustega. Komponentide valik, toote arhitektuur ja tarnijate struktuur määravad suurel määral ära, kui paindlik või haavatav on ettevõtte tegevus hilisemates etappides. Eriti oluline roll on aktiivkomponentidel ja nendega seotud sõltuvustel, mis võivad muutuda kogu tootmise pudelikaelaks. Seetõttu kujuneb kriisirisk suuresti mitte väliskeskkonna mõjul, vaid ettevõtte enda tehtud valikute tulemusena. Ja sageli ettevõtte juhtkond nendes valikutes ei räägi isegi kaasa.

Lisaks näitas töö, et kriisi mõju avaldub ettevõtetes eelkõige organisatsioonilise koormuse kasvuna. Probleem ei seisne ainult komponentide puuduses või tarneahela katkestustes, vaid selles, kui palju lisatööd, koordineerimist ja juhtimisressurssi nende probleemide lahendamise nõuab. Kui süsteem on üles ehitatud viisil, mis eeldab pidevat operatiivset sekkumist, muutub organisatsioon kiiresti ülekoormatuks ning kaotab võime keskenduda arendusele ja kasvule. Seega määrab ettevõtte edukuse kriisiolukorras mitte niivõrd häire ise, vaid võimekus selle tagajärgedega pingevabalt toime tulla.

Töö oluliseks järelduseks on, et ettevõtte kriisikindlus ei kujune üksnes operatiivsete tegevuste kaudu, vaid on suures kombinatsioonis targast juhtimisest, teadlikust tootearendusest ja tootejuhtimisest. Lisaks modulaarsusest, komponentide standardiseerimisest, tarnijate mitmekesistamisest ning teadlikust kompromissidest efektiivsuse ja paindlikkuse vahel, mis võimaldavad vähendada sõltuvusi ja seeläbi ka organisatsioonilist koormust. Selline lähenemine võimaldab ettevõtetel reageerida muutustele kiiremini ning säilitada tootmisvõimekust ka ebastabiilsetes tingimustes ja hoida ka üldkulud kontrolli all.

Samuti selgus, et kuigi Eesti elektroonikatootearendusettevõtted tegutsevad globaalses väärtusahelas piiratud mõjuvõimuga positsioonil, ei tähenda see automaatselt madalat

kriisikindlust. Vastupidi – teadlike disaini- ja juhtimisotsuste kaudu on võimalik kompenseerida väliseid piiranguid ning luua süsteeme, mis on paindlikud ja kohanemisvõimelised. See loob eelduse liikuda väärtusahelas kõrgema lisandväärtusega tegevuste suunas ning parandada pikaajalist konkurentsivõimet.

Kokkuvõttes näitab töö, et elektroonikatööstuses ei ole kriisid erandlikud sündmused, vaid pigem püsiv osa tegevuskeskkonnast. Seetõttu ei saa nende käsitlemine piirduda reageerimisega, vaid peab olema teadlikult integreeritud tootearenduse, tarneahela ja organisatsiooni juhtimisotsustesse. Ettevõtted, kes suudavad neid seoseid teadlikult juhtida, on paremini valmis nii nõudluse kasvuks kui ka kriisidest tulenevateks häireteks, vähendades samal ajal organisatsioonilist koormust ja suurendades oma konkurentsivõimet.

VIITED

1. Englhardt, Z., et al. (2025). *Incorporating sustainability in electronics design: Obstacles and opportunities. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Article 10.1145/3706598.3713299. <https://doi.org/10.1145/3706598.3713299>
2. Nassajfar, M. N., Deviatkin, I., Leminen, V., & Horttanainen, M. (2021). *Alternative materials for printed circuit board production: An environmental perspective. Sustainability*, 13(21), 12126. <https://doi.org/10.3390/su132112126>
3. Tan, H. W., Tran, T., & Chua, C. K. (2016). *A review of printed passive electronic components through fully additive manufacturing methods. Virtual and Physical Prototyping*, 11(4), 271–288. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1217586>
4. Varas, A., Varadarajan, R., Palma, R., Goodrich, J., & Yinug, F. (2021). *Strengthening the global semiconductor value chain in an uncertain era* (p. 9). Semiconductor Industry Association & Boston Consulting Group. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf

5. Khan, S. M., Peterson, D., & Mann, A. (2021). *The semiconductor supply chain: Assessing national competitiveness* (p. 5). Center for Security and Emerging Technology, Georgetown University. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief-1.pdf>

6. (Semiconductor Industry Association [SIA] & Boston Consulting Group [BCG], 2021)

7. Wu, C., Zhang, S., Bao, X., Wang, Y., Miao, Z., & Liu, H. (2024). Risk assessment approach of electronic component selection in equipment R&D using the XGBoost algorithm and domain knowledge. *Processes*, <https://doi.org/10.3390/pr12081716>

8. Sureeyatanapas, P., Waleekhajornlert, N., Arunyanart, S., & Niyamosoth, T. (2020). Resilient supplier selection in electronic components procurement. *Symmetry*, 12(7), 1109. <https://doi.org/10.3390/sym12071109>

9. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2025). *Mapping the semiconductor value chain: Working towards identifying dependencies and vulnerabilities* (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers No. 182). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4154cdbf-en>

10. Kleinhans, J.-P., & Baisakova, N. (2020). *The global semiconductor value chain: A technology primer for policy makers*. Interface. https://www.interface-eu.org/storage/archive/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf

11. Porter, M. E. 1985. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.

12. Rintamäki, T., Kuusela, H., & Mitronen, L. (2007). Identifying competitive customer value propositions in retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 14(6), <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2006.11.003>
13. Blanchard, D. (2021). *Supply chain management best practices* (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119738275>
14. Baldwin, R. (2016). *The Great Convergence: Information Technology and the New Globalization*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
15. Gereffi, G. (2019). *Economic upgrading in global value chains*. In: Ponte, S., Gereffi, G., & Raj-Reichert, G. (toim), *Handbook on Global Value Chains*. Cheltenham: Edward Elgar
16. Mudambi, R. (2008). Location, control and innovation in knowledge-intensive industries. *Journal of Economic Geography*, 8(5)
17. Ponte, S., & Sturgeon, T. (2014). Explaining governance in global value chains. *Review of International Political Economy*, 21(1),
18. Pietrobelli, C. & Rabellotti, R. (2011). *Global value chains meet innovation systems: Are there learning opportunities for developing countries?* *World Development*, 39(7), <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.01.001>
19. OECD. (2023). *Policies to strengthen the resilience of global value chains: Empirical evidence from the COVID-19 shock*. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 141. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/fd82abd4-en>

20. Miroudot, S. (2020). *Resilience versus robustness in global value chains: Some policy implications*. VoxEU / CEPR. <https://cepr.org/voxeu/columns/resilience-versus-robustness-global-value-chains-some-policy-implications>
21. Baldwin, R., & Freeman, R. (2021). *Risks and global supply chains: What we know and what we need to know* (NBER Working Paper No. 29444). National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29444/w29444.pdf
22. Leanway. (n.d.). *Mura, muri ja muda – ettevõtte ressursivargad*. <https://leanway.ee/mura-muri-muda>
23. UCLA Anderson School of Management. (n.d.). *Managing supply chain disruptions*. https://www.anderson.ucla.edu/documents/areas/fac/dotm/bio/pdf_CT38.pdf
24. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
25. Fine, C. H. (1998). *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*. Perseus Books.
26. Fixson, S. K. (2005). Modularity and commonality research: Past developments and future opportunities. *Research Policy*
27. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*

28. Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review*, 46(1)
29. Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2)
30. Ivanov, D. (2020). Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis. *International Journal of Production Economics*, 223, 107599. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107599>
31. McKinsey Global Institute. (2020). *Risk, resilience, and rebalancing in global value chains*. <https://www.mckinsey.com/>
32. International Air Transport Association. (2010). *Volcanic ash cloud disruption*. <https://www.iata.org/>
33. U.S. Congressional Research Service. (2022). *Supply chain disruptions and port congestion*. <https://crsreports.congress.gov/>
34. Statistikaamet. (2023). *Tööstuse majandusnäitajad*. <https://www.stat.ee/>
35. OECD. (2021). *Strengthening the resilience of global supply chains*. <https://doi.org/10.1787/ca1e9f0a-en>

36. World Bank. (2022). *Global economic prospects*. <https://www.worldbank.org/>
37. Repenning, N. P. (2001). Understanding fire fighting in new product development. *Journal of Product Innovation Management*, 18(5), 285–300. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(01\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(01)00103-6)
38. Ivanov, D. (2020). Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis. *International Journal of Production Economics*, 223, 107599. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107599>
39. Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *MIT Sloan Management Review*
40. Brusoni, S., Henkel, J., Jacobides, M. G., Karim, S., MacCormack, A., Puranam, P., & Schilling, M. (2023). The power of modularity today: 20 years of “Design Rules”. *Industrial and Corporate Change*.
41. Freebody, P. (2003). *Qualitative research in education: Interaction and practice*. London: Sage.
42. Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks: Sage Publications.
43. Tankler, M. (2005). *Avastusõppe plussid ja miinused teoorias ja praktikas*. Magistritöö. Tartu Ülikool
44. Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6),

45. Christopher, M., & Peck, H. (2004). *Building the resilient supply chain*. The International Journal of Logistics Management, 15(2), 1–14.
<https://doi.org/10.1108/09574090410700275>

SUMMARY

Designing the Value and Supply Chain of Electronic Hardware Products: The Impact of Design Decisions on Resilience

This thesis examines the value and supply chain of electronic hardware products, with a focus on how risks emerge and how companies can improve their ability to operate under crisis conditions. The study is motivated by the increasing complexity and volatility of global supply chains, particularly in the electronics and defense industries, where component availability, geopolitical factors, and technological dependencies significantly influence production capabilities and business performance.

The aim of the thesis is to provide a systematic overview of value chain structures, identify key risks related to product design and supply chains, and analyze how companies can mitigate these risks to ensure production continuity and competitiveness. The study focuses on a typical mass-produced electronic hardware product used in the defense sector, rather than a specific company or product, allowing for a generalized analysis applicable to a broader industry context.

The research is based on a qualitative analytical approach, combining theoretical frameworks of global value chains, supply chain resilience, and product architecture with practical insights derived from the author's professional experience in electronics manufacturing and supply chain management. The study integrates concepts such as modularity, supply chain dependencies, and organizational load to explain how risks are formed and managed across different stages of the value chain.

The findings show that many critical supply chain risks are not only external disruptions but are largely determined by early design decisions. Component selection, product architecture, and supplier list define the level of dependency within the system and significantly influence the company's flexibility and ability to respond to disruptions. In particular, reliance on specific active components and limited supplier bases creates structural vulnerabilities that can lead to production bottlenecks and further disruptions.

The thesis also demonstrates that the impact of crises on companies is primarily reflected in increased organizational load. Instead of focusing solely on disruptions themselves, the study highlights the importance of understanding how much additional coordination, decision-making, and problem-solving effort is required to manage these disruptions. Companies with highly interdependent systems tend to experience significantly higher organizational strain, which limits their ability to focus on strategic activities such as product development and market expansion.

Also, the study finds that resilience is not primarily achieved through reactive operational measures, but rather through proactive system design. Design principles such as modularity, component standardization, supplier diversification, and the use of strategic buffers can significantly reduce dependencies and improve system flexibility. These measures allow companies to maintain production continuity and respond more effectively to changing conditions.

In the context of small and medium-sized companies operating within global value chains, the study concludes that limited control over external factors does not necessarily imply low resilience. Instead, companies can enhance their resilience through informed design and management decisions, compensating for their weaker position in the value chain.

In conclusion, the thesis demonstrates that resilience in the electronics industry is largely determined by internal decisions made during the early stages of product and supply chain design. Companies that integrate design, manufacturing, and supply chain considerations into a coherent system are better equipped to manage disruptions, reduce organizational load, and maintain competitiveness in an increasingly uncertain global environment.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Tiit Priske

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose: Kriisikindlus elektroonikatööstuses: väärtusahela ja tootedisaini roll riskide kujunemisel.

Mille juhendajad on Liina Joller ja Urmas Varblane,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

1. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

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

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

Tiit Priske