

TARTU ÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Rasmus Lukka

PIIRANGUTE TEOORIA RAKENDAMINE AS BHC NÄITEL

Bakalaureusetöö

Juhendajad: professor Maaja Vadi, Kalev Kaarna

Tartu 2022

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

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. PIIRANGUTE TEOORIA TEOREETILISED SEISUKOHAD.....	5
1.1. Piirangute teooria kujunemine, definitsioon ja olemus.....	5
1.2. Viis keskendumise sammu piirangute teooria vaatenurgast	8
1.3 <i>Trumm-puhver-nööri</i> rakendamine ja tootmise eripära	12
2. PIIRANGUTE TEOORIA METOODIKATE RAKENDAMINE AS BHC PIIRANGUTE KÕRVALDAMISEKS	17
2.1. AS BHC struktuur ja taust ning uurimismetoodikad	17
2.2 AS BHC põhiprotsesside analüüs	20
2.3. Piirangute teoriast tulenevate meetodite rakendamine ja järeldused AS BHC-s	25
Kokkuvõte.....	31
Viidatud allikad.....	34
Lisad.....	36
LISA A.....	37
Poolstruktureeritud eksperdiintervjuu.....	37
LISA B.....	38
Ülevaade intervjuudest.....	38
Summary	39

Sissejuhatus

Tootmissüsteemid on viimastel aastakümnetel mitmete sotsiaalsete ja majanduslike mõjurite tõttu suuresti muutunud. Konkureerimaks pidevalt muutuval turul, on ettevõtte jaoks kriitilise tähtsusega tegevusstrateegia. Vargase jt. (2017) sõnul, on iga ettevõtte keerukas süsteem, mis vajab juhtimisvahendeid, et suurendada tootlikkust ja seeläbi ka kasumit. Tõhus tootmise planeerimine võimaldab tootmisjuhtidel optimeerida ressursse, inimeste, protsesside ja tehnoloogia kasutamist. Tänapäevastele juhtimistöõriistadele pakub huvitavaid alternatiive E. M. Goldratti piirangute teooria (*Theory of Constraints*). See on juhtimisfilosoofia, mis muudab juhtide mõtteviisi ja on oluline tööriist probleemide lahendamisel (Vargas jt., 2017). Piirangute teooria tegevusfilosoofia ja juhtimisdistsipliin võimaldavad ettevõtetel säilitada kasumlikkust ka üha tihedamas konkurentsisis (Pacheco jt., 2021).

Bakalaureusetöö probleemiks on asjaolu, et hüdrosilindrite tootmisega tegeleva ettevõtte AS BHC (Baltic Hydraulic Cylinders) võimekus mõnedes tootmisetappides on muutunud ebapiisavaks. See tuleneb tellimusmahtude suurenemisest ja COVID-19 põhjustatud allhanke detailide tarneprobleemidest. Seoses sellega on tellimuste täitmise tähtajad pikenenud 30 päevalt 45 päevani vastavalt AS BHC tellimuste tabelile.

Käesoleva töö eesmärgiks on piirangute teooria alusel kujundada soovitud tulemuslikkust takistavate tegurite kõrvaldamiseks AS BHC-s. Eesmärgi saavutamiseks püstitatakse järgmised ülesanded:

1. Selgitada piirangute teooriaga seonduvaid põhimõtteid ja käsitlusi tellimuspõhisest tootmisest lähtuvalt;
2. Selgitada välja tegurid, mis takistavad ettevõttel soovitud tulemusteni jõudmist;
3. Teha ettepanekuid, kuidas piirangute teooriast lähtudes takistused kõrvaldada.

Bakalaureusetöös analüüsitakse lähemalt autonoomset, väikese suurusega, tellimuspõhist tootmisettevõtet. Uuritakse piirangute teooriast lähtuvalt ettevõtte tulemuslikkust takistavaid piiranguid ning tulemuslikkuse parandamise ja eesmärkideni jõudmise meetodikaid.

Eesmärgi saavutamiseks on bakalaureusetöö jaotatud kahte ossa: piirangute teooria teoreetiline olemus ning teooria rakendamine AS BHC-s. Esimeses osas tuuakse välja piirangute teooria kujunemine, definitsioon ja selle olemus. Selgitatakse piirangute teooria põhimõtteid ning erinevaid käsitlusi. Põhjalikumalt käsitletakse piirangute teooria meetodikaid, mille abil piirangud leitakse ja kõrvaldatakse.

Bakalaureusetöö teises osas kirjeldatakse sissejuhatavalt ettevõtet AS BHC. Seal antakse ülevaade ettevõtte taustast, struktuurist ja kirjeldatakse põhiprotsesse. Lisaks kasutatakse teises osas piirangute teooria metoodikaid, et tuvastada ettevõtte põhiprotsessides piirangud. Seejärel tehakse järeldused ja antakse ettevõttele soovitusel, kuidas piirangute teooriat efektiivselt rakendada, et eesmärkideni jõuda.

Bakalaureusetöö raames viiakse läbi kvantitatiivne ja ka kvalitatiivne uuring. Andmeid kogutakse esmastest allikatest. Informatsiooni saamiseks tehakse intervjuud ettevõtte juhtivatel positsioonidel olevate töötajatega, kasutatakse ettevõtte tarkavaras NOOM olevaid dokumente ja finantsaruandeid ning viiakse läbi vaatlus. Uurimismetoodikaks on juhtumiuuring. Andmeid kogutakse ja analüüsitakse, et anda hinnang ettevõtte põhiprotsessidele ja leida võimalikud piirangud tootmises.

Märksõnad: piirangute teooria, viis keskendumise sammu, V-A-T analüüs, trumm-puhver-nöör.

1. PIIRANGUTE TEOORIA TEOREETILISED SEISUKOHAD

1.1. Piirangute teooria kujunemine, definitsioon ja olemus

Piirangute teooria sai alguse 1970. aastate lõpus, kui dr. Eliyahu Goldratti naaber, kes tegeles kanakuutide tootmisega, temalt abi palus. Naaber vajab abi tehase ajakava väljatöötamisega, et suurendada toodangut ning E. M. Goldratt töötas välja programmi, mis lühikese aja jooksul kolmekordistas tehase toodangut. (Watson jt., 2007) Boyd ja Gupta (2004) sõnul küündivad piirangute teooria juured tagasi 1970. aastate lõppu, kui arendati välja tootmise planeerimise tarkvarapakett nimega Optimeeritud Tootmistehnoloogia (*Optimized Production Tehcnology*). Watsoni jt. (2007) sõnul kujunes piirangute teooria sellest lihtsast tootmise planeerimise tarkvarast integreeritud juhtimistööriistade komplektiks.

Optimeeritud Tootmistehnoloogia võeti USA suurettevõtete poolt kiiresti kasutusele, kuid vaatamata sellele, tuvastati mõni aasta pärast selle loomist palju ebaõnnestumisi. Selle täiustamiseks lõi Goldratt piirangute teooria, mis levis 1984. aastal kogu maailmas pärast raamatu „Eesmärk” avaldamist. Raamatut müüdi üle 5 miljoni eksemplari, see tõlgiti 21 keelde ja sellest sai kohustuslik lugemine paljudel juhtimiskursustel üle maailma. (Vargas jt., 2017) Raamatul „Eesmärk” on olnud tootmise juhtimisele suur mõju, kuna see on suurendanud teadlikkust piirangute teoriast.

Naor jt. (2013) toovad välja, et hea teooria koosneb neljast põhikomponendist, milleks on definitsioon, tegevusvaldkond, seosed ja prognoositavad väited. Nendega saadakse vastused järgnevatele küsimustele: kes, mida, millal, kus, kuidas, miks ning käsitletakse kuidas saaks, peaks ja võiks. Piirangute teooria täidab neid kriteeriumeid väga hästi. Küll aga

leiavad Naor jt. (2013), et piirangute teooriat tuleks veel edasi uurida teiste kriteeriumite järgi, täiendavalt kontrollida ning täiustada, et saaks moodustada kumulatiivse teadmiste kogumi. Piirangute teooria näol on järelikult tegemist usaldusväärse kontseptsiooniga, kuna see täidab kõik hea teooria kriteeriumid.

Vargase jt. (2017) sõnul võib piirangute teooriat defineerida ka kui juhtimisfilosoofiat, mis keskendub pidevale täiustamisele. See filosoofia lähtub põhimõttest, et igal organisatsioonil on piirangud, mis takistavad eesmärkide saavutamist. Gupta ja Boyd (2008) lisavad, et pidades silmas organisatsiooni võimet liikuda oma eesmärgi suunas, ei saa kõik probleemid olla ahela nõrgimad lülid, mõni probleem peab olema kõige olulisem. See nõrgim lüli võib olla füüsiline ressurss, turunõudluse puudumine oma toodete järele, halvad suhted tarnijatega või muud poliitikad ja mõtteviisid. Niisiis sõltub ettevõtte jõudlus piirangu suurusest. Järjepidevalt kõige olulisema piirangu kõrvaldamine viib ettevõtte soovitud eesmärkideni.

Piirangute teooria juhtimisfilosoofia põhimõtteid kasutades paranevad korraga kolm meedet: läbilaskevõime suureneb ning laoseis ja tegevuskulud vähenevad (Ronen ja Starr, 1990). Watson jt. (2007) toovad samuti välja, et eelnevad uuringud piirangute teooria süsteemidest näitavad suurenenud toodangut ning samal ajal vähenenud laoseisu ja tootmisaega. Järelikult on süsteemne lähenemine ning keskendumine olulisematele üksustele rohkem, optimeeritud tootmistehnoloogia üks olulisemaid kontseptsioone ja selle edu üks peamisi võtmetegureid. Lähenedes süsteemselt, on võimalik parandada ettevõtte näitajaid ja seeläbi suurendada kasumit.

Organisatsiooni eesmärgi saavutamise kiirus määrab kogu süsteemi võimsuse. Piirangute teooria kohaselt on kitsaskohaks kõik see, mis takistab organisatsioonil kõrgema tulemuslikkuseni jõudmist (Gupta ja Boyd, 2008). Ronen ja Starr (1990) lisavad, et üks peamisi probleeme, millega juhtkond silmitsi seisab, on vastuolulised eesmärgid organisatsiooni eri allüksuste, tehaste ja osakondade vahel. Goldratt ja Cox (1998) toovad raamatus "Eesmärk" välja, et ettevõtte eesmärk on suurendada tulu, vähendades samaaegselt nii laoseisu kui tegevuskulusid. Ettevõtte eesmärgi sõnastamisel on seega väga oluline roll süsteemi võimsusele ja organisatsiooni edukusele, ning on tähtis, et see oleks ühtne kõigile allüksustele.

Gupta ja Boyd (2008) toovad välja, et piirangute teooria üks oluline kontseptsioon on läbilaskevõimele orienteeritud mõtlemine (*throughput-world thinking*). Selle kohaselt peaks organisatsioon keskenduma peamiselt läbilaskevõime suurendamisele, mitte kuludele orienteeritud mõtteviisile (*cost-world thinking*). Ronen ja Starr (1990) väidavad, et

läbilaskevõime on määr, millega organisatsioon teenib müügi kaudu tulu. Järelikult ei peaks ettevõtte keskendumisele nii väga kulude vähendamisele või raha säästmisele, vaid müügi suurendamisele. Mida kõrgem on läbilaskevõimele orienteeritus, seda suurem on organisatsiooni jõudlus (Boyd ja Gupta, 2004).

Piirangute teoorias mõõdetakse läbilaskevõimet rahas, mis tähendab, et seda saab kasutada organisatsiooni edusammude mõõtmiseks eesmärgi saavutamisel (Gupta ja Boyd, 2008). Läbilaskevõimele orienteerituse kolm mõõdet on organisatsiooni mõtteviis, tulemuslikkuse mõõtmise süsteemid ja otsuste tegemine. Eelduslikult on ettevõtte parem tulemuslikkus, kui kasutatakse läbilaskevõimele orienteeritud mõtteviisi, rakendatakse selle põhjal raamatupidamist ning otusesd tehakse piirangute juhtimisest lähtudes. (Boyd ja Gupta, 2004) Tabelis 1 on välja toodud juhised, mida tuleks läbilaskevõimet planeerides ja varusid hallates silmas pidada. Juhised on jagatud kolme gruppi vastavalt nende iseloomule.

Tabel 1

Juhised läbilaskevõime planeerimiseks ja varude haldamiseks

Kitsaskohaga seotud	Optimeerimisega seotud	Partiidega seotud
kitsaskohas kaotatud aeg on kogu süsteemi jaoks kaotatud aeg	tasakaalusta voog, mitte võimsus	ülekandepartii ei tohiks alati võrrelda protsessipartiiga
mitte-piirangult säästetud aeg on petlik	aktiveerimine ei võrdu alati ära kasutamisega	protsessipartiid peaksid olema muutuvad, mitte fikseeritud
läbilaskevõimet ja laoseisu reguleerivad kitsaskohad	määrake ajakava, uurides korraga kõiki piiranguid	
piirangud määravad mitte-kitsaskoha kasutamise		

Allikas: Autori koostatud (Ronen ja Starr, 1990) alusel

Juhistest selgub, et piirangukohas kaotatud aeg on kogu süsteemi jaoks kaotatud aeg, sest piirangukohad määravad ära süsteemi jõudluse. Järelikult piirangukohas jõudluse langemine, vähendab maksimaalset läbilaskevõimet. Sellest tulenevalt on ka mittepiirangult säästetud aeg vähesel tähtsusega või tähtsusetu, sest piiranguressurssi ei kasutata kogu aeg. Järelikult suurendab selle ressursi aja säästmine ainult jõudeaega ega aita läbilaskevõimele kaasa. Seepärast määravad piirangud ära mitte-kitsaskoha kasutamise võimsuse ning piiratud ressurss juhib süsteemi väljundit. Tehase võimsuse tasakaalustamine tähendaks tehases kõikide osakondade tootmisvõimsuste samale tasemele viimist. Piirangute teooria kohaselt ei tee selline asi ettevõttele head, kuna iga väiksemgi tõrge võib viia tootmise rütmist välja.

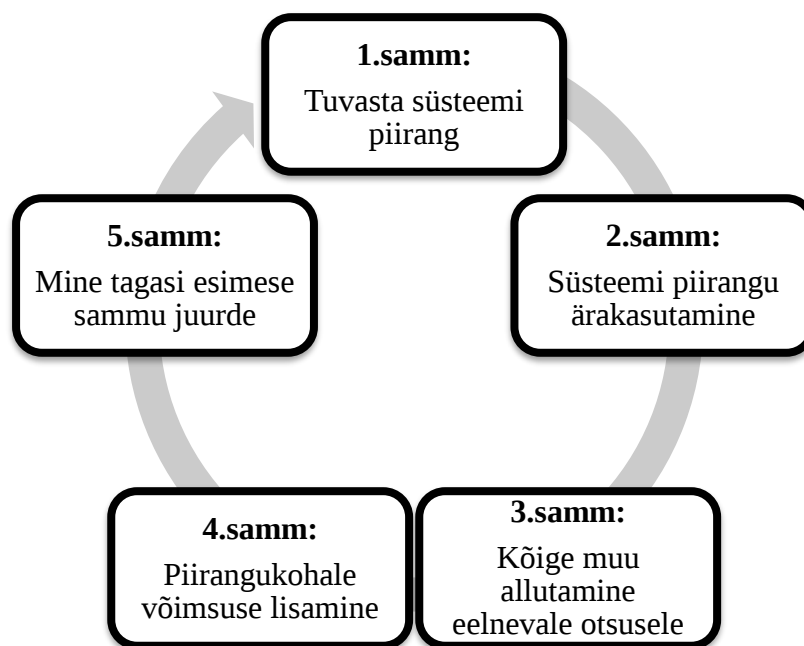
Sujuva tootmise hoidmiseks on vajalik, et eksisteeriks mõningad kitsaskohad, mis määravad tootmise kiiruse ja tagavad tasakaalustatud voo. Veel tuleb juhustest välja, et kui aktiveeritud ressursi ehk tootmisesse lastud materjali ei suuda piirangukoht vähese võimsuse tõttu töödelda, on see lihtsalt liigse laoseisu tekitamine. Lisaks tuuakse veel välja, et partiisid tuleks toota ja järgmisesse osakonda viia osade kaupa ning need peaksid olema muutuvad vastavalt tellimustele. (Ronen ja Starr, 1990)

Spencer ja Coxi (1995) sõnul on juhtidele kõige nähtavam logistikaharu. See koosneb piirangute teooria viiest põhisammu protseduurist, *trumm-puhver-nöör* meetodist ja V-A-T loogilise struktuuri analüüsist, mis liigitab tootmistoimingud tootevoo alusel marsruutide struktuuri ja materjaliarvestuse kaudu. V-A-T loogilist struktuuri kasutatakse tootmisliinide ning jaotussüsteemide projekteerimiseks ja analüüsimiseks. Gupta ja Boydi (2008) sõnul on piirangute teooria juhised protsesside juhtimiseks kolmel tasemel. Kõrgeimal tasemel on kõikide operatsioonisüsteemide vastastikku sõltuvate protsesside komplekt, kus ühe protsessi väljund on sisend teisele protsessile või protsessidele. Organisatsiooni piirangute juhtimine sellel tasemel viiakse läbi kasutades viite keskendumise sammu (*five focusing steps*). Teisel tasemel on loogilise tootestruktuuri ja V-A-T analüüsi kontseptsioon ning kolmandal tasemel on *trumm-puhver-nöör* (*drum-buffer-rope*, DBR) tootmise ajastamise meetod ja puhvrihaldus. Autor lähtub enda töös protsesside juhtimises nendel kolmel tasemel, kuna see võimaldab tuvastada organisatsioonis piirangu algpõhjuse ja aitab seda kõrvaldada. Need kolm meetodit kirjeldatakse laiemalt lahti järgmistes alapeatükkides.

Kokkuvõtteks sai piirangute teooria alguse tootmise planeerimise tarkvara arendamisest ning levis peamiselt tänu raamatu „Eesmärk“ laialdasele levikule üle maailma. See on juhtimisfilosoofia, mis põhineb pidevale süsteemi täiustamisele. Piirangute teooria parandab läbilaskevõimet, vähendades samal ajal laoseisu ja tegevuskulusid, mis on ka ettevõtete eesmärk. Piirangute teooria on keskendunud läbilaskevõime suurendamisele, mitte kulude vähendamisele. Piirangute teooria koosneb viie põhisammu ja *trumm-puhver-nöör* meetodist ning V-A-T loogilise struktuuri analüüsist.

1.2. Viis keskendumise sammu piirangute teooria vaatenurgast

Piirangute teooria seisneb süsteemi pidevas täiustamises. See saavutatakse piirangutega tegeledes ja piirangukoha võimsust arendades, kuni piirang kaob. Rahmani (1998) sõnul kujutab piirangute olemasolu endast arenguvõimalusi. Viis sammu mis on aidanud piiranguid kõrvaldada ja ettevõtete tulemusi parandada üle maailma on toodud välja Goldratti raamatus „Eesmärk“ (vt. joonis 1).



Joonis 1. Piirangute teooria viis keskendumise sammu

Allikas: Autori koostatud (Goldratt, 1990) põhjal

Teadustööd on järjepidevalt viie keskendumise sammu meetodit kirjeldanud, täiendanud ja andnud sellele oma panuse. Goldratti (1990) sõnul võib piirang olla ükskõik milline tegur, aspekt või protsess, mis piirab ettevõtte tulemuslikkust. Veel lisab Goldratt (1990), et piirangute tuvastamine tähendab ka nende tähtsuse järjekorda seadmist, vastavalt nende mõjust eesmärgile. Süsteemi piirangu tuvastamine tuleneb piirangute teooria põhiprintsiibist, mille kohaselt piirangud määravad süsteemi jõudluse (Watson jt., 2007). Pretoriuse (2014) sõnul on võimalik maksimaalset süsteemi jõudlust saavutada ainult siis, kui on teada, kus piirang asub. Seepärast tuleb kitsaskoht tuvastada, et oleks võimalik määrata süsteemi maksimaalne jõudlus. Kuna kitsaskohti võib olla mitu, tuleb alustada kõige tähtsamast.

Piirangu tuvastamine peab Vargase jt. (2017) sõnul algama protsessi varasemast teadmisest. Keskenduda tuleks seejuures protsessis hilinemisele või kohale, mis vajab enim töötunde. Pretorius (2014) toob käsitluse juurde lisaks asukohale ka piirangu iseloomu - tuleb teha selgeks, kas piirang on füüsiline või käitumuslik. Käitumuslik piirang võib olla seotud näiteks juhtimisega või turustamisega. Juhul kui tuvastatud piirang on füüsiline, tuleb jätkata teise sammuga, kui piirang on käitumuslik tuleb liikuda otse neljanda sammu juurde. Järelikult tuleb piirangu leidmiseks analüüsida süsteemi ning otsida kohti, kus tekib hilinemine või ülekoormatus.

Goldratti (1990) sõnul peavad teises sammus kõik mitte-piirangud toetama süsteemi piirangu tõhusat töötamist, millega tagatakse maksimaalne reageerimisvõime ja välistatakse raiskamine. Vargase jt. (2017) sõnul suureneb tootmissüsteemi võimsus, kui juhtkond keskendub piirangukohas ebaproduktiivsete tegevuste kõrvaldamisele. Pretorius (2014) lisab teisele keskendumise sammule, et traditsioonilisele juhtimisele oleks kohane piirangust koheselt vabaneda, kulutades selleks raha. Piirangute juhtimises aga nii ei tehta, sest nii tekiks lihtsalt kuskile mujale uus piirang. Gupta jt. (2010) hinnangul, tuleb kõiki töötajaid, kes on piiranguga vähegi seotud, teadvustada piirangu mõjust süsteemi jõudlusele. Seepärast on teise sammu eesmärgiks suurendada läbilaskevõimet ilma tegevuskulusid või laoseisu suurendamata. Lisaks on oluline, et kõik piiranguga vähegi seotud töötajad oleksid teadlikud piirangust ning selle kõrvaldamise protsessis on igal töötajal tähtis roll. Kui piirang on tuvastatud ja tõhusalt tööle pandud, tuleb liikuda kolmanda sammu juurde.

Kolmanda sammuga püütakse Goldratti (1990) sõnul süsteemis olemas olevate ressursside piires saavutada maksimaalset võimalikku läbilaskevõimet. Gupta jt. (2010) lisavad, et ressursi jõudluse parandamiseks, peaksid kõik piiramata vahendid olema allutatud piiratutele. Seda toetavad ka kolm piirangute teooria põhimõtet (Gupta jt., 2010):

1. ressursse tuleb ära kasutada, mitte lihtsalt aktiveerida;
2. piiranguteta ressursi juures säästetud aeg ei ole oluline, kuna läbilaskevõime sõltub piirangust;
3. piiranguteta ressursi kasutustaset kontrollivad süsteemi piirangud.

Pretoriuse (2014) sõnul määravad piirangud teiste osakondade ja protsesside rakendustaseme võimsuse ja kasutuse. Seetõttu peavad teised protsessid tootma ainult nii palju kui piirangud seda võimaldavad.

Gupta jt. (2010) märgivad veel, et ettevõtte ei tohiks piiranguteta ressursse koguaeg aktiivsena hoidma, sest see tekitab mittevajalikku laoseisu. Kolmandas etapis tehtud otsused suurendavad läbilaskevõimet ning vähendavad laoseisu ja tegevuskulusid ilma lisakulutusi tegemata. Erinevalt eelnevatest käsitlustest toob Pretorius (2014) kolmanda sammu käsitlusse juurde ka otsustamiskoha. Nimelt tuleb otsustada, kas piirangule allutamine on võimalik. Sellega tehakse kindlaks, et valiti õige füüsiline piirang. Kui on valitud vale piirang tuleb naaseda 1. sammu juurde. Lisaks tuleb otsustada, kas süsteemi jõudlus on rahuldav. Kui süsteemi jõudlus on rahuldav, siis tuleb pöörduda tagasi piirangu ärakasutamise (2. samm) ja mitte-piirangu allutamise piirangule (3. samm) juurde. Kui piirang ei ole kontrolli all, on igapäevane esmane juhtimisülesanne ainult mitte-piirangute allutamine piirangule. Kui süsteemi jõudlus ei ole rahuldav, tuleb liikuda edasi 4. sammu juurde.

Neljas samm tähendab Goldratti (1990) hinnangul füüsilise võimsuse lisamist, mis tavaliselt nõuab investeeringuid või kulutusi ning aega, enne kui see lõpetatud saab. Pretorius (2014) toob neljandas sammus välja, et piirangu võimsuse suurendamisel võib tekkida uus piirang tootmissüsteemi mõnes teises tegevuses või jätkuda samas piirangukohas, kuid väiksemas mahus. Gupta jt. (2010) toovad käsitlusse juurde investeeringu tüüpide eristamise - taktikaline ja strateegiline.

Taktikaline võimsuse lisamine tähendab ületunnitööd või töö ajutist tellimist väljastpoolt. Taktikalise võimsuse lisamisega suurendab ettevõtte oma tegevuskulusid, kuid lühiajaliselt rahuldab see turunõudlust. Kui ettevõtte kasutab korduvalt viite sammu, kuid lisab võimsust ainult taktikaliselt, siis tuleb hetk, kus piirang muutub väga kalliks või mitte füüsiliseks. Sellisel juhul peab ettevõtte kasutama strateegilist võimsuse lisamist, et piirang kõrvaldada. Strateegiline võimsuse lisamine tähendab ettevõtte laiendamist või võimsuse suurendamist täiendava kapitaliseadmega. Kui tegu on mittefüüsilise piiranguga, on ettevõttel võimalik viia läbi töötajatele koolitused piirangute teooria rakendamiseks, mõne detaili või materjali allhange või uutele turgudele sisenemine ja uute toodete tutvustamine. (Gupta jt., 2010) Seepärast on strateegilistel otsustel tähtis mõju ettevõttele ning taktikaline otsus aitab pigem ajutiselt.

Sarnaselt Gupta eristab ka Pretorius (2014) kahte alternatiivset sammu. Esimene alternatiivne samm on uue strateegia / käitumise kujundamine. See samm on mõeldud mittefüüsiliste piirangute arvestamiseks, sest seal ei ole tegu ressursinappusega, vaid strateegia on oma olemuselt vigane. Sellisel juhul tuleb töötada välja uus strateegia või muuta käitumist. Kui see on tehtud tuleb jätkata 5. sammuga.

Teine alternatiivne samm on mitte-piirangutele võimsuse lisamine. See on mõeldud olemasoleva piirangukoha liikumise ära hoidmiseks. Seda läheb vaja siis, kui ettevõtte soovib hoida piirangut ühes kindlas kohas. Selleks tuleb ennetavalt lisada võimsust ressursidele, mis on kohe muutumas piiranguks. Kui võimsus on lisatud, tuleb liikuda tagasi kolmanda sammu juurde ja jätkata samale piirangule allutamist. (Pretorius, 2014) Seega tuleb analüüsida, kas soovitakse piirangu liikumist või mitte. Kui ettevõttele on soodne hoida piirangut ühes kindlas kohas, aitab teine alternatiivne samm seda teha.

Viiendale sammule lisavad Vargas jt. (2017), et uue piirangu teke sõltub eelnevalt tehtud otsustest. Gupta jt. (2010) rõhutavad, et selles sammus tuleb keskenduda strateegilistele eesmärkidele ning kõik eelnevates sammudes tehtud otsused tuleb uuesti hinnata nende asjakohasuse ja kohaldatavuse osas. Goldratti (1990) sõnul on oluline jälgida, et viiendat sammu rakendades inerts ei tekiks. See samm teeb piirangute teooriast pideva

täiustamise protsessi. Pretorius (2014) lisab omakorda, et süsteemi tuleb näha uue süsteemina, kus tuleb üle vaadata kõik vanad reeglid ja strateegiad. Järelikult tuleb uue piirangu 1. sammus teha uued reeglid piirangule, mis enne ei olnud piirang ning uued reeglid varasemale piirangule. Viiendas sammus tuleb analüüsida kõike eelnevalt tehtud otsuseid ja liikuda uuesti esimese sammu juurde nii, et sama piirang uuesti esile ei tuleks.

Kokkuvõttes tuvastatakse viie keskendumise sammuga süsteemis piirangud, saavutatakse piirangukoha maksimaalne läbilaskevõime, allutatakse kogu süsteem piirangukohale ning vajadusel lisatakse piirangule võimsust. Kui piirang suudetakse kõrvaldada, võetakse ette uus piirang ning alustatakse uuesti otsast peale, seejuures tuleb jälgida, et eelmine piirang tagasi ei tuleks ning vältida inertsit tekkimist.

1.3 Trumm-puhver-nööri rakendamine ja tootmise eripära

Tellimustöid (*make-to-order*, MTO) tegevad ettevõtted on üha enam tundlikud paindlikkuse, kvaliteedi ja võimega kohaneda tarbijate nõudlusega, sest kliendid nõuavad suuremat valikut ja usaldusväärsemaid tooteid ning lühemaid tarneaegu. Seetõttu on tootmise planeerimis- ja juhtimissüsteemid üliolulised tööriistad klientide järjest kõrgemate nõudmistega ja ootuste täitmiseks. Nende funktsioonide põhieesmärk on poolelioleva töö vähendamine, tarneaegade minimeerimine, nõudluse muutustele reageerimise parandamine ja tarnekuupäeva järgimise parandamine. (Lizarralde Aiastui jt., 2020) Järelikult vajavad tellimuspõhised ettevõtted tootmise planeerimise tööriistu, et kohaneda klientide nõudmistega.

Viiest keskendumisetapist lähtudes arendab Goldratt raamatus “Eesmärk” välja piirangute teoorias kasutatava ajastamismetoodika *trumm-puhver-nöör* (*drum-buffer-rope*, DBR). Boyd ja Gupta (2008) sõnul on *trumm-puhver-nöör* piiratud võimsusega planeerimismeetod, kus kõigepealt planeeritakse piiratud ressurss ja seejärel ajastatakse materjali vabastamine enne piirangut olevate ressursside töötlemisaegade ja piirangu puhvis olevate üksuste töötlemiseks kuluva aja järgi. Tellese jt. (2020) läbi viidud uuring näitab, et *trumm-puhver nöör* meetodi kasutamine tellimuspõhises (*Engineer to Order*, ETO) tootmissüsteemis parandab selle süsteemi tõhusust. *Trumm-puhver-nööri* praktiline rakendamine protsessijuhtimises võib tuua positiivseid tulemusi ettevõtte tulemuslikkuses. Lizarralde Aiastui jt. (2020) hinnangul viitavad vähesed olemasolevad uuringud *trumm-puhver-nööri* paremale jõudlusele tellimustöid tegevate tehaste kontekstis, võrreldes teiste tootmise planeerimise ja kontrolli meetoditega. Järelikult sobib *trumm-puhver-nöör* meetod tellimusi täitvatele tootmisettevõtetele ning see parandab nende tulemusi.

Piirangute teooriat peetakse madala laoseisuga süsteemiks, ning tootlike varude peamine eesmärk on kaitsta süsteemi läbilaskevõimet. Boyd ja Gupta (2008) sõnul on varud *trumm-puhver-nööri*, tootmise planeerimise, ajastamise ja puhvrihalduse piirangute teooria lähenemise põhiohk. Seetõttu on laoseisu suurusel tähtis roll. Kui laoseis on liiga suur võib läbilaskevõime vähendada, sest materjali liigutamine on füüsiliselt raske, asjade jälgimine ja leidmine on raskendatud ning liiga suure laoseisu tõttu on tarneajad pikad, mille tulemuseks on väiksemat tarneaega vajavate klientide läbilaskevõime vähenenud. Teisest küljest, kui varud on liiga väikesed, võib kogu süsteemi läbilaskevõime olla ohus, kuna piirangukohas võib tekkida materjali puudus ning tarnegraafikust võidakse maha jääda. Goldratt soovib nende võimalike probleemide lahendamiseks kasutada puhvreid, peamiselt piirangu ees ja tarnimisel. (Boyd ja Gupta, 2008) Seega tuleb laoseisu suurus hoolikalt planeerida ja need kaitsta puhvritega.

Vastavalt esimesele keskendumise sammule on *trumm-puhver-nööri* süsteemi rakendamiseks vajalik trummi ehk piirangu tuvastamine. *Trumm-puhver-nöör* on mõeldud turu- ja füüsiliste piirangute käsitlemiseks. Kui piirang on tuvastatud saab planeerimise eesmärgiks sünkroniseerida tootmine kliendi nõudmistega. (Watson jt., 2007) Darlingtoni jt. (2015) sõnul dikteerib kõige enam kasutatud ressurss, mis toimib antud tootmissüsteemis võimsuspiiranguna, kogu süsteemi läbilaskevõimet. Trummi nimi tuleneb selle tempo hoidmise omadusest. Liu jt. (2021) lisavad, et trumm on nagu tootmissüsteemi kontrollpunkt, mis on seotud piirangu ja selle ajakavaga. Goldratti (1990) sõnul puudub trummis kaotatud toodangule järelejõudmise võimalus (Darlington jt., 2015). Järelikult sõltub trummist tootmise kiirus ja see määrab ühtlasi ka ajakava planeerimise.

Teine keskendumise samm nõuab strateegilist puhverdamist piirangu ja teiste juhtimispunktide juures. Puhverdamine aitab kaitsta süsteemi võimet koostada ajakava. Puhver on Darlingtoni jt. (2015) sõnul lõpetamata toodangu (*Work-in-Progress*, WIP) ehk tooraine varu, mis asub trummi ees ja on loodud seda kaitsma ebakindluste eest. Puhvri suurus peaks sõltuma trummi tõrkumise tõenäosusest. Watsoni jt. (2007) sõnul on puhvrid strateegiliselt paigutatud, et kaitsta tarnekuupäevi ja vältida materjalide puudusest tingitud piirangute protsesside tööta jäämist. Seega on materjali vabastamine piirangute ajakavaga nihkes kindlaksmääratud aja ehk puhvriga.

Watson jt. toovad käsitluse lisaks kolm erinevat puhvritüüpi (Watson jt., 2007):

1. **Ajapuhvrid** nihutavad tooraine vabastamist tootmisesse lubatud kaitseaja võrra.

2. **Tarnepuhvrid** säilitavad väikest kogust valmis toodangut, mida kasutatakse tähtaegade täitmise kaitsmiseks. Lisaks aitavad tarnepuhvrid paremini reageerida turunõudlusele, võimaldades süsteemil tarnida kaupa lühema täitmisajaga.
3. **Võimsuspuhvrid** eksisteerivad piirangute teooria süsteemis sel määral, et mitte-piiratud ressurssidel on lisavõimsust. Võimsuspuhvrid aitavad säilitada aja- ja tarnepuhvreid perioodidel, mil protsessid kogevad väljundi kõikumisi.

Piirangu ees asuva puhvri ja tarnepuhvri aegasid on võimalik ka arvutada (valemid 1 ja 2) (Liu jt., 2021):

$$(1) \quad C_{Bc} = \frac{(T_{cb} - T_{ce})}{2}$$

$$(2) \quad S_{Bs} = \frac{(T_{sb} - T_{se})}{2}$$

kus C_{Bc} – piirangu puhvri aeg (*Constraint buffer time*),

S_{Bs} = tarnepuhvri aeg (*Shipping buffer time*),

T_{cb} = tegevuste kestus enne piirangu puhvrit halva stsenaariumi korral,

T_{ce} = arvestatud tegevuste kestus enne piirangu puhvrit,

T_{sb} = tegevuste kestus enne tarnepuhvrit halva stsenaariumi korral,

T_{se} = arvestatud tegevuste kestus enne tarnepuhvrit.

Trumm-puhver-nöör kolmas ja viimane komponent on nöör. Nöör allutab piiranguteta masinad piirangule, vabastades varud tootmissüsteemi lähtudes piirangu tarbimismäärast. Watson jt. (2007) väidavad, et nöör on materjali vabastamise mehhanism, mis vabastab materjali esimesele operatsioonile piirangu määratud tempos. Liu jt. (2021) sõnul on nöör termin, mida kasutatakse piiranguressursside ja selle ees olevate ressursside infovahetuseks ja tagasisideks, nii et igaüks neist toodab ainult nii palju, kui kitsaskohad suudavad täita. Selle tagasiside põhjal lähtub kogu kava tootmine kitsaskoha võimekusest.

Darlingtoni jt. (2015) väitel on nöör pikamaa signalisatsioonimehhanism, mis ühendab trummi tootmisjada alguses sisendi ressurssidega. Watson jt. (2007) lisavad, et nööri ulatus ja varude hulk süsteemis määratakse puhvri pakutava piirangu kaitsega. Nöör hoiab süsteemis minimaalset ja püsivat varude taset. Liu jt. (2021) lisavad käsitlusele, et nööre kaks. Esimene nöör määrab kitsaskohas ajakava, et piiranguid vastavalt organisatsiooni eesmärgile ära kasutada ning seejärel allutab teine köis süsteemi kitsaskoha tegevusele. Seetõttu on piirangute teooria süsteemidel traditsiooniliste juhtimismeetoditega võrreldes lühem ja ühtlasem teostusaeg.

Kuna tootmisettevõtteid on erisuguseid, on nende eristamiseks töötatud välja V-A-T analüüs. Darlingtoni jt. (2015) sõnul, on V-A-T klassifikatsioon tuletatud igas vastavas osakonnas toodetud produktide ja materjalide andmete kogumisest (*bill of materials*, BOM), ning see annab kasulikku teavet kõigis osakondades esinevate tavaliste probleemide kohta. Kasutades V-A-T loogilist struktuurianalüüsi, vaadeldes tootmisprotsessi kui süsteemi ning planeerides ja kontrollides materjalivooge kontrollpunktide abil, saab tootmisprotsesse oluliselt parandada. (Management Accounting Committee, 1999) Spencer ja Cox (1995) lisavad, et see on klassifitseerimisskeem, mis tuvastab piirangute teoorias puhvrite asukoha. Seega aitab V-A-T struktuurianalüüs juhtkonnal näha peamisi piiranguid ja tuvastada süsteemi optimaalne läbilaskevõime.

V-A-T klassifikatsioonis on oluline ka tooraine tõrgeteta liikumine läbi tehase erinevate toimingute ning seda kirjeldavad Goldratti (1988) ja Umble ja Srikanthi (1997) sõnul kolm punkti (Gupta ja Boyd, 2008):

1. lahknemispunktid, kus materjali võib muuta kaheks või enamaks selgelt eristatavaks materjaliks / osaks / tooteks;
2. koonduvad koostepunktid, kus kaks või enam materjali / komponenti on kokku pandud, et moodustada üks osa / toode;
3. lahknevad koostepunktid, kus saab kombineerida erinevaid ühiseid osi, et moodustada suur hulk võimalikke tooteid / osi.

Üldjuhul domineerib üks neist kolmest punktide kategooriast tehase toodete ja ressursside koostoimes, mille tulemuseks on kolm peamist tehaste klassifikatsiooni: V-tehased, A-tehased ja T-tehased. V-A-T klassifikatsioon annab ülevaate kolme tüüpi tehastes esinevate tavaliste probleemide põhjustest. (Gupta ja Boyd, 2008) Eri tüüpi tehaste omadused on välja toodud tabelis 2.

V-struktuur tähistab fikseeritud vooluga tootestruktuuri, milles esineb toote variatsioone. Darlingtoni jt. (2015) sõnul toetuvad V-tehased ühele või vähestele hulgale materjalidele, et pakkuda turule laia valikut ainulaadseid tooteid ja teenuseid. Vastavalt piirangute teooriale tuleb V-struktuurides puhvrid luua enne kitsaskohta ja ka pärast seda, et tagada süsteemi minimaalne häire. V-tehases juhib planeerimine otsuste langetamist ja hindamist, mis hõlmab endas piirangute ajakava ja lõppkliendi tellimuste prioriteete ja koguseid. (Management Accounting Committee, 1999) Järelikult on V-tehased minimaalselt toormaterjale, millest tehakse palju ainulaadseid lõpptooteid.

A-tehased sisaldavad suurel hulgal komponente, millest valmistatakse vähesteid lõpptooteid. Tüüpilisemad äriprobleemid A-tüüpi tootmisettevõtetel hõlmavad tööjõu

tulemuslikku rakendamist, kõrget lõpetamata toodangu taset, pikki tarneaegu ja tegevuse kiirendamisest tulenevaid suuri ületunnikuluseid. (Darlington jt., 2015) Üldiselt eksisteerivad tootmispiirkonnas A-struktuuris piirangud, mida tuleb hallata kliendi tellimuste prioriseerimise ja täpselt määratletud ajakavade kaudu (Management Accounting Committee, 1999). Seega on A-tehased paljude toorainetega, kuid väheste ainulaadsete lõpptoodetega.

Viimane kategooria on T-tehas, kus mitmed üldised osad või seotud tooted liiguvad läbi piiratud ja jagatud tööjaamade. T-struktuur pakub mitmeid funktsioone ja valikuid, mille vahel lõpptoote määratlemisel valida. (Management Accounting Committee, 1999) See kategooria sisaldab mõndasi põhikomponente, mis muudetakse väga paljudeks lõpposadeks. Tüüpilised äriprobleemid hõlmavad siin komponentide tarnimise usaldusväärsust ja ostetud osade tarneaega. (Darlington jt., 2015) T-tehaseid iseloomustab palju lõpptooteid, mida tehakse väheste komponentidega.

Tabel 2

V-A-T tüüpi tootmisettevõtete omadused

V-tüüpi	A-tüüpi	T-tüüpi
• Minimaalne arv toormaterjale • Lai valik ainulaadseid lõpptooteid • Toote lahknevus ja eristatavus • Paralleelsed marsruudid masinate vahel • Spetsiaalsed masinad	• Arvukalt toorained • Piiratud valik ainulaadseid lõpptooteid • Osadel erinevad marsruuti ning ei kasuta samu ressursse • Üldised töötluskeskused koos osakondadega	• Arvukalt lõpptoodete kombinatsioone, piiratud arvu komponentidega • Lõpliku kokkupaneku ajakava põhineb tegelikel klientide tellimustel • Tegevuste prognoosimine toimub lao tasemel, sest tootmise teostusaeg on pikem kui kliendile pakutud tarneaeg • Üleliigsed varude tasemed • Liigne ületunnitöö

Allikas: Autori koostatud (Lockamy, 2008) põhjal

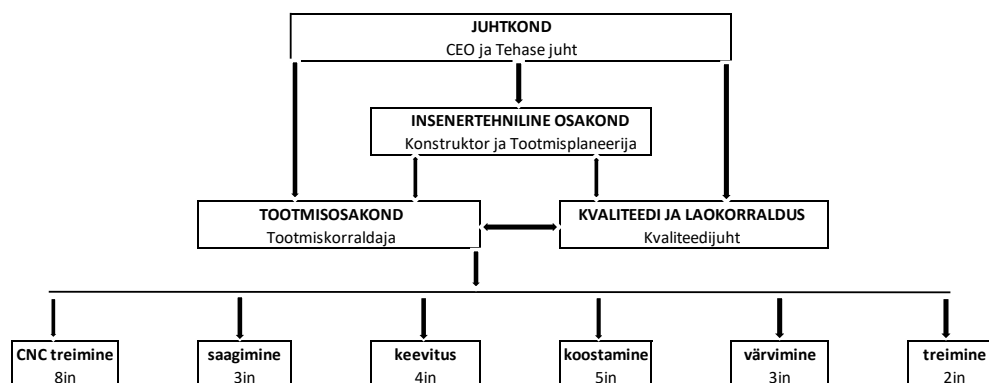
Kokkuvõttes võib käsitletud teadustööde põhjal väita, et *trumm-puhver-nöör* ajastamismetoodika aitab saavutada tellimuspõhistel ettevõtetel paremaid tulemusi. Trumm

toimib võimsuspiiranguna ja määrab läbilaskevõime tempo. Puhver on trummi ees olev varu, mis kaitseb seda ebakindluste eest. Nöör vabastab materjali vastavalt trummi määratud tempole. VAT analüüs aitab selgitada erinevat tüüpi tehastes toorainete ja komponentide liikumise skeeme, mille abil saab materjalide liikumist loogiliselt planeerida.

2. PIIRANGUTE TEOORIA METOODIKATE RAKENDAMINE AS BHC PIIRANGUTE KÕRVALDAMISEKS

2.1. AS BHC struktuur ja taust ning uurimismetoodikad

Empiiriline uurimus on koostatud kõrge kvaliteediliste standard- ja eriotstarbeliste hüdrosilindrite müügi- ja tootmisettevõtte Aktsiaselts (AS) BHC näitel. Ettevõtte kuulub töötleva tööstuse valdkonda, hüdrauliliste ja pneumaatiliste jõuseadmete tootmise allharusse. 2008. aastast AS BHC nime kandev ettevõtte, varasemalt AS ET Viljandi, loodi juba 1960. aastal Viljandis. AS BHC asus esialgu Viljandis Hariduse 12a, 2009. aastal liiguti tootmisega rendipinnale Musta tee. 2017. aastal kolis ettevõtte uude tootmishoonesse Raua tänavale, kus asub nii kontor kui ka tehas. 2022. aastal töötab ettevõttes 31 töötajat, kellest 25 on tootmistöölised ja 6 kontoritöötajat, sh ka keskastme juhid. Organisatsioonis kasutatakse lihtsat funktsionaalset hierarhilist struktuuri, millele on omane vahetu kontroll ja täpne tööülesannete jagamine. Nimelt on ettevõttes kõrge standardiseeritus ja formaliseeritus, arenenud vertikaalne hierarhia ning on toimunud funktsionaalne osakondadesse jaotamine (vt. joonis 2).



Joonis 2. AS BHC organisatsiooni struktuur

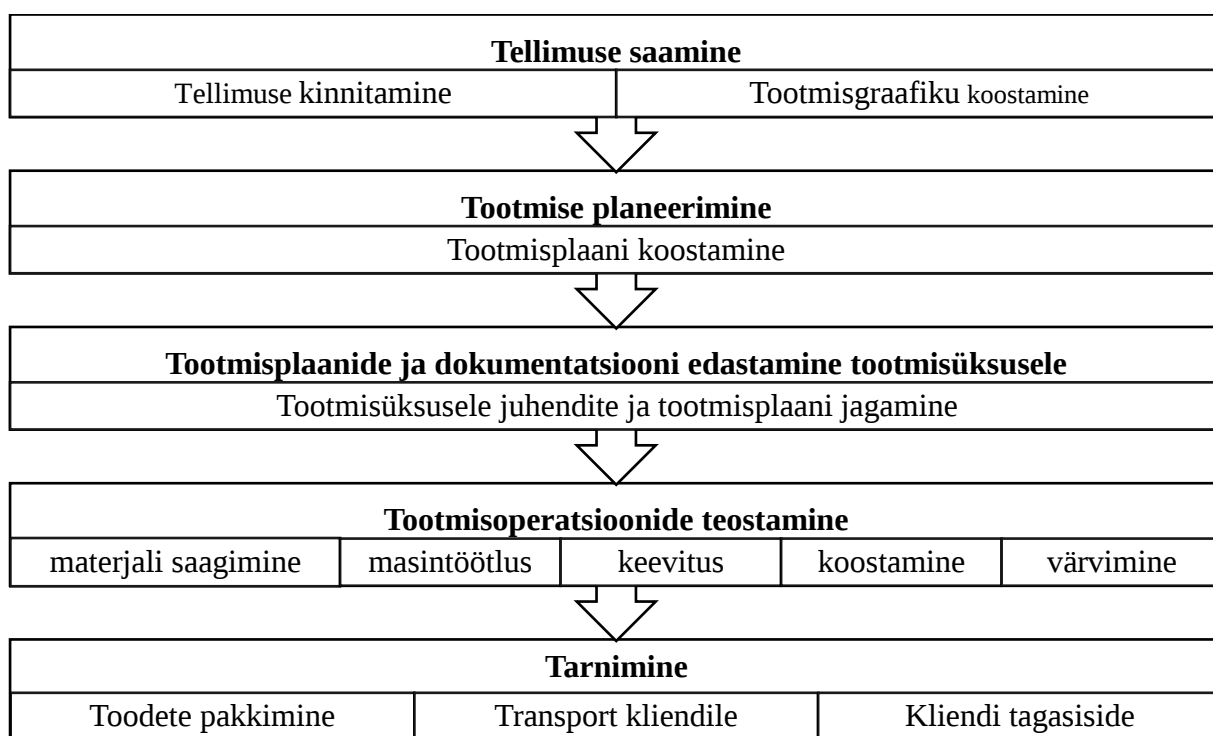
Allikas: Autori kohandatud AS BHC organisatsiooni struktuuri alusel

Töötajate tööstaaž ettevõttes jääb vahemikku 1-16 aastat, 7 töötajat on tööstaažiga üle 10 aasta, nendest 5 on juhtivatel positsioonidel, 11 töötajat on tööstaažiga 5-9 aastat ning 13

töötajat on 1-4 aastase staažiga (AS BHC töölepingute register). Ettevõtte personalipoliitika on vajaduspõhine ning aastas paar korda vaadatakse üle, kas ja kuhu on tööjõudu juurde vaja ning sellele vastavalt koolitatakse tööline ettevõtte siseselt või palgatakse keegi juurde.

Tootmispersonalit väljaõpe toimub kohapeal ning seda viivad läbi kogemustega tootmistöölised. Spetsiifiliste masinate nagu CNC pinkide väljaõpe ostetakse väljast sisse või saadetakse töölised koolitusele, mida viivad läbi tavaliselt seadme müügifirmad. Kuigi tootmispersonal on töökohapõhiselt välja koolitatud, toimub protsessi sees ka vastavalt vajadusele töötajate ümberpaigutusi. AS BHC on tellimuspõhine müügiettevõtte, seega toodang valmistatakse konkreetsele tellijale (*make-to-order* – MTO). Mõningaid detaile toodetakse ka lattu varudeks.

Joonisel 3 on kujutatud ettevõtte tarneahel, mis algab tellimuse saamisega ning lõpeb tarnimisega kliendile. Toote tarnimisel ostab ettevõtte transportimise teenust sisse ning ei oma ise transpordivahendeid. Transporti korraldab ettevõttes tootmiskorraldaja.



Joonis 3. AS BHC tarneahel

Allikas: Autori koostatud tootmistegevuste voodiagrammi 03-01-00 alusel

2006. aastal, kui toimus omanikuvahetus, muudeti ka kogu tootmisfilosoofiat. Strateegia läks tootmispõhiselt üle tasuvuspõhiseks, mis tähendab, et arvutati välja

optimaalsed kogused ning alustati ka toodete standardiseerimisega - vastavalt silindri mõõdule standardiseeriti kasutatavad koostedetailid. Sellega muudeti ettevõtte juhi sõnul tootmist lihtsamaks ja vähendati tootmiskulusid. Ettevõtte on järjepidevalt tegelenud tootearenduse ja selle kvaliteedi tõstmisega ning investeerinud tootmisseadmetesse, et areneda ja kasvada suuremaks ning tõsta ettevõtte käivet. 2017. aastal tuli ettevõtte välja ka enda patenteeritud kaubamärgiga MMO (Mining, Marine, Offshore), mis võeti ka turundusstrateegia kujundamise aluseks. See tähendab et kõik toodetud silindrid vastavad nõuetele, mida läheb vaja kaevandamisel, avamerel või metsanduses. Selleks on toormaterjalid hoolikalt valitud ja testitud ning tootmisprotsess on standardiseeritud ja see koosneb kvaliteedikontrollist, mida iseloomustavad seitse fookust. Lisaks on tellijal tänu spetsiaalselt loodud tarkvarale ülevaade enda tellimuse staatuse igast etapist ning kvaliteedikontrollist.

AS BHC strateegilise plaani kohaselt soovitakse aastatel 2020 - 2023 siseneda enda MMO kaubamärgi all uutele turgudele, täiendada ja arendada unikaalset MMO kvaliteedijuhtimise süsteemi, saavutada 2023. aastaks hüdrosilindrite käibemaht 4,3 miljonit eurot ning aastaks 2025 soovitakse jõuda 5,3 miljoni euron. Lisaks soovitakse vähendada vajaduspõhiselt vahendajate osakaalu ja jõuda otsetarneteni toormaterjalide tootjatelt 80% mahus aastaks 2023.

Bakalaureusetöös läbi viidud uurimus ja andmeanalüüs koosnesid nii kvantitatiivsest kui ka kvalitatiivsest uuringust. Uurimismetoodikana kasutati juhtumiuuringut, mille käigus analüüsiti ettevõtte tootmise põhiprotsesse. Analüüsis keskenduti AS BHC tootmisprotsesside täiustamisele piirangute teooria abil. Andmeid koguti esmastest allikatest viies läbi intervjuusid ja vaatluseid. Lisaks tehti ka dokumendianalüüse, kasutades ettevõtte siseseid andmebaase. Dokumendianalüüsis võimaldas uurida seniste tootmisprotsesside tulemusi ning juhtimise tõhusust.

Esmalt viidi läbi intervjuud ettevõtte juhtivatel ametikohtadel olevate isikutega (tegevdirektor, tootmisjuht, tehase juht, tehnoloog, tootmisplaneerija, kvaliteedijuht, koostamise osakonna juht). Intervjuud viidi läbi, et saada informatsiooni oma ala spetsialistidelt. Intervjueeritavatelt saadi arvamusi ettevõtte tootmise toimimise ning kitsaskohtade olemuse ja paiknemise kohta. Sellega saadi ettevõttesisese arvamuse ülevaade. Intervjuu vormina kasutati eksperdiintervjuud, mis Laheranna (2010) sõnul on poolstruktureeritud intervjuu, mis viiakse läbi teatud valdkonna ekspertidega (vt. lisa A). Intervjuud viidi läbi ettevõtte nõupidamise ruumis ning need kestsid 15-30 minutit. Intervjuud salvestati ning selleks saadi intervjueeritavatelt luba. Intervjuude alguses selgitati,

mis teemal intervjuu läbi viiakse. Intervjuu koosnes kolmest põhiküsimusest, millele küsiti juurde täpsustavaid ja suunavaid küsimusi. Pärast intervjuud tänati intervjuueeritavaid ning lubati soovi korral anda kokkuvõttest ülevaade. Intervjuud analüüsiti ning kodeeriti. Analüüsi käigus selgitati välja, millises põhiprotsessis esineb juhtivate töötajate arvates piirang.

Järgmisena analüüsiti ettevõtte tegevusnäitajaid. Ettevõttes on kasutusel spetsiaalselt ettevõtte jaoks arendatud tootmis- ja raamatupidamistarkvara NOOM, kus on olemas piisavalt andmeid, et põhiprotsesse analüüsida. Analüüsis kasutati AS BHC raamatupidamise aastaaruandeid ja müügitulemuste aruandeid, et anda hinnang ettevõtte eesmärgi täitmisele ja kasumlikkusele. AS BHC töötaja põhist tehtud tööde logi, tootmisgraafikuid ja tehtud tööoperatsioone, et arvutada välja osakondade põhised võimsused, selgitades nii välja takistava võimsusega osakonnad. AS BHC äriplaani ja strateegilist plaani, et leida ettevõtte eesmärgid ja kliendiportfell. Lisaks analüüsiti veel AS BHC protsessiskeemi ja tootmistegevuste voodiagrammi, et saada ülevaade ettevõtte põhiprotsesside toimimisest ja tarneahelast. Uurimismetoodikad valiti sellised, kuna ettevõttel on piisavalt dokumente ja hea andmebaas, mis võimaldab põhiprotsessi andmeid hästi analüüsida ja võrrelda.

2.2 AS BHC põhiprotsesside analüüs

Ettevõtte juhtivatel positsioonidel olevate töötajatega viidi läbi intervjuud, et selgitada välja, mis on ettevõtte eesmärk, kus ja milline on piirang ning kuidas seda kõrvaldada. Intervjuudest selgus, et viiel juhul seitsmest toodi ettevõtte eesmärgiks kvaliteetsed silindrid ja rahulolev klient. Kolmel korral toodi välja eesmärgiks ettevõtte kasvamine ning kahel juhul toodi välja tulu teenimine. Tulu suurendamiseks leiti, et tuleb suurendada tootmismahtu, laiendada uutele turgudele, motiveerida töötajaid ning toota võimalikult efektiivselt. Laoseisu olukorda hinnati heaks ning selle mahus muutusi vaja pole. Tegevuskulude vähendamiseks toodi välja tootmistööliste motiveerimine ning nende teadlikustamine, kuidas efektiivsemalt ja ökonoomsemalt toota. Piirangu osas olid intervjuueeritavad üksmeelel, et piiranguks on allhanke detailide tarneajad ning värvikambri läbilaskevõime. Tarneaegade pikenemine ning värvikambri vähene mahutavus pidurdab ettevõtte võimekust päevas rohkem silindreid välja saata. Seega tuleks piirangu kõrvaldamiseks suurendada detailide tootmise võimekust ettevõtte siseselt ning suurendada värvikambri läbilaskevõimet (vt. lisa B).

Ettevõtte seatud eesmärkide ja kasumlikkuse hindamiseks tuleb analüüsida ettevõtte sooritusnäitajaid. Selleks valiti ettevõtte aastaaruannetest välja näitajad, mille kaudu saab anda hinnangu ettevõtte tulemuste kohta. AS BHC majandusnäitajate põhjal (vt. tabel 3) saab anda hinnangu, et ettevõtte on peaaegu täitnud oma eesmärgid. 2020 aasta müügitulu

eesmärgiks oli ettevõttel 2,8 miljonit eurot ning 2021. aastal 3,3 miljonit eurot. Seega 2020. aastal jäadi küll 400 tuhat eurot alla seatud eesmärgi, kuid 2021. aastal kõigest 40 tuhat eurot. Kuigi ettevõtte müügitulu oli 2019. ja 2021. aastal samaväärsed, siis ärikasum ja aruandeaasta kasum olid küllaltki suure erinevusega. 2019. aastal oli ärikasum 38,8% ja aruandeaasta kasum 68% suurem kui 2021. aastal. Tabelist 3 selgub, et käibevarad on suurenenud 2021. aastal võrreldes 2019. aastaga 50% võrra ning tooraine ja materjalid on suurenenud 42% võrra. Käibevarade hulka kuuluvad ka varud sh. tooraine ja materjalid, järelikult võib pidada sellise vahe põhjustajaks materjali hinnatõusu. Kuna ettevõtte soovib iga aastaga 500 tuhat eurot müügitulu suurendada ning aastaks 2025 jõuda 5,3 miljoni euroni, tuleb pidevalt müügimahtu suurendada. Majandusnäitajatest tulenevalt saame järeldada, et aastatel 2019 - 2021 pole ettevõtte mingil põhjusel müügitulus kasvu teinud. Üheks selliseks põhjuseks võib pidada 2020. aasta ülemaailmset COVID-19 kriisi.

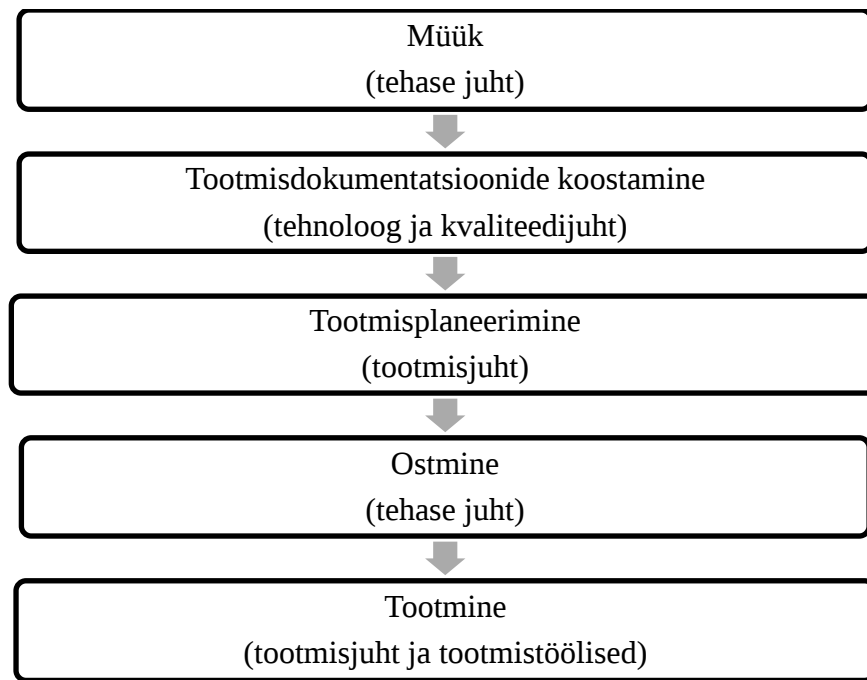
Tabel 3

AS BHC majandusnäitajad 2019 - 2021 (EUR)

Periood	2019.12	2020.12	2021.12
Müügitulu	3 291 544	2 451 913	3 260 666
Ärikasum (-kahjum)	212 509	86 908	155 292
Aruandeaasta kasum (-kahjum)	175 617	34 032	104 449
Käibevara kokku	603 385	615 713	908 229
Põhivara kokku	2 496 288	2 435 486	2 113 110
Tooraine ja materjal	1 773 511	1 365 519	2 525 053
Kokku omakapital	940 355	902 487	935 733

Allikas: Autori koostatud AS BHC 2019 – 2021 aastaaruannete alusel

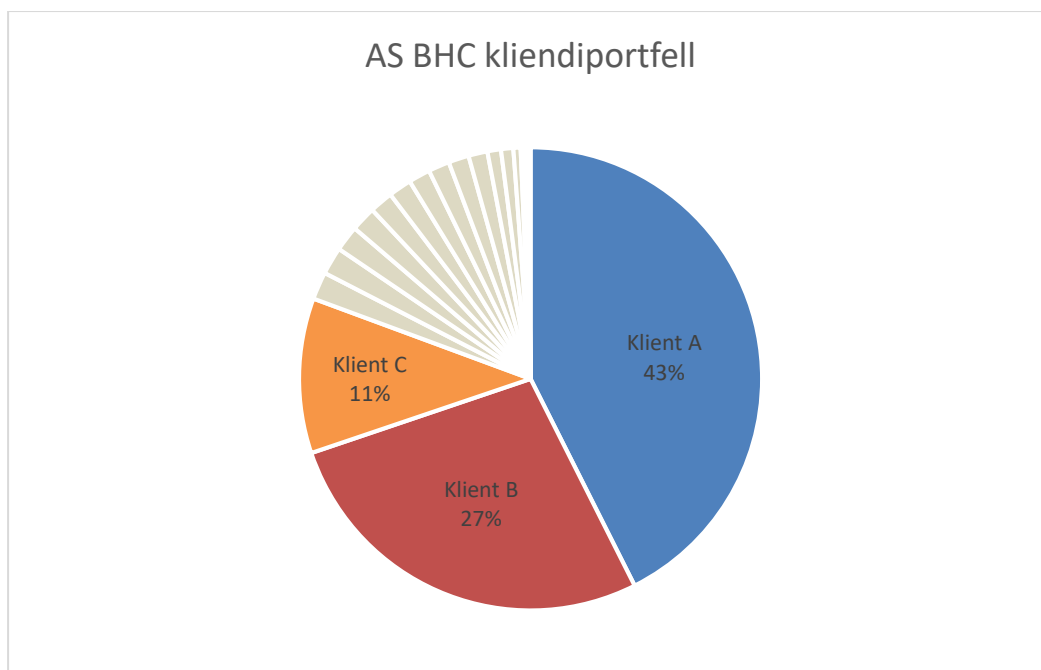
Parema pildi saamiseks tuleb analüüsida ettevõtet kui tervikut. Selleks analüüsime ettevõtte protsessiskeemi (vt. joonis 4), et tuvastada, millised tegurid takistavad ettevõttel seatud eesmärkideni jõudmist.



Joonis 4. AS BHC protsessiskeem

Allikas: Autori kohandatud AS BHC protsessiskeemi alusel

Ettevõtte kliendiportfell koosneb umbes 20st kliendist. Nendest kolm suurimat on osakaaludega 43%, 27% ning 11%, mis moodustab kogu kliendiportfelli 81% (vt. joonis 5). Ülejäänud klientide tellimused on väiksemamahulised ning nende osakaal jääb 1-2% juurde. Enamike klientide näol on tegemist püsiklientidega. Kuna ettevõttel on tellimusi pidevalt vähemalt kolme kuu jagu ees, ning tehas on pidevas töös, siis müügi protsesside taha müügitulu suurenemine jääda ei saa. Seega on vaja suurendada tootmismahutu, et oleks võimalik leida juurde uusi kliente ja seeläbi suurendada käibemahtusid.

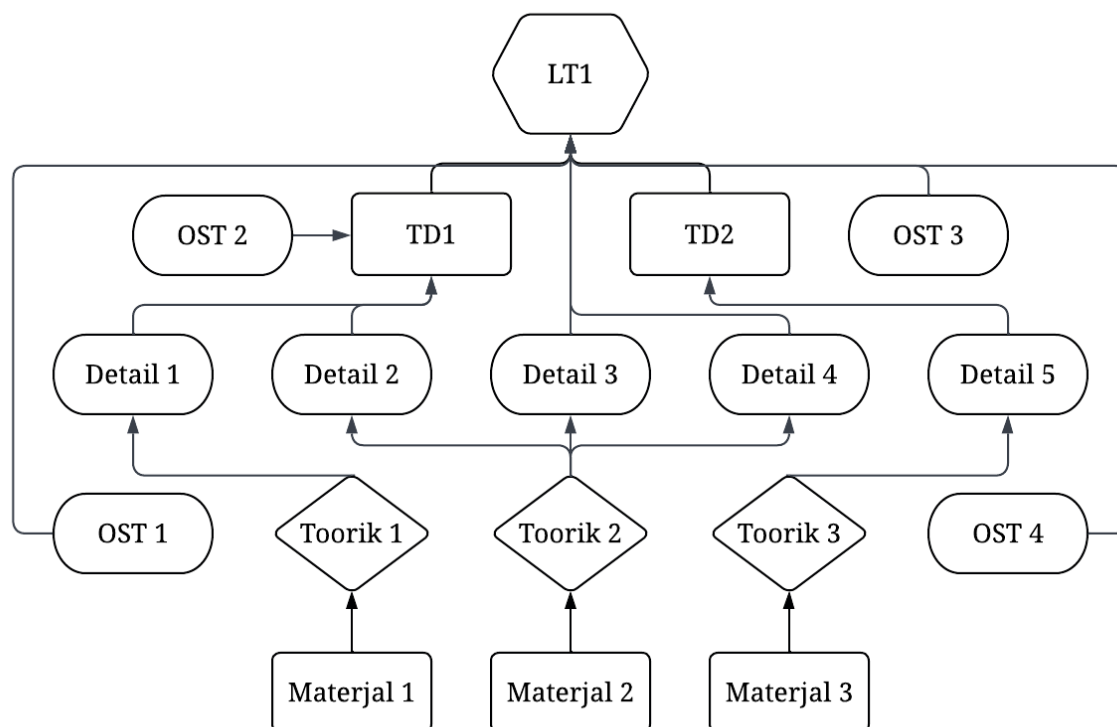


Joonis 5. AS BHC kliendiportfell (2021)

Allikas: Autori koostatud AS BHC äriplaani alusel

Tootmismahu suurendamist piirav tegur võib asetseda ka tehase tootmises mõnes osakonnas. Selle tuvastamiseks tuleb leida osakond, mille võimsus ei ole piisav ettevõtte eesmärgi täitmiseks. Puuduva võimsusega osakonna tuvastamiseks võrdleme iga osakonna tootmisvõimsust müüdnud toodangu mahuga. Tootmine koosneb 5 osakonna koostööst - saagimine, masintöötlus, keevitamine, koostamine ja värvimine. Tootmistööliste töövahetuse pikkuseks arvestatakse 445 minutit, sest ettevõttel on lisaks lõunapausile (30 minutit) ka kaks viieteistkümne minutilist puhkepausi ning üks viie minutiline tervisepaus.

AS BHC hüdrosilindrite tootmine toimub tellimuspõhiselt ning tootmisprotsessid on jaotatud toote valmiduse järgi etappidesse. AS BHC tootmisprotsess on A-tehase tüüpi, sest Darlingtoni jt. (2015) sõnul on A-tüüpi tehasel palju algkomponente, millest tehakse väike arv lõpptooteid (vt. joonis 6). Ettevõtte lõpptoodeteks on erineva suurusega hüdrosilindrid. Darlingtoni jt. (2015) sõnul võivad A-tüüpi tehasele probleemseteks kohtadeks olla detailide liikumise sünkroniseerimine, tööjõu efektiivne kasutamine ning suutmatus tähtaegadest kinni pidada.



Joonis 6. AS BHC A-tehase skeem

Allikas: Autori koostatud AS BHC protsessiskeemi alusel

Materjal 1 – silindri tootmiseks vajalikud erineva läbimõõduga torud

Materjal 2 – silindri tootmiseks vajalikud erineva läbimõõduga vardad

Materjal 3 – silindri väiksemate detailide tootmiseks vajalikud erineva läbimõõduga ümarterased

Toorik 1 – õigesse pikkusesse saetud torud

Toorik 2 – õigesse pikkusesse saetud
ümarterased

Toorik 3 – õigesse pikkusesse saetud
vardad

Detail 1 – masintöödeldud torud

Detail 2 – masintöödeldud tagakaaned

Detail 3 – masintöödeldud esikaaned

Detail 4 - masintöödeldud kolvid

Detail 5 - masintöödeldud vardad

OST 1 – esikaaned

OST 2 – tagakaaned

OST 3 – kolvid

OST 4 – tihendid, laagrid

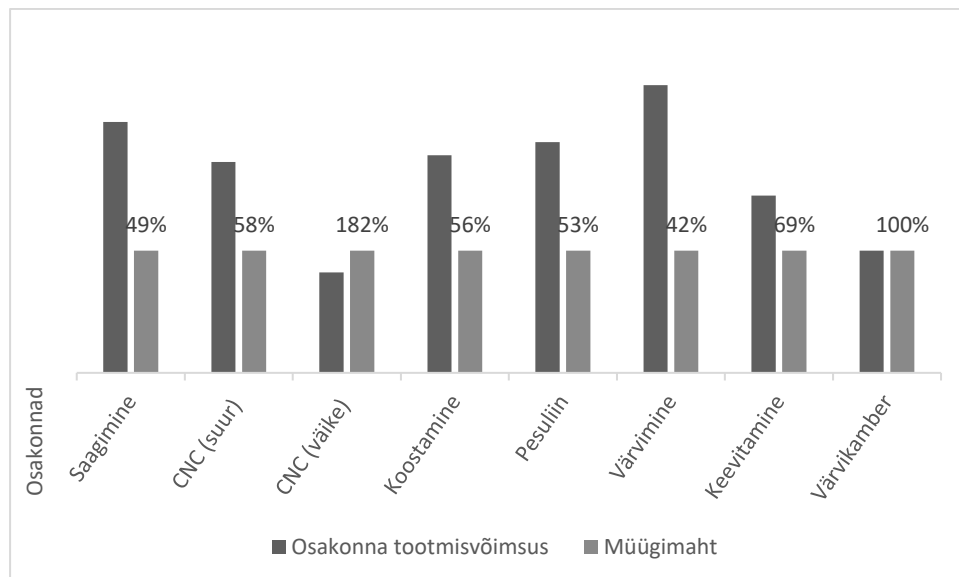
TD1 – töödeldud ja keevitatud torud

TD2 – töödeldud ja keevitatud vardad

LT1 - lõpptööde

Uuringu käigus viidi läbi 2022. aasta jaanuari kuu iga osakonna kohta ühe põhitoote, koodiga 70-40-214, põhjal võimsuse analüüs ja võrreldi seda 2022. aasta jaanuari kuu

müügitulemusega. Selleks analüüsiti iga osakonna tehtud tööde tükipõhist normaega ning arvutati välja osakonna võimsused tükiarvu põhisel. Uuringus võrreldi kõikide osakondade võimsust müügitulemusega, kust selgusid välja võimalikud kitsaskohad (vt joonis 7).



Joonis 7. AS BHC müügitulemus osakonna tootmisvõimsuse kohta protsentides

Allikas: Autori koostatud AS BHC tööde logi, tehtud tööoperatsioonide ja müügitulemuste aruannete alusel

Uuringust selgus, et CNC osakonnal, mis tegeleb väiksemate detailidega, on vähem võimsust kui turunõudlus. See tuleneb sellest, et ettevõtte tellib suure osa detaile allhankest. Värvikambri mahutavus on turunõudlusega sama suur, seega võib pidada ka seda üheks ettevõtte piirangukohaks.

2.3. Piirangute teooriast tulenevate meetodite rakendamine ja järeldused AS BHC-s

Tootmine hakkab materjalide saabudes pihta kõigepealt saagimises, kus lõigatakse vajaliku pikkusega torud, vardad ja detailide toorikud (AS BHC tootmisteggevuste voodiagramm). Hetkel on ettevõttes 3 saameest ning ka 3 saagi. 1 saag poolautomaatne ning 2 on automaatsed, kuid vajalik materjal tuleb tõsta ise ette ning õige toorikupikkus programmi sisestada. Nagu joonisest 7 järeldub, siis saagimise osakonnas on võimsust üle ning seal hetkel piirangut ei eksisteeri.

Masintöötlemise ehk CNC – osakonnas töödeldakse õigesse pikusesse lõigatud toorikuid CNC pinkides. Ettevõttes on kaks CNC pinki, mis tegelevad suuremate toorikute töötlemisega nagu torud ja vardad. Lisaks on kaks CNC pinki, mis tegelevad silindritele esi-

ja tagakaante, kolbide ja pukside ehk väiksemate detailide treimisega. CNC – osakonnas käib töö kahes vahetuses ning seal töötab 8 meest. Analüüsist järeldus, et suuremate toorikutega tegeleva osakonnal on piisaval määral võimsust, kuid väiksemaid detaile töötleva osakonna võimsus jääb turunõudlusele alla. Seepärast tellib ettevõtte väiksemaid detaile ka allhankest - umbes 80% allhankest ning 20% tehakse ise. Seoses COVID-19 põhjustatud tarneaegade pikenemisega on ettevõtte enda tarnetähtajad pikenenud 30- päevalt 45-päevale. Ettevõtte toodab ise ka hädajuhtudeks esi- ja tagakaasi lattu, kuid sellistel puhkudel ei ole see piisav. Seega on väiksemate detailidega tegelev CNC – osakond üheks ettevõtte piirangukohaks.

Piirangu mõju vähendamiseks ja potentsiaalseks kõrvaldamiseks viime läbi viie keskendumise sammu meetodi rakendamise:

1. keskendumise samm (selgita välja piirang) – piiranguna selgitati välja detailide tegemise võimekus, mis väljendub tarneaegade pikenemises ning aegajalt koostamise osakonnas esinevas tööpuuduses. Vastavalt Pretoriusele (2014), tuleb liikuda edasi 2. sammu juurde, kuna tegu on füüsilise piiranguga;
2. keskendumise samm (rakenda piirang maksimaalselt) - CNC pinkide maksimaalne töös hoidmine. Anda juhised CNC operaatoritele, et programmide töötamised ajastada puhkepausidega paremini. Hetkel ei alusta töölised pikemaid programme, kui see takistab neil õigel ajal pausile minemist. Päevas on neli pausi ning iga pausi eelne kadu võib olla potentsiaalselt kuni viis minutit. Kui pikemate programmide puhul teha paus mõned minutid hiljem, saaks tõsta CNC osakonna võimekust kuni 20 minutit päevas, 100 minutit nädalas ning 400 minutit kuus. Väikeseid detaile tootvale CNC osakonnale tähendaks see 1600 minutit kuus lisa, seega saaks osakonna võimsust tõsta kuni 10%. Materjalide paigutamine pärast saagimise protseduure CNC pinkide kõrvale, et CNC-operaatorid ei peaks nende otsimisele ja toomisele aega kulutama. Hetkel kulutatakse päevas kuni 10 minutit materjalide otsimisele ja toomisele. Süstematiseerides materjalide asukohad, saaks potentsiaalselt vähendada kulutatud aega vähemalt poole võrra, mis tõstaks võimsust veel kuni 2,5% (400 minutit kuus). Lisaks tuleb arvutada ja tekitada CNC ette valmis materjalidega puhver, et tõrgete korral hoida töö sujuvana. Tuleb teadvustada ka töötajaid piirangu mõjust (Gupta jt. 2010);
3. keskendumise samm (alluta süsteem piirangule) – saagimise osakond peab ümarterasest toorikut tootma vastavalt väikeste detailidega tegeleva masintöötamise võimsusele, et vältida liigset lattu tootmist;

4. keskendumise samm (lisa piirangule võimsust) – otsustada, kas läheneda strateegiliselt või taktikaliselt. Taktikaliselt saab teha lühiajaliselt ületunnitööd, või osta võimsust sisse. Allhankes esineb probleeme ning ületunnitöö ei ole jätkusuutlik lahendus, seega tuleks läheneda strateegiliselt. Strateegiline lähenemine tähendaks võimsuse lisamist investeringuga, mis tähendaks ühe lisa CNC pingi soetamist, kuna olemasolevatest masinatest ei piisa. Lisamasin annaks detailide tootmisvõimsusele juurde ning vähendab sõltuvust allhankest;
5. keskendumise samm (alusta uuesti 1. sammust) – tuleb vältida inertsit tekkimist, kui uus pink saab soetatud, siis järgmise sammuna vaadatakse üle värvikambri läbilaskevõime, mis piirab silindrite päevast läbilaskevõimet.

CNC – osakonnast liiguvad töödeldud detailid keevitusosakonda, kus keevitatakse torudele külge põhjad ja stutsid ning varrastele silmad. Keevitusosakonnas töötab 4 keevitajat. Hetkel käib keevitusosakonnas töö sujuvalt, kuid analüüsides osakonna võimekust ja müügi mahtu siis on keevitusosakond potentsiaalne järgmine kitsaskoht. Hetkel on seal üks vaba keevituspink olemas, seega kui tootmismahut peaks suurenema, tuleks alustada uue keevitaja otsimist.

Pärast keevitust liiguvad keevitatud osad edasi koostamise osakonda. Sinna liiguvad ka esi – ja tagakaaned ning kolvid otse CNC – osakonnast ja allhankest. Koostamise osakonnas pannakse detailidele tihendid külge ja keeratakse need varrastele. Seejärel ühendatakse need valmis töödeldud torudega, mille tagajärel valmibki hüdrosilinder. Koostamise osakonnas tekib aegajalt tööpuudus, kui detailid allhankest hilinevad, mis viitab CNC – osakonnas asuvale piirangule. Koostamises viiakse läbi ka testimine, mis käib ISO 10100 järgi ning silindreid testitakse 250 barise rõhu all ja kliendi erinõudmisel 600 barise rõhu all, et tuvastada võimalikud lekked. Lekete korral on tegu keevitamise praagiga ning lekkivad silindrid keevitatakse uuesti üle. Lekkeid esineb kuus keskmiselt 0,4%. Hetkel on koostamises võimsust üle. Vastavalt vajadusele aitavad koostajad aegajalt teha ka muid töid nagu saagimine, puurimine ja pressimine.

Värviosakond koosneb pesuliinist ja värvikambrist, kus toimub silindrite värvimine. Peale koostamist lastakse silindrid läbi pesumasina, et enne värvimist õli ja mustus eemaldada. Seejärel riputatakse silindrid kuivama ning pärast kuivamist liiguvad need värvikambrisse. Pesuliinil töötab kaks töolist ning värvikambris töötab üks värvija. Värvikambri suuruseks on hetkel 62m² ja läbilaskevõimeks maksimum 166 silindrit ööpäevas. Seega on värvikambri mahutavus hetkel müügi mahuga samaväärne. Tootmishoone projekteerimise ajal 2016. aastal soovisid kliendid värvituna vaid 30% toodetest, kuid hetkel

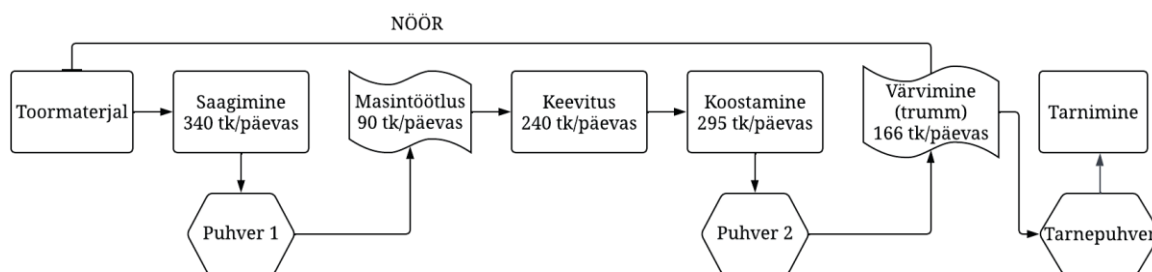
on see kasvanud peaaegu 90%-ni. Seega väiksema mahu jaoks arvestatud värvikamber piirab tootmismahтусid ja klientide teenindamine on kohati häiritud. Peale värvimist peavad silindrid kuivama 8 tundi spetsiaalses 60 kraadises värvikambris ning ruumipuuduse tõttu ei ole vahepeal lihtsalt võimalik rohkem silindreid värvida. Seega piirab värvikamber ettevõtte päevas rohkemate silindrite välja müümist. Värvijal võimekust jagub ning värvikambri suurenemisel esialgu värvijat juurde vaja ei lähe.

Viie põhisammu rakendamine värvikambri läbilaskevõime käsitlemisel:

1. põhisamm (selgita välja piirang) – piiranguna selgitati välja värvikambri mahutavus, mille läbilaskevõime ei võimalda ettevõtte müügimahtu ja käivet suurendada. Pretoriuse (2014) käsitluse põhjal liigume edasi 2. sammu juurde;
2. põhisamm (rakenda piirang maksimaalselt) - värvikamber tuleb hoida maksimaalselt täidetud, arvutada ja tekitada värvikambri ette puhver silindritega, et ei tekiks hetke, kus värvijal poleks tööd. Gupta jt. (2010) hinnangul tuleb teadvustada töötajaid piirangust ja selle mõjust;
3. põhisamm (alluta süsteem piirangule) – mittepiiranguga osakonnad peavad töötama vastavalt piirangule, et mitte tekitada üleliigset laoseisu, kuid piisavalt, et piirangukohas oleks koguaeg töö olemas. Tuleks leida kliente, kes ei vaja silindrite värvimist ja suurendada seeläbi müüki;
4. põhisamm (lisa piirangule võimsust) – Taktikaliselt oleks võimalik teha nädalavahetustel ületunnitööd, mida ettevõtte hetkel töötaja saadavusel juba rakendab. Siiski ei kata see puuduvat võimsust ning pikemaajaliselt see probleemi ei lahenda. Strateegiliselt võimsust lisades läheb tarvis investeeringut. See tähendaks värvikambri suurendamist ehituse näol. Suurem värvikamber mahutaks rohkem silindreid ning võimaldaks suurendada tootmis- ja müügimahtusid;
5. põhisamm (alusta uuesti 1. sammust) – vältida inertsit tekkimist, kuid inertsit tekkimise tõenäosus on väike, kuna värvijal jagub võimsust rohkemaks ning piirang on puhtalt värvikambri suurus. Järgmisena tuleb jälgida keevitusosakonda, mis tõenäoliselt saab uueks piirangukohaks, kuna sealne tootmivõimsus on võrreldes teistega väiksem.

Põhitoot 70-40-214 analüüsist järeldus, et *trumm-puhver-nöör* meetodit kasutades tuleks luua puhvrid enne väikeseid detaile tootvat masintöötluste osakonda, enne värvimise osakonda ning enne tarnimist kliendile (vt. joonis 8). Väikeseid detaile tellitakse ka allhankest, kuid kuna masintöötluste võimsus on madalam kui teistel osakondadel, tuleks seda osakonda toetada ning maksimaalselt töös hoida. Värvikamber, mis on õigeaegse allhanke

korral ettevõtte piiranguks vajab samuti enda ette puhvrit, et hoida tööd võimalikult sujuvana ning säilitada maksimaalne müügiimaht.



Joonis 8. AS BHC soovituslik *trumm-puhver-nöör* meetodi kasutamine

Allikas: Autori koostatud AS BHC tootmistegevuste voodiagrammi ja arvutatud võimsuste alusel

Puhvri aegade arvutamiseks tuleb leida ajad, mis igal osakonnal üheks põhitooteks oleva silindri 70-40-214 töötlemiseks kulub. Need on leitavad ettevõtte tarkvarast NOOM, kus on toodud välja iga töötaja põhiselt töödele kulutatud ajad. Sealt võetud andmete põhjal on toodud põhitoote põhised ajad tabelis 4. Tabelis on tarkvara NOOM poolt tööle arvestatud ajad ja maksimaalsed ajad, mis on toote komponentide tegemisele kulunud.

Tabel 4

AS BHC erinevate osakondade mõõtmistulemused põhitoote 70-40-214 tootmiseks kulunud ajad 2022. jaanuar - märts seisuga

Osakond	1 tk valmimise aeg (arvestatud)	1 tk valmimise aeg (maksimaalne)
Saagimine	1,7 min	2,2 min
Masintootlus	3,5 min	4,5 min
Keevitus	3,75 min	4,3 min
Koostamine	6 min	8 min
Pesuliin	1,5 min	2 min
Värvimine	1,2 min	2 min

Allikas: Autori koostatud AS BHC tööde logi alusel

Võttes maksimaalseks müügiimahuks 166 silindrit päevas, mis on värvikambri maksimaalne läbilaskevõime ning kasutades Liu jt. (2021) välja toodud valemit leiame puhvrite ajad tabelis 5.

Tabel 5

Puhvri aegade arvutused

	Eelnevate tegevuste maksimaalne aeg (Tcb)	Eelnevate tegevuste arvestatud aeg (Tce)	$CBc = (Tcb - Tce) / 2$ $SBs = (Tsb - Tse) / 2$
Puhver 1 (CBc)	365 minutit	282 minutit	41,5 minutit
Puhver 2 (CBc)	3486 minutit	2730 minutit	378 minutit
Tarnepuhver (SBs)	3818 minutit	2910 minutit	454 minutit

Allikas: Autori koostatud tabel 3 arvutuste põhjal

Järelikult oleks ettevõttel soovitatav luua antud põhitoote puhul väikeste detailide masintöötluste ette puhver 41,5 minutit, värvikambri ette tuleks luua puhver 378 minutit ning tarnepuhver peaks olema 454 minutit, mis tähendab umbes 25 komplekti silindri 70-40-214 komponente / silindrit. Hoides selliseid puhvreid, saab ettevõtte vältida, et piirangukoht, mis määrab ära läbilaskevõime, oleks pidevalt töös. Tarnepuhver aitab vältida tellimuste hilinemist kliendile. Seega aitavad puhvrid hoida ettevõttel maksimaalset läbilaskevõimet ning tarnida kaupa õigeaegselt.

Lähtuvalt Gupta jt. (2010) soovib autor juhtidel anda edasi töötajatele piirangute teooria põhimõtted ja selle rakendamiseks vajalikud meetodikad. Lisaks teadvustada juhtkonda ja ka töotajaid ettevõtte kui tervikliku süsteemi eesmärkidest. Töötajatele tuleks selgitada, kuidas eesmärkideni jõuda ning mida neilt oodatakse, et tõsta töötajate motivatsiooni ja nende efektiivsust. Seeläbi võivad väheneda ka ettevõtte tegevuskulud.

Viite põhisammu soovib autor kasutada kahe piirangu puhul. Väikeste detailidega tegeleva masintöötluste ning värvimise puhul. Värvikambrit peab autor suuremaks piiranguks, kuna õigeaegsete allhanke detailide tarneaegade korral on masintöötluste võimsus tagatud. Siiski tuleb masintöötlust tema vähese võimsuse pärast vaadelda kui piirangut, et hoida selle tootmisvõimsus maksimaalne.

Masintöötluste piirangu puhul on seni kasutatud väljast teenuse sisseostmist, kuid allhanke detailide tarnimine on muutunud ebakindlaks. Piirangute teooria viie keskendumise sammu meetod toob välja, et piirangut maksimaalselt rakendades ehk pause paremini ajastades ja süsteemsemalt materjale paigutades, saab tõsta selle võimsust koguni kuni 12,5%. Piirangule strateegiliselt lähenedes ja võimalusel investeerides veel ühte väikseid

detaile tegevasse CNC pinki, tõuseks väikeseid detaile töötleva CNC osakonna võimekus kasvaks 50% võrra, vähendades sõltuvust allhanke detailidest. Kasutades *trumm-puhver-nöör* meetodit soovitab autor luua masintöötluste ette puhver umbes 25 komplekti silindrite komponentidega. Selline puhver võimaldab eelneva osakonna tõrgete korral hoida masintöötlust töö 41,5 minutit, mis on piisav, et tagada potentsiaalselt maksimaalne masintöötluste võimsus. Kuna tehtud analüüsid olid ühe toote põhised, võib vajalik puhvri suurus varieeruda erinevate toodete vahel. Seega tuleks arvutada ka teiste põhitoodete vajalikud puhvrid ning luua optimaalne suurus, mis tagaks sujuva tootmise.

Värvimise puhul on piiranguks puhtalt olemasoleva kambri mahutavus. Viie keskendumise sammu meetodist tulenevalt vajab ka see piirang strateegilist lähenemist. Seega tuleks võimalusel värvikambrit suurendada või ümber ehitada. AS BHC tellitud silindrite värvimisvõimekuse auditi kohaselt tuleks värvimisvõimekuse suurendamiseks 500 ühikuni teha juurdeehitus hoonele 250m². Sellise värvimisvõimekuse korral saaks uueks piiranguks keevituse osakond, mille võimekus on hetkel kuni 240 ühikut päevas. Müügitulu suurenemisel 240 silindri päevas kasvaks ettevõtte käive kuni 4,6 miljoni euroni. See tähendab käibemahu kasvu 1,3 miljonit eurot, mis täidaks ettevõtte eesmärgi jõuda 2024 aastaks 4,2 miljoni euroni. Ehitustegevus tuleks planeerida suvele, kui tehas on kollektiivpuhkusel, et vältida tootmise takistamist. *Trumm-puhver-nöör* meetodit kasutades soovitab autor luua värvimise ette samuti puhvri. Lisaks peaks värvimise ja materjali vabastamise vahel olema nöör, ehk teised osakonnad peaksid töötama värvimise määratud võimsusel. Ka siin on soovituslik puhvri suurus umbes 25 toodet, mis on piisav hoidmaks maksimaalset läbilaskevõimet eelnevate osakondade tõrgete puhul. Siiski tuleks ka teiste põhitoodetega arvutused teha ja luua optimaalse suurusega puhver. Lisaks soovitab autor luua ka põhitoodetele tarnepuhvrid, mis meetodist tulenevalt tagavad tellimuste õigeaegsed täitmised.

Kokkuvõttes võib järeldada, et piirangute teooria rakendamisel tellimuspõhises tootmisettevõttes on suurt potentsiaali ja see aitab ettevõtte püstitatud eesmärgi saavutada. Piirangute teooria aitab tuvastada piirangu asukoha ning rakendades selle meetodeid, saab piirangukohas võimsust tõsta. Võimsust on mõnikord võimalik tõsta ka investeeringuid tegemata, kuid üldjuhul tuleb pikemas perspektiivis siiski läbi investeeringute võimsust lisada.

Kokkuvõte

Piirangute teooria on pideval täiustamisele keskenduv juhtimisfilosoofia, mida rakendatakse paljudes ettevõtetes. Sellega tehakse paremaks keerukate süsteemide toimivust

ning see suurendab läbilaskevõimet, vähendab laoseisu ja tegevuskulusid. Piirangute teooria kohaselt takistab piirang ettevõtte oma eesmärkideni jõudmist. Piirangute teooria kasutab läbilaskevõimele orienteeritud mõtlemist ning organisatsioon peab keskenduma antud võime suurendamisele. Organisatsiooni jõudlus sõltub suuresti läbilaskevõime orienteeritusele, mille kolm mõõdet on organisatsiooni mõtteviis, tulemuslikkuse mõõtmise süsteemid ja otsuste tegemine.

Piirangute teooria komponentidest füüsiliste piirangutega tegelev logistikaharu sisaldab endas viie keskendumise sammu, *trumm-puhver-nööri* ja puhvri haldamise planeerimise metoodikat ning V-A-T loogilise struktuuri analüüsi. Viis keskendumise sammu on piirangute teooria aluseks. Sellega tuvastatakse süsteemi piirangud, rakendatakse süsteemi piirangud maksimaalselt ära, allutatakse kõik muu piirangutele, lisatakse piirangukohale vajadusel võimsust ning kui piirang kaob, minnakse uuesti algusesse uut piirangut tuvastama, vältides inertsi.

Trumm-puhver-nöör metoodika on piirangute teoorias kasutatav piiratud võimsusega planeerimismeetod, mis aitab ajastada materjali vabastamise. Selle abil käsitletakse turu- ja füüsilisi piiranguid. Kõigepealt tuleb tuvastada trumm, mis on enim kasutatud ressurss süsteemis. Trumm dikteerib läbilaskevõimet ehk see määrab tootmise kiiruse. Trummi järgi koostatakse tootmisgraafik. Puhvrid tagavad tootmisgraafikus püsimise ning selle suurus sõltub trummi tõrkumise tõenäosusest. Puhvrid aitavad vältida piirangukohtade tööta jäämist. Eristatakse ajapuhvreid, tarnepuhvreid ja võimsuspuhvreid. Nöör allutab piiranguteta masinad piirangule, tagades infovahetuse ja tagasiside, et toodetaks ainult nii palju kui kitsaskohad suudavad täita. Nöör vabastab materjali esimesele operatsioonile trummi määratud tempos.

V-A-T analüüs kirjeldab materjalide voogu operatsioonide kaudu. V-A-T analüüs hõlmab endas kitsaskohtade tuvastamist ja strateegiliste puhvrite lisamist operatsioonide juhtimiseks. See klassifitseerimisskeem tuvastab puhvrite asukoha ning sellel on kolm peamist tehaste klassifikatsiooni. V-tehased sisaldavad vähest hulka materjale, kuid toodavad laia valiku ainulaadseid tooteid ja teenuseid. A-tehased toodavad väikese arvu ainulaadseid lõpptooteid, kuid sisaldavad suurel hulgal komponente ja materjali. T-tehased sisaldavad vähesteid komponente, millest toodetakse arvukalt lõpptooteid ning kokkupaneku ajakava põhineb klientide tellimustel.

AS BHC on kõrgekvaliteediliste hüdrosilindritega tegelev tellimuspõhine müügiettevõtte, kus toodang valmistatakse konkreetsele tellijale, kuid mõningaid standardiseeritud detaile toodetakse ka lattu varudeks. Ettevõtte tarneahel algab tellimuse

saamisega ning lõppeb tarnimisega kliendile. Transportimise teenust ostab ettevõtte sisse ning ise transpordivahendeid ei oma. Ettevõtte protsessiskeem koosneb müügist, tootmisdokumentatsioonide koostamisest, tootmise planeerimisest, materjalide ostmisest ja tootmisest. Tootmine koosneb viiest osakonnast - saagimine, masintöötlus, keevitamine, koostamine ja värvimine. Ettevõtte soovib siseneda enda MMO kaubamärgi all uutele turgudele, täiendada ja arendada unikaalset MMO kvaliteedijuhtimise süsteemi ning saavutada aastaks 2025 käibemaht 5,3 miljonit euront. Lisaks soovitakse aastaks 2023 jõuda otsetarneteni toormaterjalide tootjatelt mahus 80%.

Uuringust selgus, et ettevõttes on hetkel kaks piiravat tegurit - väikeste detailide masintöötamise võimsus ja värvikambri läbilaskevõime. Masintöötamise piirang tuleb allhanke detailide tarne ebakindlusest. Värvikambri läbilaskevõimet piirab puhtalt värvikambri mahutavus ja värvimisprotsess, mis eeldab kõikide värvitud toodete kaheksa tundi kuivamist 60 kraadisel temperatuuril. Piirangute teooria viiest keskendumise sammust lähtuvalt, on võimalik masintöötamise võimsust investeeringuid tegemata tõsta kuni 12,5%. Ostes juurde ühe väikeseid detaile töötleva CNC pingi, tõuseks antud CNC osakonna võimsus poole võrra. Värvikambri võimekuse tõstmiseks saab läheneda ainult strateegiliselt ning investeerida juurdeehitusele. Tõstes värvikambri läbilaskevõimet 500 ühikuni päevas, suureneks müügitulu kuni 39%. Uueks piiravaks osakonnaks saaks tõenäoliselt keevituse osakond, mille võimekus oleks päevas teha kuni 240 silindrit.

Trumm-puhver-nöör meetodit kasutades saab ettevõtte tagada tootmise sujuvuse. Rakendades puhvreid masintöötamise ja värvikambri ees, mahuga umbes 25 toorikut / silindrit, suudetakse hoida piisavat varu, et tõrgete korral piirangu kohad maksimaalselt töös hoida ning maksimaalne läbilaskevõime säilitada. Kasutades tarnepuhvrit saab ettevõtte tagada õigeaegse tellimuste tarnimise klientidele.

Bakalaureusetöö edasiarendusena toob autor välja võimaluse rakendada piirangute teooriat koos teiste juhtimisfilosoofiatega. Lisaks võiks viia läbi analüüsid rohkemate põhitoodetega, et selgitada välja täpsemalt ettevõttele vajalikud puhvrite suurused.

Viidatud allikad

1. AS BHC majandusaasta aruanne 2019
2. AS BHC majandusaasta aruanne 2020
3. AS BHC majandusaasta aruanne 2021
4. AS BHC protsessiskeem
5. AS BHC strateegiline plaan
6. AS BHC tehtud tööde logi 2022
7. AS BHC tootmisgraafik
8. AS BHC tootmistegevuste voodiagramm
9. AS BHC äriplaan
10. Boyd, L., & Gupta, M. (2004). Constraints management: What is the theory?
International Journal of Operations & Production Management, 24(4), 350–371.
<https://doi.org/10.1108/01443570410524631>
11. Darlington, J., Francis, M., Found, P., & Thomas, A. (2015). Design and implementation of a Drum-Buffer-Rope pull-system. *Production Planning & Control*, 26(6), 489–504. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.926409>
12. Goldratt, E. M. (1990). *Theory of constraints*. North River Croton-on-Hudson.
13. Goldratt, E. M., & Cox, J. (1998). *Eesmärk*. Fontese Kirjastus.
14. Gupta, M. C., & Boyd, L. H. (2008). Theory of constraints: A theory for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 28(10), 991–1012. <https://doi.org/10.1108/01443570810903122>
15. Gupta, M., Chahal, H., Kaur, G., & Sharma, R. (2010). Improving the weakest link: A TOC-based framework for small businesses. *Total Quality Management & Business Excellence*, 21(8), 863–883. <https://doi.org/10.1080/14783363.2010.483108>
16. Institute of Management Accountants & Arthur Andersen LLP. (1999). *Theory of constraints (TOC) management system fundamentals*. The Institute.
17. Laherand, M.-L. (2010). *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn : Sulesepp.
<https://dspace.ut.ee/handle/10062/68249>

18. Lizarralde Aiastui, A., Apaolaza Perez de Eulate, U., & Mediavilla Guisasola, M. (2020). A strategic approach for bottleneck identification in make-to-order environments: A drum-buffer-rope action research based case study. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(1), 18. <https://doi.org/10.3926/jiem.2868>
19. Liu, X., Shen, L., & Zhang, K. (2021). Estimating the Probability Distribution of Construction Project Completion Times Based on Drum-Buffer-Rope Theory. *Applied Sciences*, 11(15), 7150. <https://doi.org/10.3390/app11157150>
20. Lockamy, A. (2008). Examining supply chain networks using V-A-T material flow analysis. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(5), 343–348. <https://doi.org/10.1108/13598540810894924>
21. Naor, M., Bernardes, E. s., & Coman, A. (2013). Theory of constraints: Is it a theory and a good one? *International Journal of Production Research*, 51(2), 542–554. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.654137>
22. Pacheco, D. A. de J., Antunes Junior, J. A. V., & de Matos, C. A. (2021). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy? *International Journal of Production Economics*, 235, 107955. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107955>
23. Pretorius, P. (2014). Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps. *International Journal of Production Research*, 52(2), 496–506. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.836612>
24. Rahman, S. (1998). Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(4), 336–355. <https://doi.org/10.1108/01443579810199720>

25. Ronen, B., & Starr, M. K. (1990). Synchronized manufacturing as in OPT: From practice to theory. *Computers & Industrial Engineering*, 18(4), 585–600.
[https://doi.org/10.1016/0360-8352\(90\)90017-G](https://doi.org/10.1016/0360-8352(90)90017-G)
26. Spencer, M. S., & Cox, J. F. (1995). Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): Analysis and genealogy. *International Journal of Production Research*, 33(6), 1495–1504. <https://doi.org/10.1080/00207549508930224>
27. Telles, E. S., Lacerda, D. P., Morandi, M. I. W. M., & Piran, F. A. S. (2020). Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, 222, 107500. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.021>
28. Vargas, P., Kipper, L. M., Emmel Silva, A. L., da Silva, F. L., & Kessler, G. Z. (2017). TOC'S Five-Step Cycle: An Approach to Instant Results and Cultural Change. *International Journal of Engineering Research and Science*, 3(10), 01–09.
<https://doi.org/10.25125/engineering-journal-IJOER-AUG-2017-13>
29. Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25(2), 387–402. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.004>

LISA A

Poolstruktureeritud eksperdiintervjuu.

Meelespea!

1. Selgitada intervjuu eesmärki ja kui orienteeruvat kestust.
2. Küsida luba intervjuu salvestamiseks.
3. Lõpetades avalda tänu!

Intervjuu küsimused:

1. Mis on Teie arvates ettevõtte AS BHC eesmärk / eesmärgid?
 - a. Kuidas saaks Teie arvates suurendada tulu / mida on vaja teha tulu suurendamiseks?
 - b. Kuidas hindate ettevõtte laoseisu?
 - c. Kuidas saaks vähendada ettevõtte tegevuskulusid?
2. Mis tegurid takistavad Teie arvates ettevõttel AS BHC oma eesmärgi saavutamist ehk mis on ettevõtte piirangud?
 - a. Kus asub ettevõttes piirang Teie arvates?
 - b. Millisel kujul piiranguga on Teie arvates tegemist?
3. Kuidas saab Teie arvates neid piiranguid kõrvaldada?
 - a. Millest peaks Teie arvates alustama?

LISA B

Ülevaade intervjuudest.

									KOKKU
Intervjuud juhtivatel positsioonidel töötajatega (intervjueeritavate eesnime ja perekonnanime esimesed tähed)	MR	MA	RM	KH	MK	KK	KL		
Ettevõtte eesmärk									
kasvada / suurened	1			1		1		3	
kvaliteetsed silindrid kliendile		1	1	1		1	1	5	
kliendi rahulolu		1	1	1		1	1	5	
teenida tulu / kasumit			1		1			2	
Tulu suurendamine									
suurendada tootmismahu	1		1	1	1	1		5	
töötajate motiveerimine		1						1	
laieneda uutele turgudele			1			1		2	
ökonoomselt / efektiivselt toota					1		1	2	
Tegevuskulude vähendamine									
tootva tööliste motiveerimine		1					1	2	
töötajate teadlikustamine							1	1	
Piirang									
vähe motiveeritud töötajad		1						1	
detailide tootmise võimekus		1	1	1	1	1	1	6	
värvikambri läbilaskevõime	1	1	1	1	1	1	1	7	
materjalide puudujääk		1			1			2	
lühiajaline tellimuste prognoosimine							1	1	
Piirangu asukoht									
CNC osakond	1	1	1	1	1	1	1	7	
värvikamber	1	1	1	1	1	1	1	7	
Piirangu kõrvaldamine									
CNC pink juurde	1	1	1	1	1	1	1	7	
värvikambri suurendamine		1			1			2	

Summary

APPLICATION OF THE THEORY OF CONSTRAINTS IN THE EXAMPLE OF AS BHC

Rasmus Lukka

The aim of this bachelor's thesis is to form recommendations for removal of the performance limiting factors in AS BHC on the basis of the theory of constraints. In order to achieve this goal, the following tasks were set:

1. Explain the principles and concepts related to the theory of constraints based on make to order production;
2. Identify the factors that prevent the company from achieving the desired results;
3. Make suggestions on how to remove obstacles based on the theory of constraints.

The theory of constraints (TOC) is a management philosophy focused on continuous improvement. It has improved the performance of the advanced systems and it increases the capacity, while reducing inventory and operating costs. According to the theory of constraints, a constraint prevents a company from achieving its goals. The theory of constraints uses throughput-world thinking, and an organization must focus on increasing its throughput. The theory of constraints method of dealing with physical constraints includes five focusing steps, a drum-buffer-rope and an analysis of the logical structure of V-A-T. The five focusing steps are the basis of the theory. It identifies the system's constraints, exploits the constraint, subordinates everything else to the constraint, elevates the constraint and prevents inertia.

AS BHC is a make to order company that produces high-quality hydraulic cylinders. The company's supply chain begins with receiving an order and ends with delivery to the customer. The company's process diagram consists of sales, preparation of production documents, production planning, purchase of materials and production. Production consists of five departments - sawing, CNC machining, welding, assembly and painting. The company wants to enter new markets under its MMO brand, and have a turnover of 5,3 million euros by 2025.

In the empirical part of the bachelor's thesis, the theory of constraints methods were applied to AS BHC. The constraints were identified and the research revealed that the company currently has two constraints - the machining capacity of small parts and the capacity of the paint chamber. The constraint on machining comes from the uncertainty of the supply of outsourced parts. The constraint of the color chamber is the low capacity and the painting process, which requires all painted products to dry at 60 degrees for eight hours.

Based on the five focusing steps, it is possible to increase machining capacity by up to 12,5% without investment. Purchasing an additional CNC machine for small parts would increase the capacity of this CNC department by 50%. To increase the capacity of the color chamber, it is only possible to take a strategic approach and invest in extensions. By increasing the capacity of the paint chamber to 500 units per day, the sales revenue would increase by up to 39%.

As a further development of the bachelor's thesis, the author points out the possibility to apply the theory of constraints together with other management philosophies. In addition, analyzes could be performed on more main products to determine more precisely the buffer sizes needed by the company.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rasmus Lukka,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Piirangute teooria rakendamine AS BHC näitel“, mille juhendajad on Maaja Vadi ja Kalev Kaarna, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Rasmus Lukka
12.05.2022