



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

NÕUDLUSPÕHINE MATERJALIVAJADUSTE PLANEERIMINE SAKU ÕLLETEHASES

DEMAND-DRIVEN MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING
IN SAKU BREWERY LTD

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Joala

Üliõpilaskood: 163084EALM

Juhendaja: Ott Koppel, PhD

Tallinn 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tanel Joala, 163084EALM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EALM02/14 – Tarneahela juhtimine

Juhendaja: Ott Koppel, PhD

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Nõudluspõhine materjalivajaduste planeerimine Saku Õlletehases*

(inglise keeles) *Demand-driven material requirements planning in Saku Brewery Ltd*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Välja selgitada, kas ja millistel tingimustel võimaldab DDMRP süsteem võrrelduna MRP süsteemiga madalaimad keskmisi kaubavarusid ning kõrgemat tootmisplaani stabiilsust sama teenindustaseme juures.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö kavandi kinnitamine	29.11.2018
2.	Teoreetilise osa kirjutamine	07.01.2019
3.	Andmete kogumine ja lähteülesande kirjutamine	28.01.2019
4.	Metoodika osa kirjutamine ning simulatsioonimudelite koostamine	17.03.2019
5.	Empiirilise osa kirjutamine	21.04.2019
6.	Eelkaitsmine. Teema deklareerimine	09.05.2019
7.	Töö valmis esitamiseks	27.05.2019

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "27" Mai 2019.a

Üliõpilane: "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: "....."201....a
/allkiri/

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	6
SISSEJUHATUS	7
1 Materjalivajaduste planeerimine (MRP) ja nõudlusel põhinev materjalivajaduste planeerimine (DDMRP).....	9
1.1 MRP.....	9
1.2 MRP probleemid	12
1.3 DDMRP	15
1.3.1 Tarneahela opereerimisstrateegiad – ennetav ja reageeriv	15
1.3.2 DDMRP põhimõtted	16
1.3.3 DDMRP puhvervaru.....	18
1.3.4 DDMRP varude täiendamise kalkulatsioon.....	20
1.4 Varasemad uurimused	22
2 LÄHTEÜLESANNE	25
2.1 Saku Õlletehase AS.....	25
2.2 Lähteolukord	26
2.2.1 Turg ja nõudluse volatiivsus	26
2.2.2 Klienditellimuste horisont ja laojuhitav tootmine	27
2.2.3 Planeerimise tsükkel ja MRP	28
2.2.4 Plaani stabiilsus	29
2.3 Uurimisülesanded	32
3 METOODIKA	34
3.1 Uurimisstrateegia.....	34
3.2 Andmekogumismeetodid.....	35
3.3 Simulatsioon	38
3.3.1 Simulatsiooni kirjeldus	38
3.3.2 Simulatsioonis kasutatav toodetavate toodete struktuur	42
3.3.3 Simulatsiooniga mõõdetavad tulemused.....	43
4 ANALÜÜS JA SÜNTEES.....	45
4.1 Simulatsioonitulemuste analüüs.....	45
4.1.1 Lühikese läbimisajaga sisseostetavad tooted	45

4.1.2 Pika läbimisajaga sisseostetavad tooted.....	47
4.1.3 Saku Õlletehases toodetavad tooted.....	49
4.1.4 Plaani stabiilsus	54
4.2 Mudeli valideerimine ja eksperthinnang	56
4.3 DDMRP rakendatavus Saku Õlletehases.....	57
4.4 Järeldused	58
KOKKUVÕTE	62
SUMMARY	65
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	68
LISAD	72
Lisa 1. Tootmisressursside planeerimise protsess	73
Lisa 2. MRP ja DDMRP ohutusvarude seadistus toodetavate toodete korral	74
Lisa 3. Simulatsioonide tulemused	76

EESSÕNA

Käesoleva töö teemaks on: Nõudluspõhine materjalivajaduste planeerimine Saku Õlletehases.

Magistritöö uurimisprobleem seisnes asjaolus, et MRP süsteem põhjustab prognoosidel põhinevas planeerimiskeskkonnas ebaefektiivseid varude tasemeid ja plaani ebastabiilsust. Uurimistöö eesmärk oli välja selgitada, kas ja millistel tingimustel võimaldab DDMRP võrrelduna dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga madalamaid keskmisi varude tasemeid ning kõrgemat tootmisplaani stabiilsust sama teenindustaseme juures. Uurimustöö näol on tegemist kombineeritud juhtumiuurimusega. Jõudmaks püstitatud eesmärkideni, uuris autor Saku Õlletehase puhul kümnet toodet. Valim moodustati vastavalt nõudluse varieeruvuse XYZ analüüsile ning läbi toodete jagamise kahte gruppi kumulatiivsete läbimisaegade pikkuste alusel. Süsteemide võrdlemiseks koostati Saku Õlletehase olustikust lähtudes simulatsioonimudelid, mille tulemusi omavahel võrreldi.

Uurimustöö tulemustest selgus, et DDMRP süsteemil on teatud tingimustel positiivne mõju varude tasemele. DDMRP eelised MRP süsteemi ees avalduvad suuremal määral, mida suurem on tootestruktuuride keerukus, maksimaalse läbimisaja lühendamise võimalikkus ning prognoosivea suurus. Süsteemi seadistusest tulenevatest teguritest on tähtsaima mõjuga ADU (*average daily usage*) määratlust, millest oleneb olulisel määral süsteemi keskmine varude tase ja reageerimisvõime nõudluse hüpetele.

Plaani stabiilsuse seisukohast saavutas DDMRP võrreldes MRP süsteemiga ühtlasema varude taseme, kuid käesoleva uurimustöö simulatsioonimudeli seadistuse korral, mis on üles ehitatud Saku Õlletehase keskkonnast lähtudes, põhjustas DDMRP süsteem rohkem tootmisplaani muudatusi materjalide õigeaegsest puudumisest tulenevalt.

Uurimistöö tulemused kinnitasid DDMRP süsteemi kontseptsiooni teoreetilist toimimist ning positiivset võimalikku mõju varude tasemetele, kuid tulenevalt Saku Õlletehase eripäradest, ei olnud efekt võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga piisav õigustamiseks uue lähenemise kasutuselevõttu. Töö avab põhjalikult DDMRP toimimise mehhanisme ja printsiipe, uurimusest on kasu ettevõtetele, kelle varude planeerimine on üles ehitatud MRP süsteemile ning otsitakse võimalusi efektiivsemaks varude juhtimiseks läbi DDMRP süsteemi rakendamise.

Märksõnad: nõudluspõhine materjalivajaduste planeerimine, varude juhtimine, simulatsioon.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

ADU	keskmise päevane materjali või lõpptootte tarbimine (<i>average daily usage</i>)
BOM	tootekoost (<i>bill of materials</i>)
COV	variatsioonikoefitsient (<i>coefficient of variation</i>)
CLT	kumulatiivne läbimisaeg (<i>cumulative lead time</i>)
DDMRP	nõudluspõhine materjalivarude planeerimise süsteem (<i>demand-driven material requirements planning</i>)
DL	dekaliiter
DLT	eralduspunkti abil lühendatud toote läbimisaeg (<i>decoupled lead time</i>)
EW	olukord, kus lõpptootte laosaldo on lähiajal otsa lõppemas. Saku Õlletehase spetsiifiline termin (<i>early warning</i>)
ERP	ettevõtte ressursside planeerimise süsteem (<i>Enterprise Resource Planning</i>)
MPS	keskne tootmiskava (<i>master production schedule</i>)
MRP	materjalivarude planeerimise süsteem (<i>material requirements planning</i>)
MTS	laojuhitav tootmine. Prognoosidel põhinev, nõudlust ennetav tootmismudel (<i>make to stock</i>)
OOS	toote laovaru puuduolek (<i>out of stock</i>)
SKU	laoühik (<i>stock keeping unit</i>)
SSL	teenindustase (<i>stock service level</i>)

SISSEJUHATUS

Alates MRP (ingl *materials requirements planning*) süsteemi väljatöötamisest ja levikust 1960ndatel aastatel on ettevõtluskeskkond muutunud – toodete elutsükli on lühenenud, toodete varieeruvus on suurenenud, klientide maksimaalne tolereeritav ooteaeg on vähenenud ning nõudlus on volatiivsusest tingituna raskemini prognoositav. Keskkond nõuab tarneahelatelt aina suuremat reageerimisvõimet ja paindlikkust, seejuures on surve kõrge teenindustaseme juures opereerimiseks võimalikult madalate kaubavarude ja kuludega. Vaatamata muutunud keskkonnale, on MRP süsteem suures pildis jäänud samaks ning on kasutusel enamikes ERP süsteemides. Kuigi MRP süsteem on olnud edukas, on muutnud keskkonnast tulenevalt ilmnenuid puudujäärke. Uurimisprobleem seisneb selles, et prognoosidel põhinevas planeerimiskeskkonnas seostatakse MRP süsteemi ebaefektiivsete varude tasemetega, tarneplaani ebastabiilsusega ning piitsaplaksu efekti võimendajana.

Viimastel aastatel on aina rohkem kõlapinda kogunud nõudluspõhine tarneahel ning 2011. aastal formuleeritud MRP süsteemi edasiarendus DDMRP (ingl *demand-driven material requirements planning*) ehk nõudlusest tulenev materjalivajaduste planeerimine. DDMRP süsteemi peetakse vahendiks, mis suudab MRP-ga seotud probleeme lahendada ning vähendada varude planeerimise ja täiendamise sõltuvust müügiprognoosidest.

DDMRP lõhub tarneahela protsessid strateegiliselt planeeritud punktides lühemateks lõikudeks, hoides nendes lõikepunktides teatud kriteeriumite alusel kolme tüüpi varusid. Nimetatud varusid täiendatakse eelkõige vastavalt reaalsele nõudlusele ehk müügitellimustele ning müügiprognoosi roll varude täiendamisel oluliselt väheneb või teatud konfiguratsiooni korral kaob sootuks. Materjalivarude täiendamiseks kasutab DDMRP võrreldes MRP-ga uut moodi lähenemist ning kalkulatsiooni. Teoorias võimaldab uus lahendus võrreldes MRP-ga lühemaid läbimisaegu, väiksemaid varusid tarneahelas, suuremat stabiilsust ja väiksemat varieeruvuse mõju, piitsaplaksu efekti vähenemist ning müügiprognooside olulisuse langust. Kõik see omakorda teoreetiliselt suurendab kapitalitootlust.

Kontseptsiooni uudsusest tulenevalt on teaduslikke uurimusi veel vähe ning lähenemine on leidnud valdkonnas nii pooldajaid, kui kriitikuid. Seniste uurimuste tulemused on raporteerinud DDMRP-d, kui efektiivsemat viisi varude juhtimisel ning saavutatud on paremaid näitajaid teenindustasemes, kuid võrreldavate süsteemi parameetrite konfiguratsioone on kirjeldatud vaid pinnapealselt. Sellest

tulenevalt ei ole võimalik objektiivselt hinnata, millistel tingimustel ning millise võrdlusbaasi vastu on tulemused saavutatud.

Uurimistöö eesmärgiks on välja selgitada, kas ja millistel tingimustel võimaldab DDMRP võrreldes MRP-ga sama teenindustaseme juures madalamaid keskmisi kaubavarusid ja suuremat tarneplaani stabiilsust. Töö lähtub ettevõttest Saku Õlletehase AS-s, kus nõudlus on volatiivne ning tootestruktuurid võrdlemisi lihtsad. Töös püstitatud uurimisküsimused on alljärgnevad:

1. Kas ja millistel tingimustel võimaldab DDMRP kasutamine võrreldes üldlevinud MRP süsteemiga vähendada varude hulka sama teenindustaseme juures?
2. Kas DDMRP kasutamine võimaldab võrreldes MRP süsteemiga suurendada tarneplaani stabiilsust?
3. Millisel määral on DDMRP kasutatav Saku Õlletehase AS kontekstis?

Uurimustöö koosneb neljast osast – teoreetiline osa, lähteülesande püstitus, meetodika kirjeldus ning empiiriline osa. Esimene peatükk algab MRP olemuse ning probleemide avamisega. Seejärel selgitatakse DDMRP sisu ning vaadeldakse varasemate uurimuste tulemusi. Teise peatüki eesmärgiks on püstitada uurimusülesanded. Peatükk selgitab Saku Õlletehase AS-i, kui uurimustöö fookusettevõtte materjaliplaneerimisega otseselt ja kaudselt seotud sisemisi- ja väliseid tegureid ning MRP süsteemiga seotud esinevaid probleeme. Kolmas peatükk kuulub ülevaate andmisele uurimustöö metoodikast, oluline roll on sealjuures simulatsioonimudeli kirjeldusel. Töö viimases, ehk neljandas peatükis analüüsitakse simulatsiooniga kogutud andmeid, hinnatakse tulemusi eksperthinnanguga ning tehakse järeldused.

1 Materjalivajaduste planeerimine (MRP) ja nõudlusel põhinev materjalivajaduste planeerimine (DDMRP)

1.1 MRP

Alates 1970ndatest on nii ärikeskkond, kui ühiskond tervikuna palju muutunud ning erandiks ei ole ka tarneahelad. Majanduskeskkonna muutustest tingituna on nõuded tarneahelatele ja sellest tulenevalt ka nende ülesehitus ja toimimisviis märkimisväärselt muutnud. Peamised erinevused on summeeritud järgmises tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Tarneahela keskkonna muutus ajas

Tarneahela keskkonda iseloomustav tegur	1970ndad	2015
Tarneahelate keerukus	Madal. Tarneahelad olid lineaarsemad, vertikaalselt integreeritumad ja kohalikud tarneahelad turul domineerivad	Kõrge. Tarneahelad näevad välja rohkem, kui tarnevõrgud, on killustatud ja globaalsed.
Turu (kliendi) aktsepteeritav tarneaeg	Kõrge	Madal
Toodete elutsüklid	Pikad. Sageli mõõdetud aastates või aastakümnetes	Lühikesed. Tihti mõõdetavad päevades
Toodete keerukus	Madal. Vähem komponente	Kõrge. Rohkem komponente
Toodete personaliseerimine	Madal. Vähene tootevalik ning võimalusi personaalseks kohandamiseks vähe	Kõrge. Palju valikuid toodete personaliseerimiseks
Tooteportfelli varieeruvus	Madal	Kõrge
Proгноositäpsus	Kõrge	Madal
Surve varude efektiivsuseks kasutamiseks	Madal	Kõrge

Allikas: (Ptak, et al., 2018)

Võrdlus just 1970ndate aastatega on relevantne, sest samast perioodist on pärit ka üks tarneahela juhtimise raudvarasse kuuluvaid süsteeme – MRP (*inglisk. Material Requirements Planning*) ehk materjalivajaduste planeerimise süsteem.

MRP on tootmise ja varude kontrolli süsteem, mille ülesandeks on tagada tootmisprotsessiks piisav materjalivaru võimalikult väikese koguvarude hulga juures (Grant, et al., 2006). APICS (*American Production and Inventory Control Society*) kirjeldab MRP süsteemi kui tehnikate kogumit, mis kasutab tootestruktuuri, varude saadavust ja keskset tootmisplaani, et arvutada materjalide vajadused tootmisplaani realiseerimiseks. Süsteem teeb soovitusi materjalide tellimuste tegemiseks. Lisaks, kuna süsteem arvestab ajanihkega, teeb süsteem soovitusi ka juba lahtiste tellimuste ümberplaneerimiseks, kui materjali vajaduse ja saabumise aeg ei ühti. (Pittman, et al., 2016)

MRP süsteem vaatleb tooteid keskses tootmisplaanis (MPS) ning määratleb materjalide koguse, mida toodete tootmiseks tarvis ja kuupäeva, millal on vaja materjale vaja tellida või toota. Süsteem arvutab nimetatud väljundid käies läbi kõik tootestruktuuri tasandid, mis on omavahel seotud tootekoostuga, arvestab juba saldol olevat ja tellitud kaubavaru ning nihutab materjalitellimuste aegu vastavate tarneaegade võrra. (Pittman, et al., 2016)

Lihtsustatult öeldes on tegemist kalkulaatoriga, mis arvutab keskse tootmisplaani alusel, millal ning millises koguses on vaja materjale tellida, et need tootmise ajaks saadaval oleks. Seega püüab süsteem tagada vastavalt tootmisplaanile tootmise hetkeks minimaalsed vajalikud materjalid ja pooltooted ning seeläbi optimeerida varude hulka. MRP kalkulatsiooniks on sisenditena vajalikud (Grant, et al., 2006):

- keskne tootmiskava,
- materjalispetsifikatsioon ehk toote struktuur (ingl *Bill of Materials*),
- olemasoleva materjalivaru info.

MRP peamiseks väljunditeks on instruksioonid tellimuskorraldusteks (*order releases*). Tellimuskorraldusteks on (Lesure, 2010):

- ostutellimus,
- tootmistellimus,
- ostu- või tootmistellimuse ümbermuutmine.

Materjalivajaduste planeerimise süsteem eristab kalkuleerimisel kahte tüüpi nõudlust – sõltuv ja sõltumatu nõudlus. Sõltumatu laoartikli nõudlus tuleneb klientide otsestest ostu- või tarnetellimustest (Kiisler, 2011) ning ei olene ettevõtte sisestest varude juhtimisega seotud otsustest (Chapman, 2006).

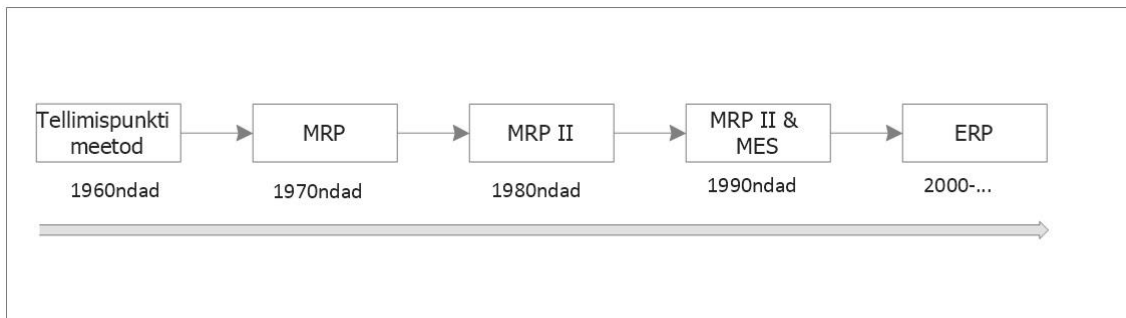
Laoartikli nõudlus on sõltuv (ingl *dependent demand*), kui turunõudluse asemel tuleneb see mõne muu laoaartikli nõudlusest või on sellega otseselt seotud (Toomey, 2000). Sõltuv nõudlus on iseloomulik tootmisettevõtte tootmissisendite varudele, mida ei müüda edasi, vaid kasutatakse müüdavate valmistoodete tootmiseks (Kiisler, 2011). Sõltuv nõudlus on MRP süsteemis olulise tähtsusega, sest tootestruktuuris kõrgema taseme toodete või komponentide tootmiskorraldused loovad madalama taseme materjalidele või pooltoodetele sõltuvat nõudlust, millest lähtudes omakorda genereerib süsteem madalamate tasemete toodete tootmis- või tellimiskorraldused. Tootmissisendite varude nõudlust ehk sõltuvat nõudlust ei pea prognoosima (Kiisler, 2011).

MRP on olnud edukas. Lahenduse turustamisest saadik on sellest saanud hitt ja tööstusharu standard. MRP levikule andis tõuke tehnoloogia ja arvutustehnika areng, mis võimaldas suuremahulisi arvutusi läbi viia kiiresti (Wortmann, 1998). MRP süsteemi kasutuselevõtmisega seostatakse mitmeid kasusid võrreldes eelnevalt laialt levinud tellimuspunkti põhise süsteemiga (Grant, et al., 2006):

- paranenud majandustulemused (investeeringute tasuvus, kasumlikkus),
- paranenud tootmisefektiivsuse tulemused,
- täpne ja õigeaegse info kättesaadavuse paranemine,
- vähem aegumisest tulenevaid materjalivarude utiliseerimist,
- parem kontroll tootmisprotsesside üle.

Alates süsteemi väljatöötamisest, on MRP süsteem läbi teinud mitu uuenduskuuri. 1980ndatel aastal töötati välja MRP edasiarendus MRP II (*Manufacturing Resources Planning*) ehk tootmisressursside planeerimise süsteem (Abdullah, 2017). MRP II on MRP edasiarendus kuhu on kaasatud lisaks ettevõtte finants-, turundus- ja logistikategevuste komponente (Kiisler, 2011).

MRP II-st omakorda arenes välja tänapäeval väga laialdaselt kasutusel olev ettevõtte ressursside planeerimise süsteem ehk ERP (Beleţ, et al., 2017). MRP areng ajateljel on kujutatud joonisel 1.1.



Joonis 1.1 MRP kujunemine ajateljel

Allikas: (Rondeau, et al., 2001)

Oluline on märkida, et MRP on nii MRP II, kui ERP süsteemidesse integreeritud (Langley, 2008) ja lahendus ning kalkulatsiooni loogika seega laialdaselt kasutusel tänaseni.

1.2 MRP probleemid

MRP süsteemile on osaks saanud kriitikat seoses teatavate tarneahealas esinevate probleemidega. MRP süsteemi seostatud tarneahealas piitsaplaksu efekti (inglisk. *bullwhip effect*) soodustamisega, bi-modaalse materjalivaru põhjustamisega ning MRP närvilisusega (Ptak, et al., 2018). Kõik nimetatud murekohad on omavahel seotud.

Piitsaplaksu efekt on nähtus tarneahealas, kus nõudluse signaalid ja sellest tulenevalt tellimiskogused ülesvoolu võimenduvad (Wang, et al., 2015). Tegemist on võrdlemisi tavalise nähtusega, mis eksisteerib laialdaselt eelkõige tarneahealates, mis põhinevad müügiprognoosidel (Eroglu Pektas, 2013). Nähtuse tagajärjed on liigsed varud, tootmisvõimsuse ebaefektiivne kasutamine, madalam klienditeenindustase, ebakindlus tootmise planeerimisel, kvaliteediriskid, lisakulutused transpordile ja tööjõule lisavahetuste näol (Lee, 1997). Nimetatud ebaefektiivsustest tulenevalt kaotavad ettevõtted potentsiaalses kasumlikkuses 15-30% (Metters, 1997).

Piitsaplaksu efekti neli peamist põhjustajat on prognoosidel põhinev tootmine, planeerimine ning prognooside uuendamine, tellimuste partiidesse grupeerimine, hinnakõikumised ja kapasiteedi defitsiidi olukorrad. (Grabara, et al., 2009). Nimetatud põhjustest on MRP-ga seotud eelkõige esimesed kaks.

Müükide ennetamisel põhinevas tarneaheala keskkonnas püüab iga ahela liige tuleviku müüke ette näha ning plaanid koostatakse vastavalt prognoosidele. Iga liige planeerib vastavalt prognoosidele oma puhvervarud ja tarneplaani (Grabara, et al., 2009). Paratamatult ei ole ükski müügiprognoos oma loomuselt täpne ning reaalne tarbimine erineb prognoosist alati, küsimus on ainult vea suuruses. Seetõttu on info, mis nõudlussignaalide alusel tarneahealas ülesvoolu liigub moonutatud

ning ettevõtted kasutavad planeerimisel sisendina turu nõudluse kohta ebatäpseid andmeid. Efekt on võimsam pikemate ahelate korral (Grabara, et al., 2009) ning MRP süsteem võimendab nähtust seda rohkem, mida ebatäpsem on müügiprognoos (Takahashi, et al., 2004). On tavaline, et MRP süsteem on kasutusel just müügiprognoosidel põhinevas keskkonnas.

Lisaks prognoosidel põhinevale tootmisele, võimendab efekti ka tootmiste ja tellimuste partiidesse jaotamine. Tarneahela lülid võivad olla erinevatel põhjustel motiveeritud tellimusi grupeerima. Grupeerimine võib võimaldada konkreetse ettevõtte või protsessi kulusid optimeerida, näiteks transpordikulude säästu või tootmisefektiivsuse kasvu mastaabiefekti läbi (Lee, 1997). Sageli määratakse partiidele kindlad suurused ja reeglid ning nendest saavad sisendid, millega MRP süsteem kalkulatsioonil arvestama peab (Ptak, et al., 2018). Tellimuste tegemise aeg ühtib sageli ajaga, millal kalkuleeritakse MRP ning paljastuvad vajalikud muudatused. Vastavalt MRP arvutuste intervallile, tekib tarneahelas sarnase intervalliga muster suurenenud tellimuste näol (Lee, 1997), mis moonutatud nõudlussignaalina panustab piitsaplaksu efekti. Tootmiste partiidesse jaotamist ning läbi tootekoostu omavahel rangelt sidumist peetakse ka teise MRP süsteemiga seotud probleemi ehk tarneplaani (ingl *supply plan*) ebastabiilsuse üheks põhjustajaks.

Stabiilset tarneplaani iseloomustab olukord, kus materjalitarnete ja tootmistegevuste plaanides ei ole planeerimistsükli vahel suuri muutusi. Tootmise perspektiivist on tegemist soovitud seisundiga, mis võimaldab kõrgemat kuluefektiivsust ning paremat kooskõlastust osakondade vahel. Tarneplaani ebastabiilsust seostatakse liigsete plaanimuudatustega, mis loob tootmises kaootilise seisundi ning millega kaasneb madalam produktiivsus, stress, kõrgemad kulud ja madalam teenindustase. (LaForge, et al., 2000)

MRP närvilisus (ingl *MRP nervousness*) on MRP omadus, kus väikesed muutused tootehierarhias kõrgema taseme toodete plaanides või keskses tootmisplaanis põhjustavad ulatuslikke ajastamise ja/või koguste muutuseid madalamate tasemete plaanides ja tellimustes (Smith, et al., 2014). Nagu ka piitsaplaksu efekt, saab plaani närvilisus alguse sellest, et tootmine põhineb prognoosidel, mis olemuselt on valed (Smith, et al., 2014). Närvilisuse peamiseks võimaldajaks lisaks nõudlusel põhinevale tootmisele on asjaolu, et kõrgema taseme toote tootmiskoguse või ajastuse muutus mõjutab otseselt kõikide alumiste tasemete toodete vajadusi (Bregni, et al., 2011).

Sagedastest plaanimuudatustest tulenevad ebaefektiivsusega seotud kulud personali ja/või masinate kapatsiteedi ebaefektiivsusest kasutamisest, lisanduvatest masinate ümberseadistustest, ebavajalikest tarnetest tarnijatelt, tootmisvõimsuse kasutamise kõikumisest, kõrgetest varude

tasemest, lisanduvast materjalikäsitlusest, juhtivtöötajate operatiivsetesse probleemidesse kaasamise ning korrapäratutest distributsioonigraafikutest (Pujawan, 2004).

Süsteemi närvilisus panustab tihtipeale selliste kulude kasvu, mida on keerulisem hinnata ja mõõta, kui otseseid tootmise ja säilitusega seotud kulusid (*Ibid.*). MRP genereeritava plaani ebastabiilsus vähendab planeerijate usaldusväarsust süsteemi vastu (Hyoung-Gon, et al., 2007). Plaanimuudatused võivad väljendada koguste muutmises, tootmise või tarne varasemaks või hilisemaks nihutamist ning toodetava/tarnitava toote muutmises (Pujawan, 2004). Prognoosidel põhinevas tootmiskeskonnas on järsud plaanimuudatused vajalikud eelkõige prognoosiveast tingituna. Olukorras, kus müügiprognoosid on osutunud ülehinnatuks ning reaalistest müüdid kogustest suuremaks, on tulemuseks liigne akumulatsioon kaubavaru, lisanduv varude säilituskulu, marginaalide kaotus ning võimalikud mahakandmiskulud (Sumit, 2013). Vastupidine olukord, kus prognoos on väiksem reaalistest müükidest, on otsesemaks tagajärjeks tarnimata tellimused, mis otseselt mõjutab müügitulu. Kaotatud müügitulu ja turuosa tagasivõitmiseks on ettevõtte sunnitud tegema lisakulutusi, kõige ilmselgemad lisakulud on seotud tarnete kiirendamisega läbi kõrgema toote ostuhinna ja/või transpordi kulu (Sumit, 2013). Tootmis- ja või tarneplaani sagedase muutmisega kaasnevad ka kompromissid teiste toodete arvelt ning tagajärjeks on vähenenud produktiivsus ja ebakindlus tootmises (Li, et al., 2017).

Iga kord, kui on vajadus keskne tootmisplaan ümber hinnata ehk turunõudlusele reageerida, on tarvis ümber kalkuleerida ka materjalivajadused läbi MRP süsteemi, tagamaks tootmiseks vajalikud materjalid. Peale igat MRP kalkulatsiooni, kuvab süsteem suurel hulgal ostu- ja/või tootmistellimuste muutmise soovitusi. Sageli puudutavad plaanimuudatuse soovitusid ka tellimusi, mis on fikseeritud tarneaja sees. Planeerijad on pidevalt silmitsi kompromisside tegemisega seoses vajadusega reageerida nõudluse muutustele ja tagamaks tarnete ja tootmise stabiilsust (LaForge, et al., 2000).

Kolmandaks MRP süsteemile omistatud probleemiks, mis on samuti seotud nii piitsaplaksu efekti, kui ka prognoosidel põhineva tootmisega, on varude taseme pidev kõikumine väljaspool soovitud taset. Bi-modaalne materjalivaru viitab asjaolule, et materjalivarud pendeldavad kahe seisundi vahel – kas varude tase on liiga suur või liiga väike. Selline varude jaotus mõjutab kulusid kolmel viisil (Ptak, et al., 2018):

- kõrged varud – lao-, kapitali-, varude riknemisega seotud kulud,
- madalad varud – kaotatud müügid, kaotatud tootmisvõimsus,

- plaanimuudatustega seotud kulud – lisanduvad transpordikulud, ettevõtte väline laopind, ületunnitöö.

Samuti viidatud seosele, et ettevõtete varade tasuvus on perioodil 1965-2012 USA-s langenud 4,1% pealt 0,9%-le, mille üheks põhjuseks tuuakse välja MRP süsteemi ning selle võimetust muutuva turudünaamikaga kohaneda. (Ptak, et al., 2018)

Alates 2011 aastast on levimas edasiarendus MRP süsteemist, mis kannab nime nõudluspõhine materjalivajaduste planeerimine ehk DDMRP (ingl *demand-driven material requirements planning*). Uuele lähenemisele on selle väljaarendajad seadnud ootused MRP-ga seotud probleemide lahendamiseks.

1.3 DDMRP

1.3.1 Tarneahela opereerimisstrateegiad – ennetav ja reageeriv

Materjalivoog on igas mitmetest lülidest koosnevas tarneahelas jagatud kaheks tsooniks: tõuke- ja tõmbetsoon. (Walker, 2016). Kahe tsooni oluline vahe seisneb protsesside algatamise signaalis. Tõuke strateegia (ingl *push based supply chain strategy*) korral suunatakse materjale tarneahelas toormaterjalidest lõppkliendile müügiprognooside alusel, tõmbestrategie korral algatab materjalide liikumise protsessi tarneahelas aga reaalne lõppkliendi tellimus (Singh, 2017).

Tõmbe tarneahela strateegia korral on nõudlus tellimuste näol teada, tähtis osa on toote kohandamisel vastavalt konkreetsele tellimusele ning klient ei oota toodet koheselt. Samuti on iseloomulikuks jooneks, et igas protsessis tootmisest distributsioonini on varud ja varude säilituskulud madalad (Davis, 2016). Tõmbestrategie korral reageeritakse reaalsele tarbimisele.

Tõukestrateegia ehk lajuhitava tootmismudeli korral ennetab tarneahel nõudlust. Kesksel kohal on idee, et nõudlust ennetades on võimalik toota kuluefektiivselt ja tarnida kiiresti. Tõukemudeli efektiivseks töötamiseks on oluline, et toote tellimuspõhine kohandamine ei ole tarvilik, nõudlusmustrid on etteaimatavad, kliendid ootavad toodet kiiresti ning tarneahelas arvestatakse kõrgemate varude säilituskuludega (Davis, 2016).

Tarneahela juhtimises on viimase aja trendiks kahe süsteemi omavahel erinevatel viisidel kombineerimine, mis on seotud koondmõiste alla nõudlusel põhinev tarneahel. Nõudlusel põhinev

tarnevahel on tehnoloogiate ja protsesside kogum, mis tunnetavad ja reageerivad tarbimissignaalidele reaajas läbi klientide, tarnijate ja töötajate võrgustiku (Mendes, et al., 2016).

Üldjuhul eksisteerib igas tarneahelas tõuke- ja tõmbetsooni üleminekupunkt. Tihti oleneb strateegia ning üleminekupunkti valik nõutest, mida turuolukord ja ärikeskkond eelkõige läbi kliendi ja/või tarbija soovide tarneahelale ette seab. Üheks tähtsamaks teguriks on kliendi tellimustsükli aeg (ingl *customers order cycle*) ehk maksimaalne aeg, mida klient on valmis ootama, alates tellimuse tegemise hetkest kui toote või teenuse kättesaamiseni (Christopher, 2005).

Suur osa ettevõttest on silmitsi fundamentaalse probleemiga, et toote pakkumisega seotud aeg ehk aeg, mis kulub hankimisele, tootmisele ja distributsioonile ületab märkimisväärselt kliendi tellimustsükli aega. Tavapärase olukorras on sellise ajalise lõhe sulgemine kliendi ootuste ja tarneahela võimaluste vahel võimalik vaid varusid kasutades. Vajadus varude kasutamise järgi viib omakorda ennustuspõhisele tootmisele. Fakt, et prognoos ei saa olla definitsioonist tulenevalt kunagi täpne, viib paratamatult varudega seotud probleemideni – varusid hoitakse kas liiga vähe või liiga palju (Christopher, 2005).

DDMRP on vootõhususele orienteeritud planeerimise meetod, tagamaks planeerimise ja teostuse tulemuslikkust varieeravas keskkonnas, kus klientide tolereeritav tarneaeg on tunduvalt lühem, kui tootmise kumulatiivne läbimisaeg (Ptak, et al., 2018). DDMRP on hübriidstrateegia, mis võimaldab MTS keskkonnas suurendada klienditellimuste, kui nõudlussignaali osatähtsust planeerimisel ning vähendada müügiprognooside rolli varude täiendamisel (*Ibid.*).

1.3.2 DDMRP põhimõtted

Definitsiooni järgi on DDMRP formaalne, terviklik planeerimise ja teostamise meetod, mille eesmärk on kaitsta ja edendada info- ja materjalivoogu läbi tarneahela ja juhtida strateegiliselt positsioneeritud eralduspunkte (Ptak, et al., 2018). Süsteem seab keskseks just materjali- ja infovoosujuva liikumise. Aluseks on tees, et sujuv info- ja materjalivoog mõjutab investeringute tasuvust positiivses suunas läbi parema teenindustaseme, kvaliteedi, varude taseme, kulude ning käibekapitali. (Smith, et al., 2014).

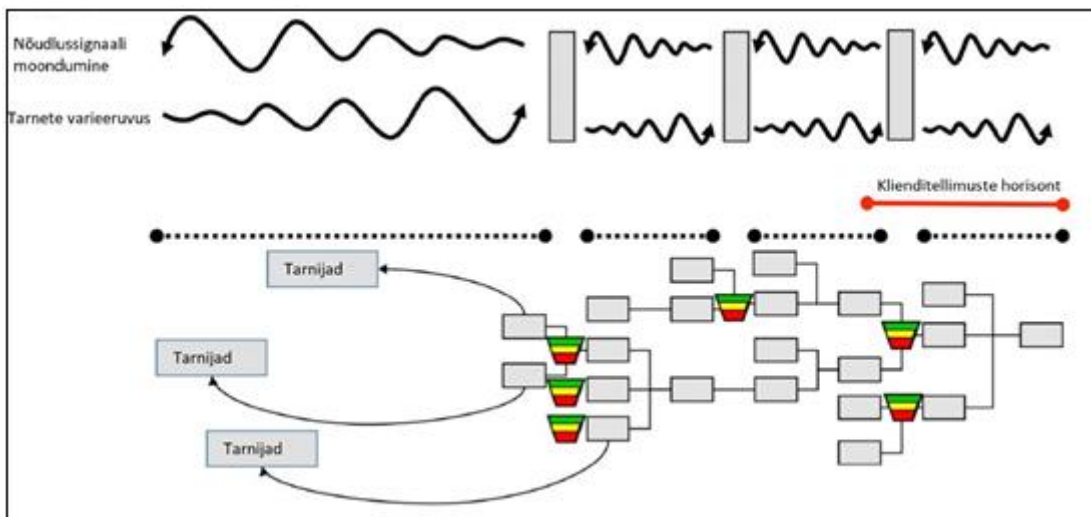
DDMRP koosneb viiest ehitusblokist. Esimesed kolm on seotud süsteemi konfiguratsiooniga ning neljas ja viies operatiivse osaga planeerimisest ja teostusest (Kortabarria, et al., 2018):

- strateegiline varude positsioneerimine,
- puhvervaru profiili ja suuruse määramine,

- puhverarude dünaamiline korrigeerimine,
- nõuduspõhine planeerimine,
- teostus.

Strateegilise kaubavaru positsioneerimise eesmärgiks määratleda kindlate kriteeriumite alusel protsesside vahelised eralduspunktid (ingl *decoupling points*) (Ptak, et al., 2018). Eralduspunktide kasutamine võimaldab sõltumatuse tekitamist materjali varu ja materjali tarbe vahel, sageli tähendab kaubavaru puhverdamist operatsioonide vahele nii, et eelneva protsessi varieeruvus ei piiraks järgmist operatsiooni (Pittman, et al., 2016). Eralduspunktide valik on strateegiline otsus, mis määrab tarneaja klientidele ja varude investeeingu taseme (*Ibid.*).

Eralduspunktide eesmärgiks on materjali tarnimine ja materjali kasutus muuta üksteisest sõltumatuks. Taoline eraldatus võimaldab pidurdada närvilisuse ja piitsaplaksu efekti edasikandumist. Eralduspunktides hoitav puhvervaru loob sõltumatult planeeritavad ajahorisondid, mis on lühemad, kui kogu tootmise kumulatiivne läbimiseaeg. Lühendades sõltumatuid läbimisaegu, väheneb ka varieeruvus. Eralduspunktid töötavad kahesuunaliselt – maandades nii tootmise/tarne- kui ka nõudluse varieeruvust. (Ptak, et al., 2018). Joonis 2 illustreerib, kuidas eralduspunktid summutavad varieeruvuse edasikandumist ühest protsessist järgmisesse.



Joonis 1.2 Nõudlussignaali ja tarnete varieeruvuse võimendumine eralduspunktidega ahelas väheneb

Allikas (Ptak, et al., 2018)

Eralduspunktide loomine ning varude strateegiline puhverdamine ei ole uued kontseptsioonid ega DDMRP süsteemiga loodud innovatsioon. Strateegiad nagu lean filosoofia, piirangute teooria ja massiline kohandamine kõik tuginevad teatud määral eralduspunktide positsioneerimisele (Wikner, et al., 2015). DDMRP süsteemi puhul on unikaalne lisaks varasemate praktikate erinäolise kombineerimise see viis, kuidas eralduspunkte süsteemselt asetada, arvutada puhvritsoonid ning seejärel unikaalse materjalide netovoo kalkulatsiooniga järjepidevalt varudega täiendada. Sealjuures tootekoostus eralduspunkte ühendavaid lõikude varusid täiendatakse ka DDMRP süsteemi puhul tavapärase MRP loogika alusel.

Eralduspunktide positsioneerimiseks hindab DDMRP süsteemi kuute faktorit (Ptak, et al., 2018):

- kliendi tolereeritav ooteaeg,
- turu tolereeritav ooteaeg,
- klienditellimuste horisont,
- väline varieeruvus,
- toote olulisus tootestruktuurides,
- kriitiliste operatsioonide toimimise kaitsmine.

1.3.3 DDMRP puhvervaru

Peale eralduspunktide strateegilist positsioneerimist on järgmiseks alustalaks DDMRP rakendamisel puhvervaru profiili ja suuruse määramine. Puhvervaru on DDMRP puhul võtmetähtsusega komponent, millel on kolm peamist eesmärki (Ptak, et al., 2018):

- nõudluse-, kui tarnepoolse (ingl *demand and supply variability*) varieeruvuse summutamine,
- läbimisaegade lühendamine läbi tarnijate tarneaegade lahtisidumise tarbimisest,
- uue tarnekorralduste süsteemi loomine, kus kogu oluline info nõudluse, pakkumise ja laoseisu kohta sisaldub spetsiaalsetes varude puhvrites, mis on tarnekorralduste (ingl *supply order*) genereerimise aluseks.

Puhvervaru on jaotatud kolmeks tsooniks, millel kõigil on oma spetsiifiline ülesanne ning erinev kalkulatsioonimeetod. Puhvertsoonid on roheline (ingl *the green zone*), kollane (ingl *the yellow zone*) ja punane tsoon (ingl *the red zone*) (Kortabarria, et al., 2018).

Esimene ehk roheline tsoon on peamine tarnekorraldusi genereeriv tsoon. See määrab keskmise tarnete/tootmiste tiheduse ja tüüpilise tarne/tootmiskoguse. Mida väiksem on antud tsooni varu, seda tihedam on tellimuste genereerimise tihedus ja vastupidi. Rohelise tsooni suuruse

määramiseks on tarvilik võrrelda kolme erinevat väärtust ning valida suurim. Esimene väärtus on relevantne, kui tootmiskorralduste või tellimuste vaheline aeg on teatud protsessist tulenevatest põhjustest piiratud ehk tellimusi või tootmiskorraldusi ei ole võimalik teha igapäevaselt, vaid kindla tsükli alusel. Kalkulatsioon on esitatud valemis (1). Teine võrreldav väärtus kujuneb vastavalt päevale keskmisele nõudlusele ja tarneaja faktorile, vastav kalkulatsioon on kirjeldatud valemis (2). (Smith, et al., 2014). Kolmandaks roheline tsooni määramiseks võrreldavaks väärtuseks on tootmise või tellimise minimaalne kogus ning kolmest valitakse suurim.

$$GZ_1 = ADU \cdot t_c \quad (1)$$

kus

GZ_1 - roheline tsoon 1,

ADU - keskmine päevane nõudlus,

t_c - tellimuste või tootmiskorralduste vaheline tegemise aeg.

$$GZ_2 = ADU \cdot LTF \quad (2)$$

kus

$0 \leq LTF \leq 1$

GZ_2 - roheline tsoon 2,

ADU keskmine päevane nõudlus,

LTF – tarneaja faktor.

Teine ehk kollane tsoon on tsüklivaru, mille eesmärk on katta täpselt keskmine tootevajadus tarneaja jooksul (Ptak, et al., 2018). Kollase tsooni kalkulatsiooniks on keskmine päevane tarbimine ehk ADU (ingl *average daily usage*) korrutatuna tarneajaga lähima eralduspunktini (Smith, et al., 2014). Kollane tsoon on väga sarnane tavalisele puhvervaruta MRP süsteemile, erinevus seisneb selles, et DDMRP süsteemi puhul arvestatakse tarneajaks aega kuni lähima eralduspunktini tootestruktuuris, mitte kumulatiivset tarneaega. Eralduspunkti puudumisel on kollase tsooni varu suurus sama nagu ilma puhvervaruta MRP süsteemil. Varutaseme langemine kollasesse tsooni on tootmis- või tellimiskorralduse genereerimise algatajaks (Smith, et al., 2014). Kollase tsooni kalkulatsioon on kirjeldatud valemis (3).

$$YZ = ADU \cdot DLT \quad (3)$$

kus

YZ - kollane tsoon,

ADU - keskmine päevane nõudlus,

DLT - läbimisaeg esimese eralduspunktini.

Viimase ehk punase tsooni näol on tegemist otseselt ohutusvaruga. Punase tsooni varude hulk suureneb koos tootega seosneva varieeruvusega. Näiteks mida suurem on toote müükide volatiivsus ja/või mida ebatäpsemad on tarned, seda suurem on punases tsoonis hoitava varu suurus. Punase tsooni varu suuruse määramine toimub valemiga (4) (Ptak, et al., 2018):

$$RZ = (ADU \cdot LTF \cdot DLT) + (ADU \cdot VF) \quad (4)$$

kus

RZ - punane tsoon,

ADU- keskmine päevane nõudlus,

LTF- tarneaja faktor,

DLT- läbimisaeg esimese eralduspunktini.

Haldamaks suurel hulgal erinevaid tooteid ja tsoonide puhvervarusid, grupeeritakse tooted sarnaste parameetrite alusel ning määratakse puhvriprofiil (ingl *buffer profile*). Puhvriprofiili määravad kolm faktorit, milleks on tootetüüp, tarneaeg ja varieeruvus. (Ptak, et al., 2018). Vastavalt puhvriprofiidele määratakse puhvervaru suurust mõjutavad muutujad tarneaja ja varieeruvuse faktor (Smith, et al., 2014). Tavapärased puhvriprofiili kombinatsioonid on kokkuvõetud tabelis 1.2.

Tabel 1.2 Tavapärased puhvriprofiilide kombinatsioonid DDMRP süsteemis

		Materjali tüüp			
		Ostetavad	Pooltooted	Toodetavad	
Tarneaja katekoogia	Lühike	OLV	PLV	TLV	Väike
		OLK	PLK	TLK	Keskmine
		OLS	PLS	TLS	Suur
	Keskmine	OKV	PKV	TKV	Väike
		OKK	PKK	TKK	Keskmine
		OKS	PKS	TKS	Suur
	Pikk	OPV	PPV	TPV	Väike
		OPK	PPK	TPK	Keskmine
		OPS	PPS	TPS	Suur

Allikas: (Ptak, et al., 2018)

1.3.4 DDMRP varude täiendamise kalkulatsioon

Järgmiseks oluliseks DDMRP komponendiks on varude täiendamiseks vajalik tellimis- ja tootmiskorralduste genereerimine. Viis, kuidas DDMRP arvutab materjalivajadust, erineb märkimisväärselt tavapärasest MRP süsteemist. Just varude täiendamise süsteem on ka käesoleva

uurimustöö fookuses. Materjalide vajadust kalkuleeritakse varude netovoo valemiga (5) (Ptak, et al., 2018)

$$\text{Varu netopositsioon} = I + O - D \quad (5)$$

kus

I - tegelik materjalivaru laosaldo, mis on füüsiliselt olemas,

O - varud, mis on juba tellitud, kuid ei ole veel kohale jõudnud,

D - kvalifitseeritud klienditellimused ehk summa ainult käesoleval päeval täitmist vajavatest klienditellimustest või tarbimisest ning mingil põhjusel lähiminevikus täitmata jäänud tellimustest.

Ostu- või tootmistellimus genereeritakse juhul, kui varu netopositsioon on väiksem, kui punase ja kollasesse puhvervaru tsooni summa (Smith, et al., 2014). Tavapärase MRP süsteemi puhul genereeritakse ostu- või tootmistellimus juhul, kui materjalide netovajadus on suurem nullist, netovajadust arvutatakse valemiga (6) (Deis, 2013). Ostu- või tootmistellimus genereeritakse juhul, kui perioodi netovajadus on positiivne.

$$\text{Netovajadus} = D_i + D_d - I - O + S \quad (6)$$

kus

D_i - sõltumatu nõudlus,

D_d - sõltuv nõudlus,

I - perioodi laosaldo,

O - perioodis saabuvad tellimused,

S - ohutusvaru.

Kahe arvutusloogika oluline vahe on see, et kui MRP kasutab netovajaduse kalkulatsioonis nõudlusena materjalide brutovajaduse näol müügiprognoose ning vaatleb tulevikku, siis DDMRP kasutab nõudlusena vaid kvalifitseeritud käesoleva perioodi tellimusi ning müügiprognoose varude täiendamisel ei kasutata. MRP süsteemi kalkulatsioon on eelkõige kasutusel tõukesüsteemis, kus sisendiks on müügiprognoos, DDMRP eesmärk on aga lasta kliendil toodet tellimuste näol puhvrist tõmmata ning asuda seejärel kindlatel kriteeriumitel tarbitud varu taastama.

Teine oluline vahe on olemasoleva varu hindamisel. Tavapärase MRP kalkulatsioon arvestab, et igas perioodis on kättesaadav laos juba olemasolev varu ning sellel samal perioodil saabuv varu. DDMRP aga arvestab varu netopositsiooni kalkulatsiooniga varude positsiooni sisse nii laos juba olevaid

varusid, kui kõiki juba tellitud varusid, olenemata sellest, kas need on käesoleval perioodil lattu saabumas või mitte.

DDMRP arvutusloogika ei kasuta seega varude täiendamisel otseselt müügiprognose. Küll aga on süsteemi võimalik seadistada nii, et puhvritsoonide suurust arvestataks müügiprognooosi alusel. Selleks, et varude täiendamisel ei tekiks probleeme kõrge varieeruvusega ning erakorralise nõudlusega, on kasutusele võetud termin nõudluse teravike lävi (ingl *spike threshold*) (Smith, et al., 2014). DDMRP süsteemi järgi peetakse nõudluse teravikuks sellist nõudluse hüpet lähitulevikus, mis ohustab puhvervaru terviklikkust (Ptak, et al., 2018). Selliste nõudluse hüpete tabamiseks on tarvilik defineerida lävi, millest kõrgemat nõudlust peetakse erakorraliseks ning ajahorisont tulevikus, mille jooksul nõudluse hüpete tabamist teostatakse (*Ibid.*). Juhul, kui taoline nõudluse hüpe tulevikus avastatakse, defineeritakse see tuleviku nõudlus kvalifitseerituks ning seega kaastakse varu netopositsiooni valemis (*Ibid.*). Eesmärk on kaitsta puhvripunkti täielikkust ning säilitada pidev tarnevoog. On oluline asjaolu, et ka nõudluse hüpete puhul ei ole seost müügiprognosidega, vaid nõudluse hüppeid otsitakse vaid kvalifitseeritud ehk kindlatest klienditellimustest. (Smith, et al., 2014).

1.4 Varasemad uurimused

Tarneahelate transformatsioon tõukestrateegiatest tõmbestrateegiate poole on kogumas populaarsust. Laopõhist tootmist seostatakse liigesete varudega seotud kuludega ning lahendusena nähakse fokuseerimist reaalsele nõudlusele (Troyer, et al., 2005). Nõudluspõhise tarneahela kontseptsioonid on uuringutes näidanud positiivset efekti. Juba 2004 aastal kirjeldavad Katsuhiko Takahashi ning Nobuto Nakamura tõmbe- ja tõukesüsteemi hübriidi, mida võrreldakse uurimuses puhta tõuke- ja puhta tõmbesüsteemiga. Uurimuse tulemused kirjeldavad hübriidmudeli paremat tulemuslikkust varude juhtimisel (Takahashi, et al., 2004).

2012 aasta uurimuses kirjeldavad S.H Kim, J.W Fowler, D. Shunk ja M.E Pfund DDMRP süsteemiga mitmeid sarnaseid komponente omavat süsteemi, mis artiklis nimetatakse mitme üleminekupunktiga tõmbe-tõuke strateegiaks. Autorid toovad välja tavapärase ühe üleminekupunktiga hübriidstrateegiaga seotud riskid nagu probleemid tellimuste täitmisega ning süsteemi tugev mõjutatus välistest varieeruvusest. Artiklis pakutakse välja uus süsteem, mis hõlmab ahelas mitmeid tõmbepunkte. Uurimus kõrvutas erinevaid kombinatsioone ühe ülemineku punktiga süsteemist, puhtast tõukesüsteemist ning mitme punktiga tõmbe-tõuke süsteemist. Parimaid tulemusi saavutati mitme punktiga tõmbe-tõuke süsteemiga, mille puhul analüüsitud

varudega seotud kulud ning teenindustasemega (müümata jäänud toodete alternatiivkulu) seotud kulud olid simulatsioonis väikseimad. Uuirmus rõhutab, et laiapõhjalisem simulatsioon ning katsetused oleks süsteemi valideerimiseks tarvilikud. Samuti vajaks väljatöötamist eralduspunktide positsioneerimise süsteem. (Kim, et al., 2012)

Jõudes uurimisobjektiks oleva DDMRP juurde, on see konkreetne lahendus tarneahela kogukonna polariseerinud ning leidnud võrdlemisi lühikese ajaga nii tuliseid pooldajad, kui võrdlemisi tugevat kriitikat. Lahenduse uudsusest tingituna on uurimustöid antud teemal veel võrdlemisi piiratud koguses. DDMRP süsteemi on võrreldud uurimustes MRP süsteemiga, kuid võrdlemisi pinnapealselt ning mitte täieliku taustainfoga. Avaldatud uurimustööd on eranditult positiivsete tulemustega. Senine kriitika seisneb eelkõige tarneahela spetsialistide kogukonna liikmete arvamustes erinevates veebiportaalides ning sotsiaalmeedia kanalites, mida liigse subjektiivsuse tõttu uuringute tulemustega võrrelda ei saa.

Hispaanias, Mondragoni Ülikoolis läbi viidud ning ajakirjas „Journal of Industrial Engineering and Management“ avaldatud uurimustöös raporteerivad autorid A.Kortabarria, U.Apaolaza, A. Lizarralde ja I.Amorrortu, et uuringu objektiks olnud anonüümseks jääv ettevõtte saavutas varude juhtimise vallas DDMRP-le üle minnes suurepäraseid tulemusi. Nimelt vaadeldaval 11 kuulisel perioodil suurenes varude tarbimine suurematest tootmiskogustest tingituna 8%, kuid varude keskmine tase langes hämmastavalt 52%. Töö tulemustest nähtub, et vaadeldav ettevõtte suurendas planeerimistsükli sagedust ühelt kuult ühele nädalale, millel on kindlasti varude planeerimistsükli positiivne mõju, olenemata kasutatavast materjalivajaduste planeerimise süsteemist. Autorid väidavad, et planeerimistsükli ei olnud võimalik enne DDMRP rakendamist nädalale lühendada, sest see oleks vajanud märkimisväärset ressursside investeeringut. Viimast väidet ei ole uurimustöös aga täpsustatud. (Kortabarria, et al., 2018)

Suurbritannia ülikoolis Nottingham Trent University viidi läbi juhtumiuuring DDMRP mõjule Saksamaa printimistarvikuid tootva ettevõtte tulemusnäitajatele. Eelkõige intervjuudest saadud infole põhinedes, toob artikkel välja peamisteks probleemidena tellimuste hilinemise klientidele, varude taseme mittevastavuse turu nõudlusele ning üleüldise süsteemi ebastabiilsuse ehk närvilisuse, mis viib ebaefektiivsusteni. DDMRP efekti hinnati simulatsiooni kaudu, kus vaadeldi 28 erineva toote andmeid ning saadud tulemusi võrreldi ettevõtte reaalsete 2012 aasta tulemustega, mis olid saavutatud kasutades MRP süsteemi. Simulatsiooni tulemused olid positiivsed. Võrreldes reaalsete ettevõtte tulemustega, suutis DDMRP lahendus simulatsioonis vähendada liiga suure ja liiga väikese varu signaalide arvu 45% ning kauba otsasaamise kordade arv vähenes 95%. Sealjuures

kaubavaru üldise taseme muutus oli marginaalne – keskmine varude tase langes 2%. (Ihme, et al., 2015).

Uuringus ei täpsustata, kuidas arvestati DDMRP puhul puhvervaru suurus. Samuti ei mainita artiklis, kas ja kuidas simulatsiooni koostamisel arvestati strateegiliste varude paigutamisega ehk eralduspunktide loomisega, mis on DDMRP üks tähtsaimatest komponentidest. Lisaks eelnevale ei ole kirjeldatud ka toodete struktuuri ehk millistest komponentidest ja pooltoodetest lõpptooded koosnevad ning milline on tootmisprotsess. Fikseeritud on fakt, et ettevõtte tellimuste horisont on kaks nädalat. Lisaks eelnevale ei ole uurimuses välja toodud, milline oli MRP seadistus, millega reaalsed 2012 aasta tulemused ettevõttes saavutati, mis oli DDMRP simulatsiooni tulemuste võrdlusbaasiks. Sealjuures ei ole antud selgitusi nii lõpptoodete ega materjalide puhvervarude tasemele ega arvutamise loogikale. Seetõttu on keeruline tulemusi konteksti seada võrdlusbaasi puuduliku kirjelduse tõttu.

DDMRP-d on võrreldud uurimustöös MRP-ga ka Kolumbia toiduvaldkonna distributsiooni ettevõtte näitel. Kirjeldatud on neli erineva stabiilsuse tasemega nõudluse mustrit, mis ettevõttes esinevad ning need on aluseks simulatsioonile. Mudeliga on võrreldud muuhulgas DDMRP ja MRP toimetulekut keskmise varude ja teenindustaseme alusel. Sealjuures ei ole täpsustatud, milline on MRP süsteemi puhvervaru suurus ning tüüp. Info puudub ka täpsema DDMRP konfiguratsiooni kohta, näiteks kuidas on arvestatud keskmist päevast kasutust (ingl *average daily usage*), millel on arvestatav mõju nii varude, kui teenindustasemele. Tulemustest selgub, et DDMRP saavutas MRPga võrreldes 10-25% madalamate kaubavarudega ligikaudu 0,8-2,6% parema teenindustaseme. (Gonzales, 2014)

Uurimustest selgub, et DDMRP metoodikat kasutades on saavutatud häid tulemusi nii varude optimeerimisel, kui teenindustaseme poolest. Piisavalt ei ole aga täpsustatud, kuidas tulemusteni on jõutud, millistel tingimustel on DDMRP mudel üles ehitatud ja tulemused saavutatud ning milline on olnud võrdlusbaasiks oleva süsteemi täpne seadistus. Tuginedes teadusallikatele ning varasematele uuringute tulemustele, analüüsib autor edasises töös DDMRP mõju varude tasemele ja plaani stabiilsusele Saku Õlletehase AS kontekstis, kõrvutades uut lähenemist ettevõttes praegu kasutusel oleva dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga.

2 LÄHTEÜLESANNE

2.1 Saku Õlletehase AS

Magistritöö läheneb probleemi uurimisele läbi ettevõtte Saku Õlletehase AS. Saku Õlletehase AS on Eesti pikima ajaloo õlletootja, mille juured ulatuvad 1820 aastasse, kui Karl Friedrich Rehbinder rajas Saku mõisa juurde kuuluva õllekoja (Arjakas, et al., 2015). 1876 aastal viis mõisa tollane omanik Valerian Baggo õlletootmise Sakus järgmisele tasemele, rajades aurujõul töötava õlletehase. 1899 aastal sai alguse juriidiline keha Saku Õlletehase Aktsiaselts (*Ibid.*). Tänapäevaks kuulub ettevõtte 100% ulatuses Kopenhaageni börsil noteeritud maailma suuruselt neljanda õlletootja Carlsberg A/S gruppi (Saku Õlletehase AS majandusaasta aruanne, 2017). Ettevõtte põhitegevusaladeks on lahjade alkoholsete jookide, lauavee ja karastusjookide tootmine, hulгимүүк, sisse-ja väljavedu (*Ibid.*).

Ettevõtte majandustulemused on näidanud perioodil 2015-2017 positiivset trendi ning kasvanud on nii müügitulu, puhaskasum, kui omakapitali tootlus. Tulemused on saavutatud eelkõige märkimisväärsetele kokkuhoiuprogrammidele, eelõige tootmises ja logistikas. Viimase kolme aastaga on säästetud 20% energiat, 12% vett ning kasvatati tootlikkust. Tegevuste arvelt säästeti 1,5 miljonit eurot, mis ettevõtte rentaablust on kasvatanud. (Saku Õlletehase AS majandusaasta aruanne, 2017). Küll aga on ettevõtte tulemusi mõjutamas eelkõige alkoholipoliitikast tingitud keeruline väliskeskkond. 2017 aastal toimunud ebatavaliselt kõrged alkoholiaktsiisidused veel avalikustatud majandusaasta aruannetes ei kajastu. Aktsiisidusude mõju on võimalik hinnata alates 2018 aasta seni avaldamata tulemustest. Ettevõtte peamised finantssuhtarvud on esitatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Saku Õlletehase majandusnäitajad aastatel 2015-2017

Peamised finantssuhtarvud	2017	2016	2015
Müügitulu (tuh EUR)	61 718	61 001	59 268
Käibe kasv	1,2%	2,9%	-16,9%
Ärikasumi määr	8,2%	4,6%	1,5%
Puhaskasum (tuh EUR)	4 752	2 523	573
Puhasrentaablus	7,7%	4,1%	1,0%
Lühiajaliste kohustuste kattekordaja	0,5	0,4	0,3
Omakapitali tootlus	6,4%	3,6%	0,9%

Allikas: (Saku Õlletehase AS majandusaasta aruanne, 2017)

2.2 Lähteolukord

2.2.1 Turg ja nõudluse volatiivsus

Alkoholsete jookide turg Eestis on kahanemistrendis, mõjutatuna eelkõige riigi eesmärgist alkoholitarbimise vähendamise kaudu rahva tervist parandada. Järsud alkoholiaktsiisi tõusud viimastel aastatel on tekitanud olukorra, kus alkoholiaktsiisi laekumised on vähenenud ning Eesti koduturu kogukäive langenud, kuid eestlaste alkoholitarbimine on läbi piirikaubanduse kasvu tõusnud. 2017 aastal toimus erakordselt kõrge aktsiisitõus lahjade kääritatud jookide kategoorias ning õlle aktsiis tõusis kahe järjestikuse maksutõusust tulenevalt ühe aasta jooksul 87% (Konjunktuuriinstituut., 2018). Vaatamata maksutõusudele, tõusis 2017 aastal eestlaste õlu tarbimine piirikaubandusest tingituna 2017 aastal 3% (*Ibid.*). Alkoholsete jookide müük siseturul on kirjeldatud joonisel 2.1.

Tabel 2.1 Riiklikus statistikas registreeritud alkoholsete jookide müük siseturul 2006-2017

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Kanged alkoholised joogid	20,2	23,9	21,9	18,5	16,8	19,4	19,9	20,8	19,7	18,8	17,3	13,4	Strong alcoholic beverages
viin	13,4	16,1	15,5	13,8	11,1	12,0	12,5	13,6	12,8	12,5	10,8	7,8	vodka
muud	6,8	7,8	6,4	4,7	5,7	7,4	7,4	7,1	6,9	6,3	6,6	5,6	other
Õlu	134,4	133,8	122,5	115,2	125,4	127,1	130,7	131,5	130,3	126,0	121,0	103,3	Beer
Viinamarjavein ja vermut	12,5	12,0	14,4	13,1	15,3	17,1	18,5	19,9	19,8	20,3	21,3	19,5	Wine and vermouth
Lahjad alkoholised joogid	39,7	41,4	40,1	33,0	33,7	40,5	41,9	43,8	42,8	37,7	35,3	27,9	Light alcoholic beverages
lahjad piirituse segujoogid	27,1	30,5	28,0	22,2	21,0	28,0	17,0	7,5	5,8	6,0	5,5	4,3	light mixed spirit-based beverages
lahjad kääritatud joogid	10,0	8,0	7,9	7,3	9,3	12,4	23,4	32,0	32,5	28,0	28,5	22,3	light fermented beverages
puuvilja- ja marjaveinid	2,6	2,9	4,2	3,5	3,4	0,1	1,5	4,3	4,4	3,7	1,3	1,3	fruit and berry wines

Allikas: (Konjunktuuriinstituut., 2018)

Eesti õlleturg on jaotanud suuremas mahus kahe suurema tootja, Saku Õlletehase ning AS A. Le Coq vahel. Sealjuures ligikaudu 75-80% koduturu mahust jaotub kahe suurima vahel ligikaudselt võrdselt (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018). Ettevõtte omab Eesti turul tugevaid brände nagu Saku Originaal, Saku Kuld ning lisaks turustab välismaiseid tuntuid rahvusvahelisi õllemarke nagu Calrsberg, Tuborg, Grimbergen, Battery ja Somersby. Portfelli kuulub lauavesi Vichy Classique, maitsevesi Vichy Fresh ja vitamiinisari Vichy Vitamin (Saku Õlletehase AS majandusaasta aruanne, 2017). Vaatamata tuntud brändidele, koosneb tooteportfell suhteliselt kõrge hinnaelastsusega toodetest. Nii lahja alkoholi, kui jaekaubanduse äris üldiselt käib pidev võitlus

turuosa nimel, mida lisaks muudele turundustegevustele ja brändiarendusele on võimalik tugevalt mõjutada kampaaniahindadega (Müügiplaneerija 2018). Seetõttu on kampaaniapakumistel äritegevuses tähtis roll. Jaekaubanduse kampaaniakorralduse süsteem on keerukas ja dünaamiline, konkureerivad poeketid reageerivad üksteise soodustustele kiirete vastukampaaniatega (*Ibid.*). Kuigi Saku Õlletehase AS-i ning jaekettide vaheline koostöö antud valdkonnas on muutumas aina tihedamaks, on turu iseloom siiski muutlik. Sellest tingituna on Saku Õlletehase AS-i kampaaniate maht kogumüügist võrdlemisi suur, samuti sõlmitakse kokkulepped väga lühikese etteteatamisajaga. Kampaaniamahtude keskmised osakaalud on kirjeldatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Keskmised kampaaniamahtude osakaalud 2018 oktoober – 2019 jaanuar

Periood	Õlletoodete kampaaniamaht	Kampaaniamaht kokku
Oktoober 2018	40%	35%
November 2018	42%	38%
Detsember 2018	52%	39%
Jaanuar 2019	45%	38%

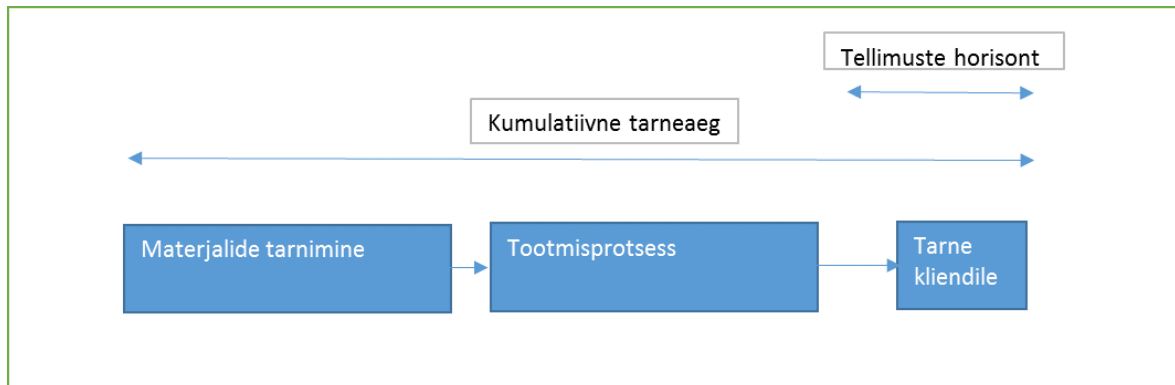
Allikas: (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018)

Langeva koduturu situatsioonist ning kampaaniamahtude volatiivsest iseloomust tulenevalt, on seatud ettevõttele surve sisemiste efektiivsuse näol kulude kärpimisele ning samaaegselt püsib vajadus muutlikule nõudlusele kiiresti reageerida. Taoline olukord loob õlletootja jaoks kõrge määramatusega keskkonna, mis on tarneahela planeerimisel ning varude juhtimisel väljakutseks (Planeerimisjuht 2018).

2.2.2 Klienditellimuste horisont ja lajuhitav tootmine

Lisaks suurele kampaaniamahtude osakaalule töötab ettevõtte peamiselt kolmel põhjusel lajuhitava tootmise ehk MTS strateegiat kasutades. Esiteks on klientide fikseeritud tellimuste horisont väga lühike. Koduturu tellimused tehakse ette 1,5 päeva ehk üldjoontes on Saku Õlletehasele lepinguline kohustus tarnida tooted kliendi määratud kesklattu või konkreetsesse poodi tellimuse tegemise hetkest ülejäämiseks päevaks (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2019). Tellimusi on võimalik esitada igal tööpäeval kindla kellajani, sealjuures tootja laos broneeritakse tooted tellimuse täitmiseks tellimuse saabumise hetkel, tagamaks jaotusvedude efektiivse korraldus. See tähendab, et varude planeerimise seisukohast Saku Õlletehase AS-is koduturu kontekstis fikseeritud klienditellimuste horisont praktilises töös puudub. Sellest tulenevalt puudub võimalus tellimuspõhiseks tootmiseks, nõudluse teenindamiseks soovitud tarneajaga on vajalik

omada lõpptoote varusid. Johtuvalt on varude juhtimine üles ehitatud müügiprognoosidele. Lühikest tellimuste horisonti kujutab joonis 2.1.



Joonis 2.1. Tellimuste horisont võrreldes kumulatiivse läbimisajaga

Allikas: autori koostatud

Teine põhjus MTS kasutamiseks tuleneb ettevõtte fookusest masstoodangule ning õlletootmise spetsiifikast. Tootmise miinimumpartiit on võrdlemisi suured tootmistehnika konfiguratsioonist ning tootmisprotsessist tulenevalt, suuremate partiide tootmist soodustab saavutatav kuluefektiivsus tootmiskulude arvelt.

Kolmandaks põhjuseks MTS strateegia kasutamiseks on nõudluse tugev hooajalisus. Suvekuudel, mis on valdkonnas suurimaks müügihooajaks, ületab ettevõtte müügiimaht ressursside tehnilise tootmiskapasiteedi mitmetes kategooriates. Sealhulgas purgiliinil, mis on mahu poolest vaieldamatult tähtsaim tootmisliin. Purgiliinil toodetakse 70% ettevõtte toodangu kogumahust (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2019). Rahuldamiseks nõudlust ning saavutamaks optimaalne klienditeenindustase, on tarvilik lõpptoote varusid hooajaeelselt puhverdada, mis soodustab müügiprognoosidel põhinevat tootmist.

2.2.3 Planeerimise tsükkel ja MRP

Planeerimisel omab kesksel rolli müügi- ja operatsioonide planeerimise S&OP protsess (ingl *sales and operations planning*). S&OP protsessil on oluline roll müükide, logistika ja tootmise kooskõlastamisel (El Barkany, et al., 2018). Protsess seob ettevõtte strateegilised eesmärgid taktikalistega ning eesmärgiks on kujundada parim viis nõudluse ja pakkumise tasakaalustamiseks (*ibid.*). Saku Õlletehases on protsessi näol tegemist rutiinse tsükliga ning see toimub kahel tasandil – kuine ja nädalane. Eesmärgiks on tagada võimalikult efektiivne nõudluse ja pakkumise kooskõlastus vastavalt tehase võimekusele ja strateegilistele seatud eesmärkidele. (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2019).

Kuise tsükli väljundiks on osakondade ja teiste relevantsete Carlsberg Groupi kuuluvate tehastega kooskõlastatud plaan 18 kuu horisondis. Iganädalase tsükli väljundiks on sarnane tulemus, kuid lähema kolme kuu horisondis ning on seega operatiivsem ja varude juhtimise teostuse seisukohalt olulisem. Iganädalase tsükli tähtsaimaks sisendiks on müügiprognoos ning väljundiks iganädalane keskne tootmiskava (ingl *master production schedule*) 12 nädala horisondis. Vastavalt keskele tootmisplaanile, genereeritakse iganädalasel MRP süsteemiga materjalivajadused, mis on vajalikud tootmisplaani täitmiseks. MRP süsteem on osa ettevõtte ERP süsteemist, tarkvarana on kasutusel SAP NetWeaver. MPS plaani koostamiseks on kasutusel spetsiaalselt VBA programmeerimiskeeles arendatud Exceli abifailid. Plaan laetakse nädalase intervalliga välisest süsteemist ehk Excelist SAP-i, kus see saab MRP sisendiks. Planeerimistsükkel sarnaneb suuresti tavapärase tootmisressursside planeerimise süsteemi protseduuriga ehk MRP II-ga. MRP II protseduur on kajastatud lisa 2 ning see on MRP simulatsioonimudeli koostamisel aluseks (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2019).

Ohutusvaru tüüpidest on lõpptoodetel kõige enam kasutusel dünaamiline ohutusvaru, mida arvestatakse päevades. Dünaamilise ohutusvaru arvutus põhineb müügiprognoosidel. Dünaamilise ohutusvaru suurus kujuneb vastavalt valemile (7) (Koul, 2009):

$$DSS = ADR \cdot ROC \quad (7)$$

kus

- DSS*- dünaamilise ohutusvaru suurus
- ADR*- keskmine päevane prognoositav müük (ingl *average daily requirements*)
- ROC*- ohutusvaru ulatus päevades (ingl *range of coverage*)

2.2.4 Plaani stabiilsus

Saku Õlletehase ja eriti planeerimise osakonna jaoks on üks olulisemaid tulemusmõõdikuid teenindustase ehk kui suure osa tellitud mahust suudab ettevõtte tarnida. Teenindustaseme arvutuskäik on kirjeldatud valemis (8) (Rădăşanu, 2016).

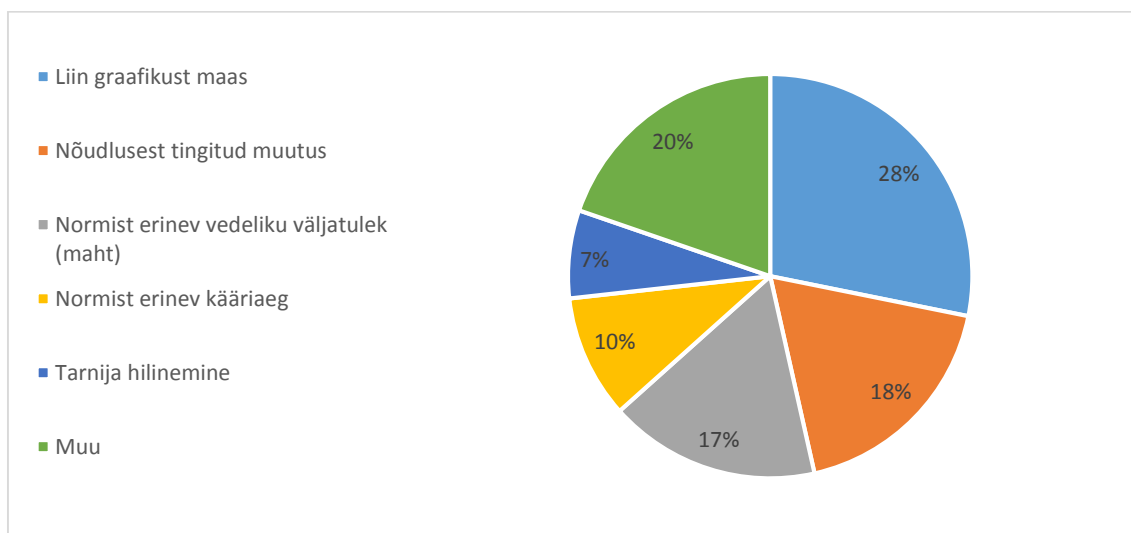
$$Teenindustase = \frac{\text{Õigeaegselt tarnitud kogus}}{\text{Tellitud kogus}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Mõõdikust sõltub olulisel määral ettevõtte müügitulu. Sageli tähendavad hälbed eesmärgist lisaks müügitulu kaotusele ka lepingulisi trahve klientidelt. Ettevõtte on eesmärgi viimasel kahel aastal

saavutanud, kuid seda märkimisväärse plaani närvilisuse tingimustel. Saavutamaks kõrget teenindustaset keerulises nõudluse keskkonnas, on ettevõttes viimase hetke plaanimuudatused tavaline nähtus.

Plaanimuudatuste juurpõhjuseid on struktureeritult kaardistatud alates 2018 aasta suvest. Muudatusi liigitatakse positiivseks, neutraalseks või negatiivseks. Liigitamise aluseks on otsesed kulud, kaudseid muudatustega kaasnevaid kulusid ei ole ettevõttes veel analüüsitud. Muudatuse tagajärgi loetakse negatiivseks, kui sellest tulenevalt langeb tootmisesefektiivsus ja/või mõjutab teenindustaseme täitmist negatiivselt. Muudatus on positiivne, kui see toob kaasa kulude languse efektiivsuse tõusu ja/või ei mõjuta tootmise kulusid, kuid mõjutab positiivselt teenindustaseme eesmärgi täitmist. Muutus on neutraalne, kui see ei too kaasa otseste kulude tõusu ega mõjuta teenindustaseme täitmist. (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018)

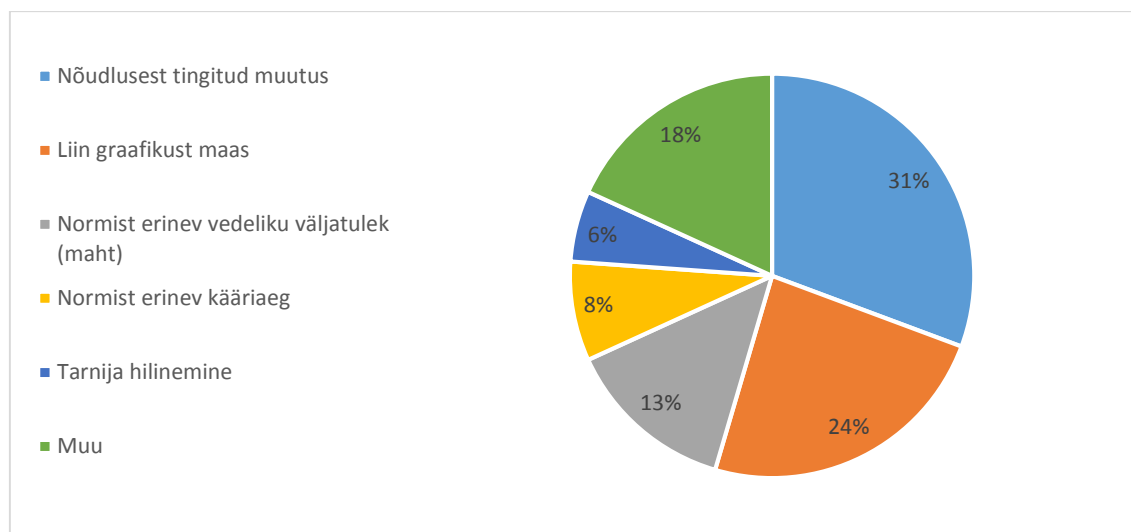
Alates 2018 aasta juunist kuni 2018 aasta lõpuni on salvestatud 71 negatiivsete tagajärgedega plaanimuudatust, mis toimusid fikseeritud plaaniorisondi sees. Plaanimuudatuste arvu peetakse Saku Õlletehase AS-s liiga kõrgeks (Planeerimisjuht 2018). Analüüsisid plaanimuudatuste põhjuseid, selgub, et negatiivsetest plaanimuudatustest on tähtsaimad liini maha jäämine planeeritud ajast, nõudlusest tingitud muudatused, baasvedeliku varieeruvusega seotud muudatused ning tarnija hilinemisest tingitud muudatused. Negatiivse mõjuga plaanimuudatuste osakaalud on visualiseeritud joonisel 2.2.



Joonis 2.2 Negatiivsete plaanimuudatuste põhjuste osakaalud

Allikas: autori koostatud

Kaasates vaatluse alla lisaks otseste negatiivsete tagajärgedega plaanimuudatustele ka neutraalsed muudatused, saab suurima osakaaluga plaanimuudatuse põhjuseks 31%-ga nõudlusest tulenevad muudatused. Negatiivsete ja neutraalsete plaanimuudatuste vahekord on kujutatud joonisel 2.3.

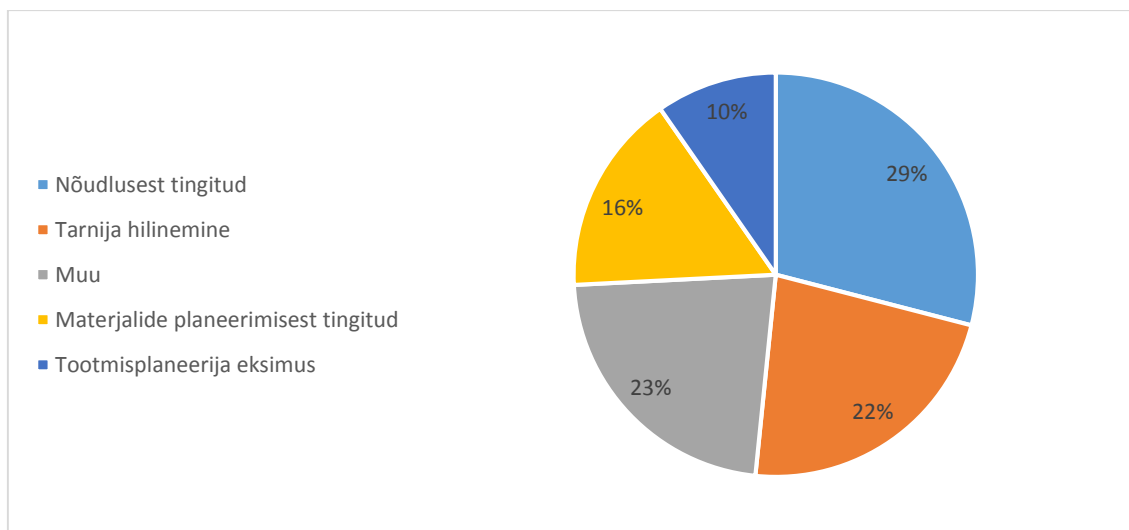


Joonis 2.3. Negatiivsete ja neutraalsete plaanimuudatuste põhjuste osakaalud

Allikas: autori koostatud

Lisaks dokumenteeritud tootmisplaani plaanimuudatustele, panustavad plaani ebastabiilsusesse ka muudatused, mis toimuvad fikseeritud plaaniorisondist väljaspool, kuid märkimisväärselt mõjutavad materjalide tarneplaani (Materjaliplaneerija 2019).

Standardi kohaselt peavad materjalid olema saadaval 24 tundi enne tootmisprotsessi algust (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018). Süsteemi ebastabiilsuse kasvu panustavad ka sellised materjalitarned, mis jõuavad kohale standardist väiksema puhverajaga. Taoline määramatus ja sellest tulenev võimalik tootmisplaani muudatus toob kaasa mitmeid lisategevusi ja võimalikke lisakulusid nii protsessiosakonnas, laos, kui villiosakonnas (Planeerimisjuht 2019). Lisaks vajavad taoliste materjalide tarned lisatähelepanu ja seega kasutavad lisaressursse materjali- ning tootmise planeerija tööaja näol (Planeerimisjuht 2019). Taolisi tarneid grupeeritakse ettevõttes koondnimetusega kriitilisteks tarneteks. Eesmärgiks on selliste olukordade vältimine ning juhtumeid on kaardistatud samuti 2018 suvest nagu ka plaanimuudatusi (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018). Kriitiliste tarnete põhjused on kirjeldatud joonisel 2.4.



Joonis 2.4. Kriitiliste tarnete põhjuste osakaalud

Allikas: autori koostatud

Analüüsidest nii plaanimuudatuste kui kriitiliste materjalide põhjuseid ilmneb, et varude juhtimisega seotud otsustega on teoreetiliselt võimalik mõjutada suurt osa kaardistatud plaanimuudatustest ning kriitilistest tarnetest, vastavad näitajad on kirjeldatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Varude juhtimisest mõjutatav osa süsteemi ebastabiilsusest.

Süsteemi närvilisust kirjeldav tegur	Varude juhtimisest mõjutatav osa
Kriitilised tarned	68%
Plaanimuudatused	39%

Allikas: autori koostatud

2.3 Uurimisülesanded

Riigi aktsiisipoliitika on viinud Eesti koduturu lahjade alkoholsete jookide turu langusesse ning alkoholsete jookide tarbijahinnaindeks on tõusmas märgatavalt kiiremini, kui keskmine tarbijahinnaindeks (Konjunktuuriinstituut., 2018). Kuigi eestlaste alkoholitarbimine ei ole summana vähenenud tekkinud piirikaubanduse tõttu Eesti-Läti piiril, siis on sellel tugev mõju ettevõtte marginaalidele. Ekspordina Eesti-Läti piirile müüdava toodangu marginaalid on tunduvalt madalamad, kui Eesti koduturule müües. Lisaks on ettevõtte jaoks probleemiks varude juhtimisega väga sagedased ning ulatuslikud plaanimuudatused, mis toovad kaasa languse efektiivsuses. Suurte kampaaniamahtude osakaalu tõttu püsib vajadus nõudluse muutustele kiiresti reageerida. Taoline keskkond loob surve leidmaks kuluefektiivsust läbi varude optimaalse juhtimise.

Täna käib kogu varude juhtimine ettevõttes läbi valdkonnas laialt levinud MRP süsteemi, millega seostatakse planeerimisel probleeme nii varude taseme, kui plaanimuudatuste rohkuse poolest. Viimastel aastatel on esile kerkinud MRP süsteemi edasiarendus DDMRP, millel on teoorias just nimetatud aspektides potentsiaali näitamaks paremat tulemuslikkust.

Uurimistöö eesmärgiks on välja selgitada, kas ja millistel tingimistel võimaldab DDMRP võrreldes MRP-ga sama teenindustaseme juures madalamaid keskmisi kaubavarusid ja suuremat tarneplaani stabiilsust Saku Õlletehase AS-s, kus nõudlus on volatiivne ning tootestruktuurid võrdlemisi lihtsad. Töös püstitatud uurimisküsimused on alljärgnevad:

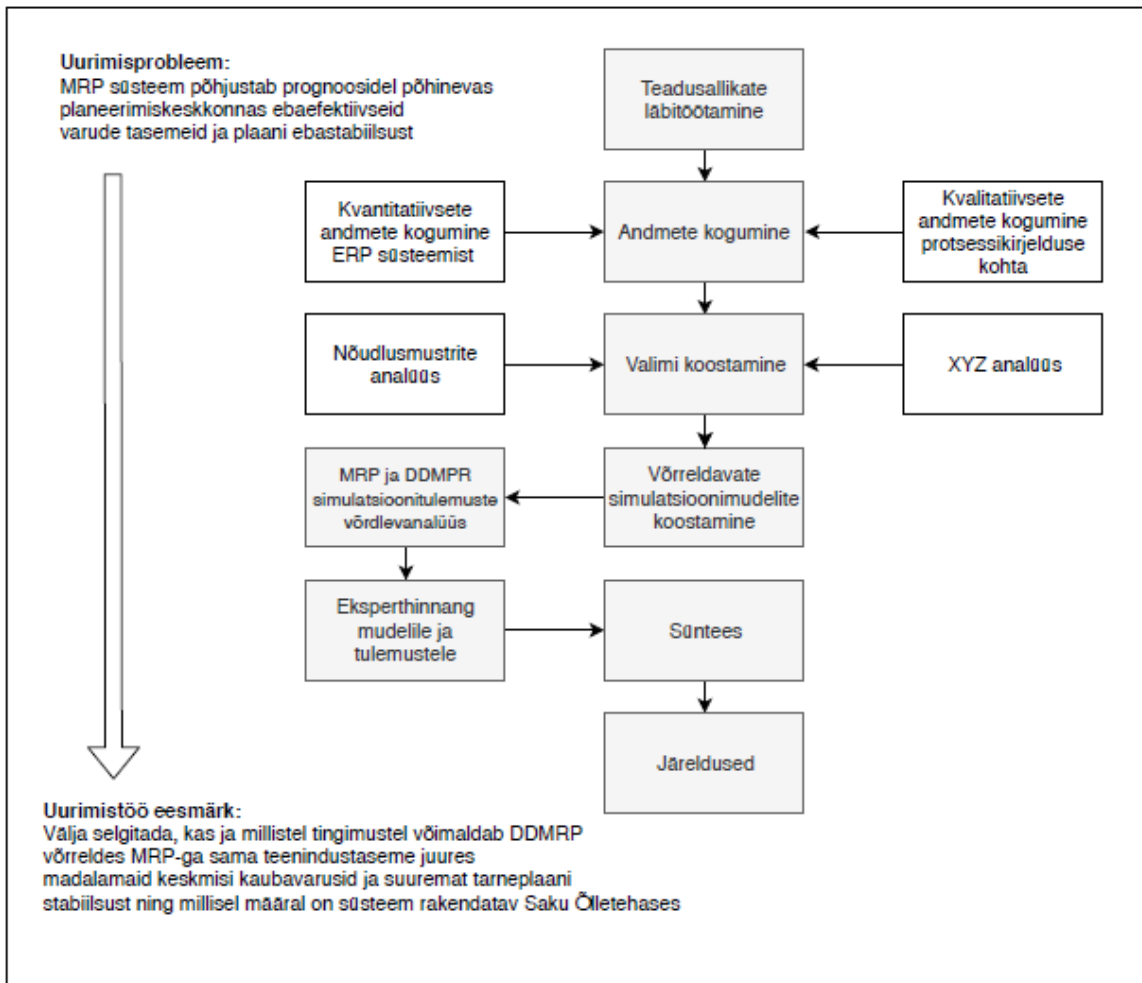
1. Kas ja millistel tingimustel võimaldab DDMRP kasutamine võrreldes üldlevinud MRP süsteemiga vähendada varude hulka sama teenindustaseme juures?
2. Kas DDMRP kasutamine võimaldab võrreldes MRP süsteemiga suurendada tarneplaani stabiilsust?
3. Millisel määral on DDMRP kasutatav Saku Õlletehase AS kontekstis?

3 METOODIKA

3.1 Uurimisstrateegia

Lõputöö uurimisstrateegiaks on kombineeritud juhtumiuuring. Töö analüüsib ja võrdleb materjalivajaduste planeerimise süsteemi (MRP) ning nõudluspõhist materjalivajaduste planeerimise süsteemi (DDMRP) õlletööstuse ettevõttes Saku Õlletehase AS. Saku Õlletehase AS-s kasutatakse igapäevases töös varude planeerimisel MRP süsteemi. Kahe erineva lähenemise ehk MRP ja DDMRP süsteemide võrdlemiseks ning analüüsiks kasutatakse simulatsiooni. Sealjuures koostatakse kummagi süsteemi kohta spetsiaalne simulatsioonimudel, mis kasutavad peamise sisendina identsetel alustel genereeritavaid nõudlussignaale. Mudelite tulemusi võrreldakse eelkõige varude keskmise taseme ning süsteemi stabiilsuse seisukohtadest. Simulatsioonitulemustele põhinev analüüs koos eksperthinnanguga viib järeldusteni DDMRP süsteemi võimaliku tulemuslikkuse ja rakendamise kohta Saku Õlletehases. Uurimisstrateegia on kujutatud joonisel 3.1.

Erinevalt varasematest uurimustest koostatakse simulatsioonimudel selliselt, et kirjeldatud on varude täiendamise keskkond ja parameetrid, sealhulgas ka tavapärase MRP süsteemi ohutusvaru tüübi ja suuruse kirjeldus. Eelnevates uurimustes ei ole piisavalt kirjeldatud MRP süsteemi seadistust ja uut DDMRP süsteemi on võrreldud puudulikult kirjeldatud keskkonnaga. Muuhulgas on olnud uurimustes MRP süsteemi ehk DDMRP võrdlusbaasi tulemused võrdlemisi nõrgad.



Joonis 3.1 Uurimisstrateegia

3.2 Andmekogumismeetodid

Simulatsioonimodelite ülesehitusel lähtutakse Saku Õlletehase AS-i varude planeerimise ja täiendamise protsessidest. Koostamiseks mudelit, mis sarnaneks Saku Õlletehase AS-i keskkonnale, kogutakse nii kvantitatiivseid, kui kvalitatiivseid ettevõtte planeerimisprotsesse puudutavaid andmeid.

Kvantitatiivsed andmed ettevõtte materjalivarude planeerimise süsteemi ja parameetrite kohta kogutakse ERP süsteemist, vaadeldav periood on 2018.01-2019.01. ERP süsteemist pärinevad varude täiendamisega seotud parameetrid nagu ohutusvaru tüüp ja suurus, keskmine tarneaeg ning tootmis- või tellimissamm. Mudeli loomiseks vajalikud müükide andmed koguti ettevõtte muudest andmearhiividest ning hõlmavad sama perioodi 2018.01-2019.01. Lisaks andmebaasidele, koguti vajalikke andmeid planeerimisprotsessis osalevatelt töötajatelt läbi poolstruktureeritud

intervjuude. Varude täiendamise seisukohast tähtsaimad sisendandmed koos allikatega on summeeritud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Varude täiendamisega seotud kogutud andmed ning nende allikad

Andmetüüp	Allikas
Toote ohutusvaru tüüp	ERP
Toote ohutusvaru suurus	ERP
Toote keskmine läbimisaeg	ERP
Toote tellimis- või tootmissamm	ERP
Tootestruktuur	ERP
Teenindustaseme eesmärk	Planeerimisjuht
Keskmesid müügid SKU tasandil	Andmearhiiv
Prognoosimise protsess, müügiprognooside vead	Müügiplaneerija
	Materjalplaneerija
	Planeerimisjuht
Varude täiendamise protsessi kirjeldus	Sisedokumentatsioon

Allikas: autori koostatud.

Toodete valimi koostamisel on eesmärgiks kaasata analüüsi võimalikult erinevate nõudluse mustrite ja kumulatiivsete läbimisaegade pikkustega tooteid selliselt, et iseloomustatud saaks suur osa ettevõtte tooteportfellist ning oleks võimalik teha üldistusi. Valim moodustati küpsusfaasis toodete hulgas ning koostamisel lähtuti lõpptoodetest ehk müüdavatest toodetest ning analüüsivad pooltooted kujunevad vastavalt lõpptoodete tootekoostudele. Sealjuures hoidmaks simulatsiooni fookust, kaasatakse analüüsi vaid olulisemad materjalid ja pooltooted ning välja jäetakse tootmises tarbeesemete ja lisandite staatusesse kuuluvad materjalid, mille planeerimine ei põhjusta planeerimisel probleeme nagu näiteks liim ja süsihappegaas (Materjalplaneerija 2019).

Tooted on jagatud kahte suuremasse kategooriasse, milleks on turustatavad tooted, mida ostetakse ning tooted, mida toodetakse ja turustatakse. Oluline erinevus kahe kategooria vahel on, et erinevalt toodetavatest toodetest puudub ostetavatel tooteartiklidel Saku Õlletehase jaoks struktuur ehk komponendid. Samuti on erinevuseks asjaolu, et ostetavatele toodetele on võimalik tellimusi teha igapäevaselt, kuid toodetavate toodete plaani uuendamise tihedus on kord nädalas, mis tuleneb ettevõtte planeerimisprotsessi ülesehitusest.

Nõudluse mustrite grupeerimiseks kasutatakse ABC-XYZ analüüsi nõudluse varieeruvust struktureerivat osa ehk XYZ kategoriseerimistehnikat, jättes välja ABC analüüsi osa. ABC analüüs, mis on reeglina kasutusel toodetele tähtsuse omistamiseks käibe või kasumi kaudu, on valimi

kujundamisel välja jäetud, sest otseselt käibest ega kasumlikkusest ei sõltu võrreldavate süsteemide omavaheline suhteline tulemuslikkus varude taseme ega plaani stabiilsuse poolest. XYZ analüüs jagab tooted kolme rühma vastavalt nõudluse varieeruvuse koefitsiendi tasemele. Saku Õlletehases on kasutusel XYZ varieeruvuse tavapärased vahemike kriteeriumid, mis on kirjeldatud tabelis 3.2. Varieeruvuse koefitsient leitakse järgmise valemiga (9):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (9)$$

Kus

CV- varieeruvuse koefitsient,

\bar{X} - keskmine müügikogus perioodis,

σ - müükide standardhälve.

Tabel 3.2 XYZ kategooriate kujunemine

Nõudluse kategooria	X	Y	Z
CV väärtus	<0,5	0,5-1,0	>1,0

Allikas: autori koostatud

Lisaks nõudlusemustritele eristatakse analüüsil tooteid kumulatiivse läbimisaja järgi, mis on vastavalt tootetüübile jagatud kahte gruppi. Sisseostetavate toodete lõikes on läbimisaja erinevused väga selgelt eristatavad ning lühikese läbimisajaga toodete kategooriasse kuuluvad kuni 3 päevase tarneajaga tooted. Toodetavate toodete puhul on lühikese ja pika läbimisaja piiriks 17 päeva. Valimisse kuuluvad tootegrupid on kajastatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Valimisse kuuluvad tooteprofiilid

Grupi nr.	Tootetüüp	Nõudlusemustri varieeruvusgrupp	Kumulatiivne läbimisaeg
1	Sisseostetav	X	Lühike
2	Sisseostetav	Y	Lühike
3	Sisseostetav	Z	Lühike
4	Sisseostetav	X	Pikk
5	Sisseostetav	Y	Pikk
6	Sisseostetav	Z	Pikk
7	Toodetav	X	Lühike
8	Toodetav	Z	Lühike
9	Toodetav	X	Pikk
10	Toodetav	Z	Pikk

Allikas: autori koostatud

3.3 Simulatsioon

Võrdlemaks MRP ja DDMRP süsteeme, koostatakse kaks diskreetsete sündmustega simulatsioonimudelit (ingl *discrete-event system simulation*). Diskreetsete sündmustega simulatsioon on süsteemide modelleerimine, simuleerimine ning analüüs kasutades arvuteid ning matemaatilisi tehnikaid (Babulak, et al., 2010). Diskreetsete sündmustega simulatsioon jäljendab reaalelulist keskkonda ning simulatsioon toimub üksteisele järgnevate sündmustega (*Ibid.*).

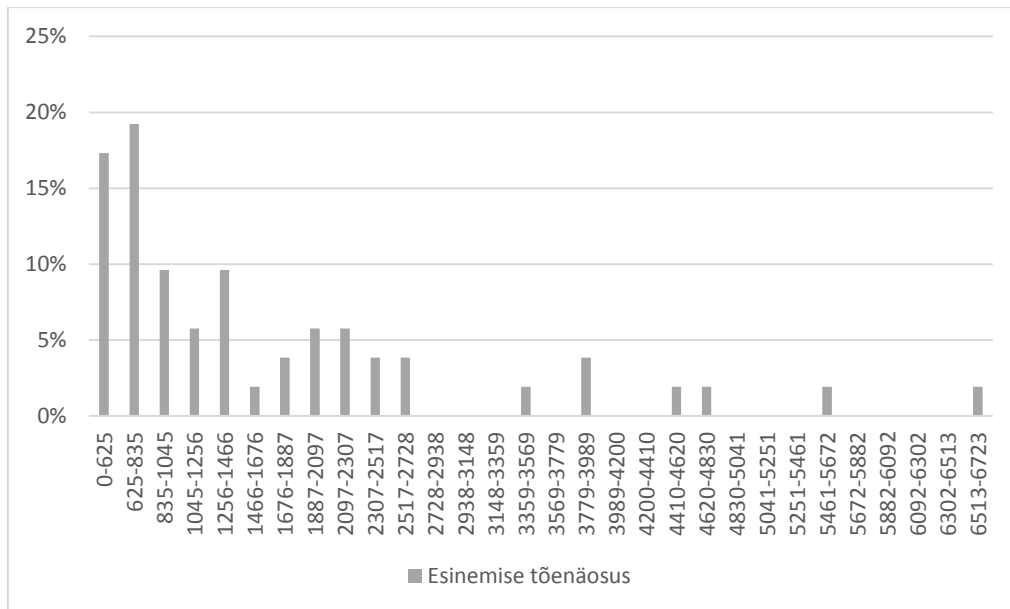
Esimene koostatud mudel on MRP, mis olulisel määral iseloomustab Saku Õlletehase AS-i planeerimise ja materjalide täiendamise tänast süsteemi. Teiseks koostatakse DDMRP elemente kasutav simulatsioonimudel, mis iseloomustab võimalikku materjalide planeerimise süsteemi, kasutades nõudlusel põhinevat materjalivajaduste planeerimise süsteemi. Mõlema simulatsioonimudeli puhul kasutatakse identseid andmeid sisendparameetritena, välja arvatud juhul, kui parameetrid on ühele süsteemile unikaalsed. Kohandamiseks simulatsioonimudelid Saku Õlletehase AS keskkonnaga, koostatakse need kombinatsioonina VBA (*Visual Basic for Applications*) ning Microsoft Exceli tarkavara kasutades, mis pakub suurel määral paindlikkust mudelite ülesehitusel. Simulatsiooni eesmärk on mõõta kahe erineva süsteemi eripärasid keskmise varude taseme poolest ning süsteemi stabiilsusest tulenevalt.

3.3.1 Simulatsiooni kirjeldus

Ühe simulatsiooni kestvuseks on 182 päeva ehk perioodi. Simulatsioon algab müükide genereerimisega kõigile perioodidele. Tagamaks võimalus simulatsiooni sarnastel tingimustel korrata ja tõsta seeläbi tulemuste usaldusväärsust, genereeritakse nii MRP kui DDMRP mudeli puhul müügiandmed vastavalt reaalse toodete keskmistele müükidele ja müükide standardhälbele normaaljaotuse või diskreetse tõenäosusjaotuse alusel. Otsus millist jaotust kasutada, tehakse iga uuritava toote kohta eraldi. Kui toote reaalsed müügid jaotuvad sarnaselt normaaljaotusele, kasutatakse seda ka simulatsioonis müükide genereerimiseks. Kui aga toote reaalsed müügid ei jaotu normaaljaotusega sarnaselt, siis põhjustaks normaaljaotuse kasutamine ebausaldusväärseid tulemusi Saku Õlletehase AS-i kontekstis ning saavutavad tulemused ei oleks uuritavatele toodetele kohaldatavad. Nimetatud juhul koostatakse tootele unikaalne müükide diskreetne tõenäosusjaotus sagedustabeli alusel, mis põhineb reaalsel müügiandmetel. Normaaljaotus on funktsioon, kus jaotustihedus väärtusel x sõltub keskväärtusest x ja standardhälbest. Normaaljaotust iseloomustab tihedusfunktsioon (10): (Sauga, 2006)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

Spetsiaalselt tootele loodud diskreetse tõenäosusjaotuse näide, kui müügid ei vasta normaaljaotusele, on toodud joonisel 3.2.



Joonis 3.2. Näide toote diskreetsest müükide tõenäosusjaotusest

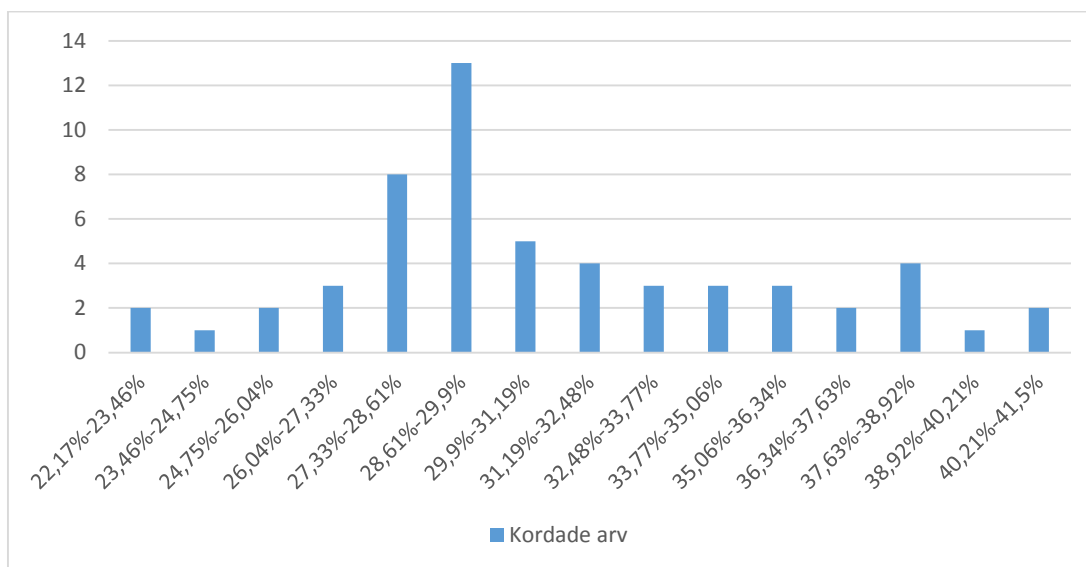
MRP süsteem põhineb müügiprognoosidel ning seetõttu on tarvilik simulatsioonis lisaks müükidele genereerida ka müügiprognoosid. Müügiprognooside koostamisel on sisendiks keskmine toote müügiennustuse viga ning müügiennustuse vea standardhälve. Müügiprognooside koostamisel kasutatakse müügiprognooside täpsuse (ingl *Forecast Accuracy*) valemit (11) (Kirik, 2018):

$$FA = 1 - \frac{ABS(\text{Tegelik müük-Prognoos})}{\text{Prognoos}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Sealjuures võetakse simulatsioonis eelduseks, et müügiprognoosi keskmine kõrvalekalle (ingl *forecast bias*) on 0 %. See on tavapärane müügiprognoosimise eesmärk ning tähendab, et pikemal perioodil on prognoosimisel võrdselt nii müükide üle- kui alahindamist. Müügiprognoosi kõrvalekallet iseloomustab valem (12) (Kirik, 2018):

$$BIAS = 1 - \frac{\text{Kogu ennustatud müügimaht}}{\text{Müüdud kogus}} \cdot 100\% \quad (12)$$

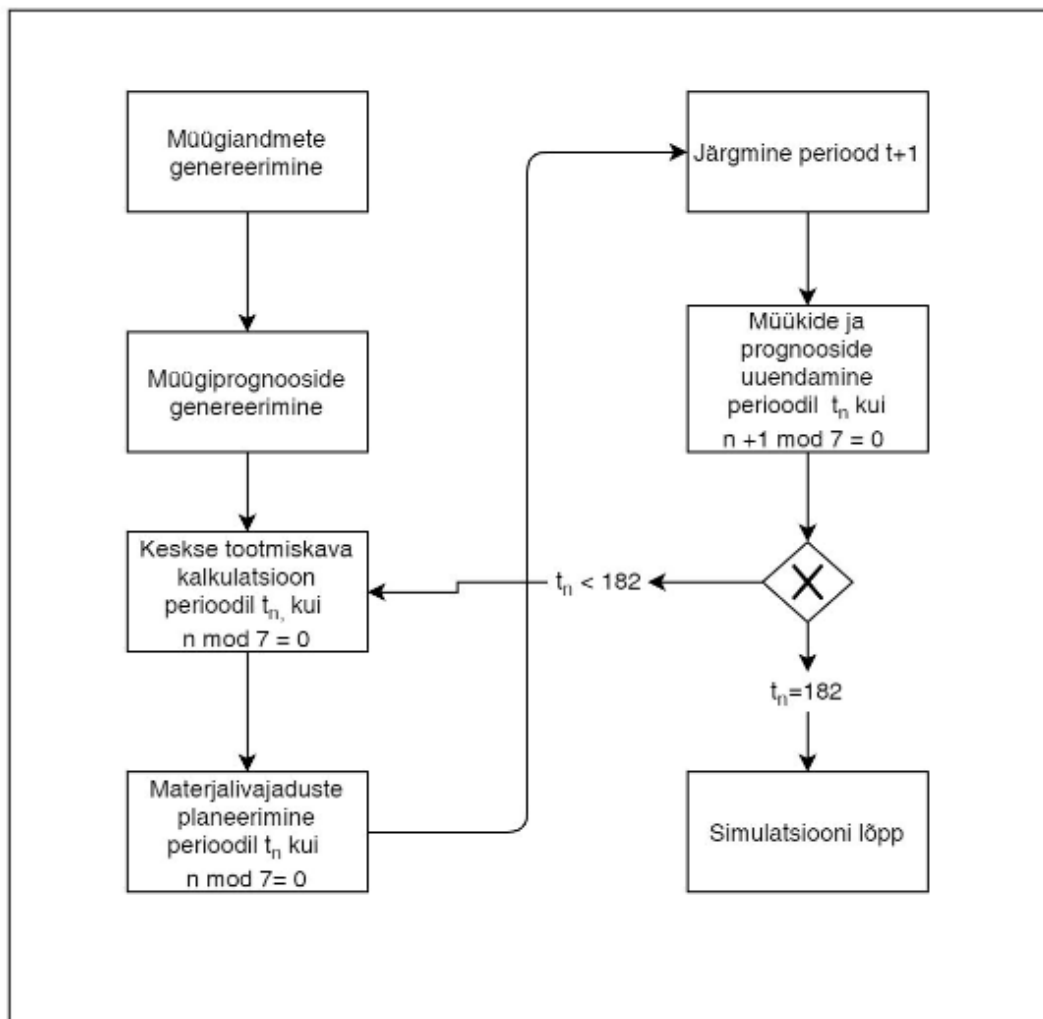
Igale perioodile genereeritakse müügiennustus, mis erineb reaalsest tuleviku müügist normaaljaotusest tuleneva vea võrra. Seega igal nädalal esineb teatav prognoosiviga, mis omistab väärtuse vastavalt prognoosivea keskväärtusele ja standardhälbele. Selline müügiprognooside genereerimine loob sarnase olustiku Saku Õlletehase AS-iga. Ettevõtte prognoosivigade histogramm on kujutatud joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Prognoosivigade vahemike esinemise sagedus on sarnane normaaljaotusele

Allikas: autori koostatud.

Peale müükide ja müügiprognooside koostamist, algab simulatsioon perioodist üks ehk esimesest esmaspäevast. Simulatsioon jäljendab Saku Õlletehase AS-i protsessidest tulenevat töönädalat. Igal esmaspäeval uuendatakse ettevõttes müügiprognoose ning samuti toimib ka simulatsioonimudel. Prognoose uuendatakse alates järgmise nädala väärtustest, käesoleva nädala müügiennustus jääb muutumatuks. Järgnev samm on keske tootmisplaani koostamine, mis allub vastavalt MRP või DDMRP loogikale ja kalkulatsioonile. Tootmisplaani koostamise regulaarsus on kooskõlas ettevõtte tegeliku planeerimistsükliga. MPS plaan uuendatakse nädalas korra igal teisipäeval. Simulatsioonimudeli üldine protsess on kujutatud joonisel 3.4.



Joonis 3.4. Simulatsiooni protsess toodetava toote korral

Allikas: autori koostatud.

Koos MPS uuendusega, toimub ka MRP plaani uuendus. See tähendab, et kui tootmisplaani on genereeritud, toimub materjalide planeerimine vastavalt kesksele tootmisplaanile. MRP plaan koostatakse vastavalt MRP põhivalemile või DDMRP korral vastavalt DDMRP kalkulatsiooni põhimõtetele. Plaani tegemisel on piiranguteks tootmissamm ning läbimisaeg. Sealjuures tellitavate toodete läbimisaeg on varieeruv ehk tooted võivad hilineda. Hilinemise tõenäosus on määratud normaaljaotusega, sisendparameetriteks on keskmine läbimisaeg ning keskmise tarneaja standardhälve.

Uurimustöö hõlmab ka sisseostetavaid tooteid, mida ettevõtte müüb, kuid tehases ei tooda. Simulatsiooni seadistus ja ülesehitus on sellistel toodetel väga sarnane, vaid kahe erinevusega. Nimelt tootmisplaani asemel on tegemist tellimisplaaniga ning sellest tulenevalt on plaani võimalik uuendamise sagedus tunduvalt tihedam ja võimalik nädalase intervalli asemel igapäevaselt. Teiseks

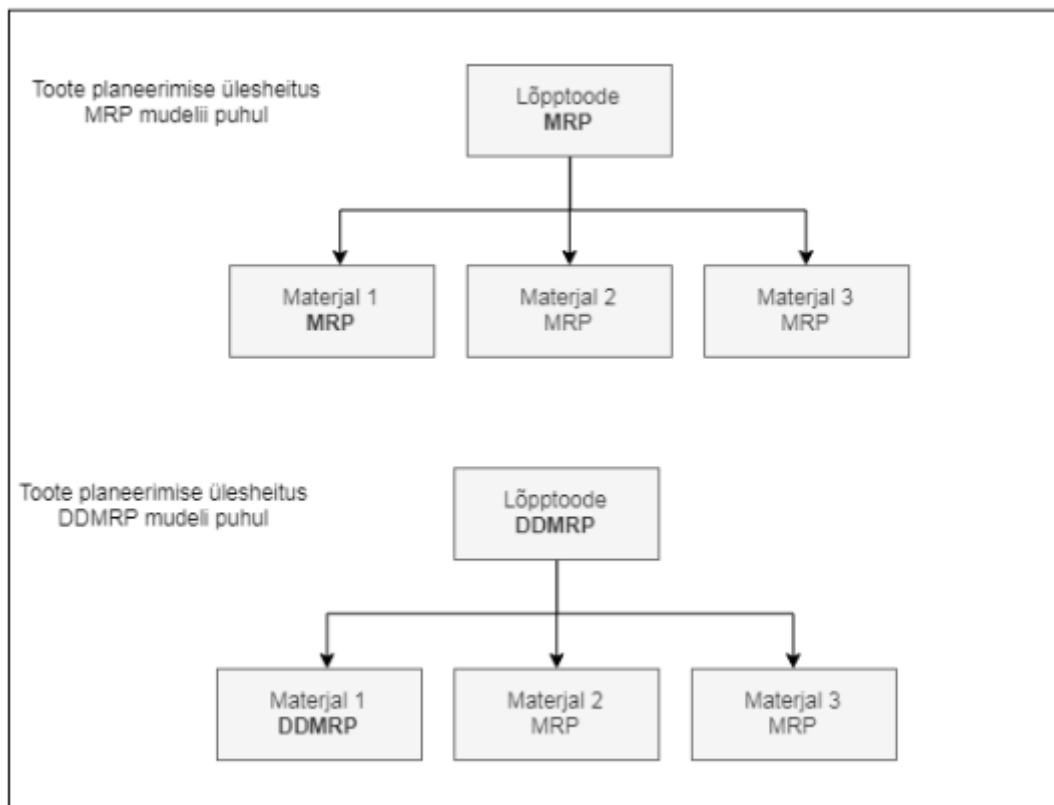
erinevuseks on tootestruktuur – tootel ei ole mitmetasandilist struktuuri ning poolkomponentide planeerimist ei toimu. Simulatsioon liigub järgmisesse perioodi siis, kui käesoleval päeval on kõik toimingud tehtud või sellel perioodil ei olegi tegevusi ette nähtud.

MRP süsteem planeerib tootmis- ja ostutellimused vastavalt müügiprognoosidele. Seetõttu põhineb simulatsioonimudel samuti ennustusel seni, kuni selguvad reaalsed müüginumbrid. DDMRP süsteem saab toimida ka ilma müügiprognoose kasutamata, kuid juhul, kui toote müügid on väga volatiivsed, on prognoose siiski optimaalne kasutada. On oluline märkida, et Saku Õlletehasele puudub kindlate klienditellimuste horisont ning sellest tulenevalt ei ole DDMRP simulatsioonimudeli puhul võimalik rakendada mehhanismi, mille eesmärgiks on soodustada süsteemi reageerimisvõimet ekstreemsetele nõudluse muutustele.

3.3.2 Simulatsioonis kasutatav toodetavate toodete struktuur

Simulatsioonimudelis kasutatakse toodetavate toodete puhul kahetasandilist struktuuri, kus lõpptoode koosneb kolmest materjalist. Kuigi reaalsed tooted võivad koosneda rohkematest komponentidest, on süsteemi tulemuslikkuse hindamiseks piisav kasutada lisaks lõpptootele kolme tähtsamat komponenti. Üheks komponendiks on kõigil toodetel villitav vedelik, millel on võrdlemisi kindel protsessiaeg ning mille varundamine ei ole võimalik lühikese säilivusaja ning kääritankide piiratuse tõttu. Villitav vedelik seab süsteemile kõigi toodete puhul minimaalse kumulatiivse läbimisaja piirangu. Ülejäänud kaks komponenti on spetsiifilised konkreetsele tootele ning valitud selliselt, millel on suurim mõju toote planeerimisele. Nimetatud komponendid on valitud koostöös ettevõtte materjalplaneerijatega ning eelistatud on pikima tarneajaga materjalid.

MRP mudeli puhul planeeritakse nii lõpptoote, kui materjalide tootmis- ja tellimiskorraldused MRP kalkulatsiooni loogikale. DDMRP mudeli puhul kalkuleeritakse lõpptoode DDMRP loogika kohaselt ning lisaks pikima tarneajaga materjal. Lõpptoode on seadistatud DDMRP loogikale vastavalt eesmärgiga, et ilmneksid võimalikud kasud süsteemi reageerimisest prognooside asemel reaalsele müükidele. Pikima läbimisajaga valitud toote puhul on DDMRP loogika sätestatud, et ilmneksid mõjud lõpptoote võimalikult suurest kumulatiivsest läbimisaja lühenemisest. Nii MRP, kui DDMRP mudeli tootestruktuurid on kirjeldatud joonisel 3.5.



Joonis 3.5 Toote ülesehitus MRP ja DDMRP simulatsioonimudelites

Allikas: koostatud autori poolt

3.3.3 Simulatsiooniga mõõdetavad tulemused

Uurimustöö eesmärgist tulenevalt on oluline, et süsteemi mõõdikud suudaksid väljendada nõudluse teenindamise taset, keskmist varude hulka ning iseloomustada plaanistabiilsust. Esimeseks mõõdikuks on teenindustase. On oluline, et madalam varude tase ei tuleneks nõrgema teenindustaseme tulemuse arvelt. Teenindustaset väljendab valem (13):

$$Teenindustase = \frac{\text{Õigeaegselt tarnitud kogus}}{\text{Tellitud kogus}} \cdot 100\% \quad (13)$$

Järgmine tähtis mõõdik on keskmine kaubavaru. Simulatsioon salvestab iga perioodi lõpuks olemasoleva kaubavaru ning lõpptulemust väljendab valem (14).

$$\text{Keskmine kaubavaru} = \frac{\sum_{i=1}^n i}{n} \quad (14)$$

kus

$i > 0$

n - perioodide arv

i- perioodi kaubavaru

Plaani stabiilsust hinnatakse kahe mõõdikuga:

- Juhtumite arv, kus materjalide defitsiidist tulenevalt osaliselt või täielikult lükkub edasi lõpptoote tootmine.
- Perioodide arv, kui lõpptoote laosaldo on lähima seitsme päeva jooksul langemas nulli. MRP süsteemi puhul arvestatakse tuleviku laovaru hindamisel prognoosidega, DDMRP süsteemi puhul kehtiva ADU väärtusega.

Esimene näitaja on kahe süsteemi puhul otseselt võrreldav. Iga juhtum, kus materjale pole piisavalt planeeritud tootmiskoguse tootmiseks tähendab vajadust tootmisplaani muutmiseks. Kui materjale pole piisavalt, lükkub tootmine osaliselt või täielikult ühe perioodi võrra tulevikku ning simulatsioon fikseerib olukorra toimumise.

Teise mõõdiku puhul ei ole tulemused erinevate süsteemide puhul täielikud ekvivalendid, kuid on väga sarnased. Erinevus on tingitud tuleviku kaubavaru hindamise loogika erinevusest. Olukorrad, kus puhvervaru on langenud äärmiselt madalale on tähtsaks põhjuseks, miks plaanimuudatusi viimasel hetkel ellu viiakse (Planeerimisjuht 2018) ning seetõttu analüüsi kaasatud. Saku Õlletehase AS-s on antud situatsiooni kohta kasutusel inglisekeelne termin *early warning*, lühendiga tähistatuna EW.

4 ANALÜÜS JA SÜNTEES

4.1 Simulatsioonitulemuste analüüs

4.1.1 Lühikese läbimisajaga sisseostetavad tooted

Esimeseks uuritud tootekategooriaks on ostetavad tooted, mida turustatakse, kuid ettevõtte ise ei tooda. Seetõttu puudub toodetel Saku Õlletehase AS-i kontekstis tootestruktuur ja komponendid. Ostetavatest toodetest kuulub valimisse kuus erinevat toodet, mis on grupeeritud vastavalt nõudluse varieeruvuse tasemele ning läbimisaja pikkusele.

Sisseostetavate toodete lõikes eristuvad ülejäänud toodetest lühikese läbimisaja poolest tooted, mida tellitakse kohalikult turult ning keskmine tarneaeg on lühike - 2 päeva. Antud tootegrupi maht kogu sisseostetavate toodete mahust, mida müüakse koduturul, oli 2018 aastal 48,7%. Sisseostetavad tooted omakorda moodustavad kokku mahuliselt ettevõtte koduturul müüdavatest toodetest ligikaudu 30% (Saku Õlletehase AS sisedokumentatsioon 2018).

Uurimustöös analüüsiti ühte toodet igast nõudlusemustrite kategooriast. Peamised simulatsiooni sisendparameetrid on esitatud tabelis 4.1. Nõudlusemustrite X kategooria puhul sarnaneb müükide jaotus normaaljaotusele ning seega kasutati ka simulatsioonil. Y ja Z gruppide puhul koostati toodetele spetsiaalne diskreetne nõudlusejaotus vastavalt toodete müükidele 2018 aastal.

Tabel 4.1. Simulatsiooni peamised sisendparameetrid lühikese läbimisajaga ostetavatele toodetele

Toode	Keskmine müük (nädal)	COV	Läbimisaeg	Nõudlusemuster	Tellimuste intervall	FA	Tellimissamm (DL)	Müükide jaotuse tüüp
TG10017	326	0,49	2 päeva	X	1 päev	79,8%	72	Normaaljaotus
TG10334	1329	0,89	2 päeva	Y	1 päev	61,1%	300	Diskreetne jaotus
TG10370	898	1,11	2 päeva	Z	1 päev	62,0%	72	Diskreetne jaotus

Allikas: autori koostatud

MRP süsteemi puhul on vaadeldavatele toodetele määratud ajaline puhvervaru 5 päeva, mis vastab Saku Õlletehase vastavatele väärtustele. DDMRP süsteemi puhul on puhvritsoonid kalkuleeritud vastavalt DDMRP puhvrite valemitele, kusjuures varieeruvuse faktor, mis mõjutab varude taset, on korrigeeritud vastavalt nõudluse varieeruvuse kategooriale. DDMRP seadistus keskmise päevase

vajaduse osas (ADU) on lühike ning arvestab viimase 5 päeva ning tulevase 5 päeva prognoosidega. Seda põhjusel, et oludes, kus läbimisaeg on lühike, oleks ka DDMRP puhvrite suurused dünaamilised ja müükidele kiiresti reageerivad.

Simulatsiooni tulemustest selgus, et madala nõudluse varieeruvuse oludes ehk kategooria X korral saavutas MRP süsteem 18% madalama varude taseme sarnase teenindustaseme juures. Y kategooria korral oli keskmine varude tase madalam aga DDMRP süsteemi puhul 7%. On tõenäoline, et Y kategooria puhul MRP süsteemi kõrgemad varud on seotud ka antud toote madalama prognoositäpsusega. Z kategooria puhul saavutas DDMRP süsteem ligikaudu 30% madalama keskmise kaubavaru. Simulatsioonide tulemused on summeeritud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. Simulatsioonide tulemused lühikese läbimisajaga sisseostetavate toodete puhul

SKU	Nõudlus-muster	Varude täiendamise süsteem	Keskmine teenindustase	Keskmine varude tase
TG10017	X	MRP	99,89%	392
TG10017	X	DDMRP	99,36%	462
TG10334	Y	MRP	98,89%	1412
TG10334	Y	DDMRP	99,27%	1320
TG10370	Z	MRP	98,40%	873
TG10370	Z	DDMRP	98,61%	610

Allikas: autori koostatud

Seadistades DDMRP süsteemi parameetreid, ilmnes, et tulemustele on väga oluline mõju ADU määratlusel. Kõrgema volatiivsusega nõudluse korral ei suutnud võrdlemisi pikale mineviku ajaloole põhinev ADU seadistus saavutada MRP süsteemiga võrdväärset teenindustaset. Ilmestamiseks parameetri mõju, kordas autor toote TG10370 puhul simulatsiooni, omistades ADU-le erinevaid väärtuseid. Autor kasutab edaspidi ADU seadistuse kirjeldamiseks kirjapilti, kus nurksulgudes esimene number näitab mitu päeva on ADU kalkulatsioonil kasutusel ajaloolisi müüke ning teine number kui mitu päeva prognoose. Simulatsioone korrati järgmistes seadistustes:

- viimase 28 päeva keskmisena ADU [-28;0],
- viimase 3 päeva keskmisena ADU [-3;0],
- viimase 2 päeva ja 2 tuleva päeva prognooside keskmistena ADU [-2;+2].

Tulemustest selgus, et arvestades ADU määratlusena viimase 28 päeva ajaloolisi müüke, oli teenindustaseme tulemus vaid 93%. Samuti näitas madalat teenindustaset viimase kolme päeva müüke arvestav ADU. Ilmneb, et DDMRP saavutab parimaid tulemusi olukorras, kus kasutusel on

nii ajaloolised müügid, kui prognoos ning kasutatav periood on piisavalt pikk kirjeldamiseks nõudluse volatiivsust, kuid samas piisavalt lühike, et säilib reageerimisvõime nõudluse kõikumisele. Liiga pikale ajaloole toetuva ADU seadistuse korral on süsteem nõudluse muutustega aeglaselt kohanev ning liialt lühikese määratluse korral ülereageeriv. Z kategooria tulemused erinevate ADU väärtuste korral on esitatud tabelis 4.3.

Tabel 4.3. Simulatsioonide tulemused Z kategoorias erinevate ADU väärtuste korral

Keskmise päevase tarbimise määratlus	ADU [-28]	ADU [-3]	ADU [-2;+2]	ADU [-5;+5]
Teenindustase	93,2%	95,6%	98,62%	98,6%
Tellimiste arv	52	36	44	52
Keskmine varude tase	626	824	845	610

Allikas: autori koostatud

4.1.2 Pika läbimisajaga sisseostetavad tooted

Pika läbimisajaga sisseostetavad toodete kategooria moodustub lähiriikidest ostetavatest toodetest, mis moodustavad ligikaudu 14% koduturul müüdavatest toodetest. Sarnaselt lühikese läbimisajaga ostetavatele toodetele, analüüsiti ka pika läbimisajaga toodetest ühte toodet igast nõudlusemustriga kategooriast. Kategooria X nõudlusemuster vastab normaaljaotusele ning kategooriatele Y ning Z koostati nõudlusjaotus vastavalt 2018 aasta müükidele. Peamised simulatsiooni sisendparameetrid on esitatud tabelis 4.4.

Tabel 3.4 Simulatsiooni peamised sisendparameetrid pika läbimisajaga ostetavatele toodetele

SKU	Keskmine müük (nädal)	COV	Läbimisaeg	Nõudlusmuster	FA	Tellimuste intervall	Tellimis-samm (DL)	Müükide jaotuse tüüp
14739	407	0,30	14	X	66,0%	1 päev	2090	Normaaljaotus
TG10012	874	0,57	14	Y	66,9%	1 päev	1400	Diskreetne jaotus
15888	96	1,02	9	Z	64,1%	1 päev	144	Diskreetne jaotus

Allikas: autori koostatud

Simulatsioonis kasutatud ohutusvaru tüüp ja suurus vastab MRP süsteemi puhul Saku Õlletehase vastavatele väärtustele, mis on kirjeldatud tabelis 4.5. DDMRP puhul on puhvervaru taset mõjutavad parameetrid määratletud selliselt, et saavutatud oleks MRP süsteemiga sarnane teenindustaseme tulemus. Sealjuures varieeruvusfaktor on suurenev vastavalt nõudluse volatiivsuse kasvule ja sarnane tavapärastele DDMRP puhvriprofiilidele. DDMRP ohutusvaru parameetrid on kirjeldatud tabelis 4.6.

Tabel 4.5. Ohutusvaru parameetrid MRP mudelis

Tootekood	Kategooria	Ohutusvaru tüüp	Väärtus
14739	X	Dünaamiline	9 päeva
TG10012	Y	Dünaamiline	11 päeva
15888	Z	Dünaamiline	13 päeva

Allikas: autori koostatud

Tabel 4.6. DDMRP ohutusvaru suurust mõjutavad parameetrid.

Tootekood	Kategooria	Ohutusvaru tüüp	Väärtus
14739	X	Varieeruvusfaktor	0,25
14739	X	Tarneaja faktor	0,5
TG10012	Y	Varieeruvusfaktor	0,4
TG10012	Y	Tarneaja faktor	0,5
15888	Z	Varieeruvusfaktor	0,5
15888	Z	Tarneaja faktor	0,5

Allikas: autori koostatud

Tulemustest selgub, et kategoorias X oli MRP süsteemi keskmine varude tase madalam 21%, kategoorias Y 7% ning Z kategoorias 5%. Pikema läbimisajaga sisseostetavate toodete puhul saavutab Saku Õlletehase kontekstis paremaid keskmiseid varude tasemeid sarnase teenindustaseme juures dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteem. Simulatsioonide keskmised tulemused on esitatud tabelis 4.7.

Tabel 4.7. Simulatsioonide tulemused pika läbimisajaga sisseostetavate toodete puhul

SKU	Nõudlus-muster	Varude täiendamise süsteem	Keskmine teenindustase	Keskmine varude tase (DL)
14739	X	MRP	98,65%	2270
14739	X	DDMRP	98,99%	2882
TG10012	Y	MRP	98,41%	2273
TG10012	Y	DDMRP	98,78%	2422
15888	Z	MRP	98,42%	266
15888	Z	DDMRP	98,65%	279

Allikas: autori koostatud

Kokkuvõtteks võib väita, et struktuurita toodete hulgas on DDMRP mõju varude tasemele tugevam, kui toote läbimisaeg on lühike, nõudluse volatiivsus kõrgem ning prognoositäpsus madalam. Samuti on DDMRP tulemuslikkusele suur mõju parameetri ADU seadistusel.

4.1.3 Saku Õlletehases toodetavad tooted

Toodetavate toodete kategooriast oli vaatluse all neli toodet. Saku Õlletehases toodetavad tooted moodustavad koduturul müüdava toodangu mahust ligikaudu 70%. Tooted kuuluvad X ning Z nõudlusemustrite gruppidesse ning erinevad kumulatiivse läbimisaja poolest. Analüüsitud toodete peamised sisendparameetrid on kajastatud tabelis 4.8.

Tabel 4.8. Analüüsitud toodetavate toodete peamised sisendparameetrid

SKU	Keskmine müük (nädal)	COV	CLT (päeva)	XYZ	FA (%)	Tootmis-korralduste uuendamise intervall	Tootmis-samm (DL)	Müükide jaotuse tüüp
14026	1886	0,41	17	X	79,8%	7 päeva	2400	Normaaljaotus
12227	2036	0,79	28	X	67,3%	7 päeva	1400	Diskreetne jaotus
13550	669	1,04	17	Z	67,1%	7 päeva	2900	Diskreetne jaotus
14830	2826	1,01	20	Z	64,9%	7 päeva	2900	Diskreetne jaotus

Allikas: autori koostatud

MRP mudeli puhul on ohutusvaruna lõpptootel kasutatud dünaamilist koguselist ohutusvaru, mis on väljendatud päevades ning põhineb müügiprognosidel. Materjalide puhul on kasutatud ajalist ohutusvaru. Täpsed ohutusvaru parameetrid on kirjeldatud lisa 2. MRP mudel arvestab lõpptoote kumulatiivseks läbimisajaks pikima tarneajaga materjali läbimisaja. DDMRP arvestab lõpptoote kumulatiivseks läbimisajaks maksimaalse läbimisaja esimese eralduspunktini või pikima materjali läbimisaja, kui see ületab kumulatiivset läbimisaega esimese eralduspunktini. Sealjuures DDMRP loogikale vastav materjal valitakse nii, et see võimaldaks maksimaalselt kumulatiivse läbimisaja lühendamist ehk puhver luuakse pikima tarneajaga materjalile. Taoline kumulatiivse läbimisaja lühendamine eralduspunkti abil on üks DDMRP mehhanismidest, mis teoorias võimaldab süsteemi madalamaid varusid langetades lõpptoote varude taset. Kumulatiivsete läbimisaegade kirjeldus on kujutatud tabelis 4.9.

Tabel 4.9. Mudelite kumulatiivse läbimisaja kujunemine vastavalt materjalide tarneaegadele

SKU	Materjalide läbimisaeg (päeva)			Mudeli kumulatiivne läbimisaeg	
	Materjal 1	Materjal 2	Materjal 3	MRP	DDMRP
14026	17	14	13	17	14
12227	28	14	14	28	14
13550	17	13	10	17	13
14830	20	13	8	20	13

Allikas: autori koostatud.

Tulemustest selgus, et X nõudlusemudri korral saavutas DDMRP mudel võrreldes MRP süsteemiga mõnevõrra parema lõpptoote varude taseme juhul, kui eralduspunkt võimaldas kumulatiivse tarneaja märkimisväärset lühendamist ning prognoositäpsus oli madalam. Toote 12227 puhul oli kumulatiivse tarneaja lühendamine tänu eralduspunktile ja ühe konkreetse materjali pikale tarneajale võimalik 50% võrra kogu läbimisajast ning DDMRP mudel saavutas antud juhul lõpptoote puhul 6,25% madalama keskmise varude taseme. Toote 14026 puhul, mis kuulub samasse nõudluse varieeruvuse gruppi, kuid kumulatiivse tarneaja vähendamine eralduspunkti abil väiksem, oli lõpptoote varude taseme poolest tulemuslikum MRP süsteem, saavutades lõpptootel parema varude taseme 28%. Tulemusi mõjutas samuti toote 14026 kõrge prognoositäpsus ja mõnevõrra madalam variatsioonikordaja. Nõudlusemudri X kategooria toodete simulatsioonide tulemused on kirjeldatud tabelis 4.10.

Tabel 4.10. X nõudlusemudri kategooria toodete simulatsioonide keskmine varude tase

SKU	Mudel	Varude tase (DL)				SSL	CLT
		Lõpptoode	Materjal 1	Materjal 2	Materjal 3		
14026	MRP	3 195	13 561	1 486	11 942	99,9%	Lühike
	DDMRP	4 469	77 669	407	6 808	99,9%	
12227	MRP	3 071	83 836	31 224	2 018	98,6%	Pikk
	DDMRP	2 879	195 199	16 460	1 323	98,8%	

Allikas: autori koostatud

Z kategooria puhul olid tulemused sarnased X kategooriaga. DDMRP süsteemi puhul oli lõpptoote keskmine varude tase võrreldes MRP süsteemiga minimaalselt, 3,2% madalam 14830 toote puhul, kus kumulatiivse tarneaja lühenemine oli võrdlemisi suurem - 35%. Toote puhul, kus kumulatiivse tarneaja vähenemine oli väiksem ning prognoositäpsus kõrgem, oli keskmine varude tase parem MRP süsteemi puhul 23%. Nõudlusemudri Z simulatsioonide tulemused on esitatud tabelis 4.11.

Tabel 4.11. Z nõudlusemustriga toodete simulatsioonide varude tase

SKU	Mudel	Varude tase (DL)				SSL	CLT
		Lõpptoode	Materjal 1	Materjal 2	Materjal 3		
13550	MRP	3 012	16 532	23 534	813	97,2 %	Lühike
	DDMRP	3 912	66 322	18 238	377	97,3%	
14830	MRP	12 153	22 809	94 724	2 083	97,0%	Pikk
	DDMRP	11 762	86 795	62 549	758	97,2%	

Allikas: autori koostatud

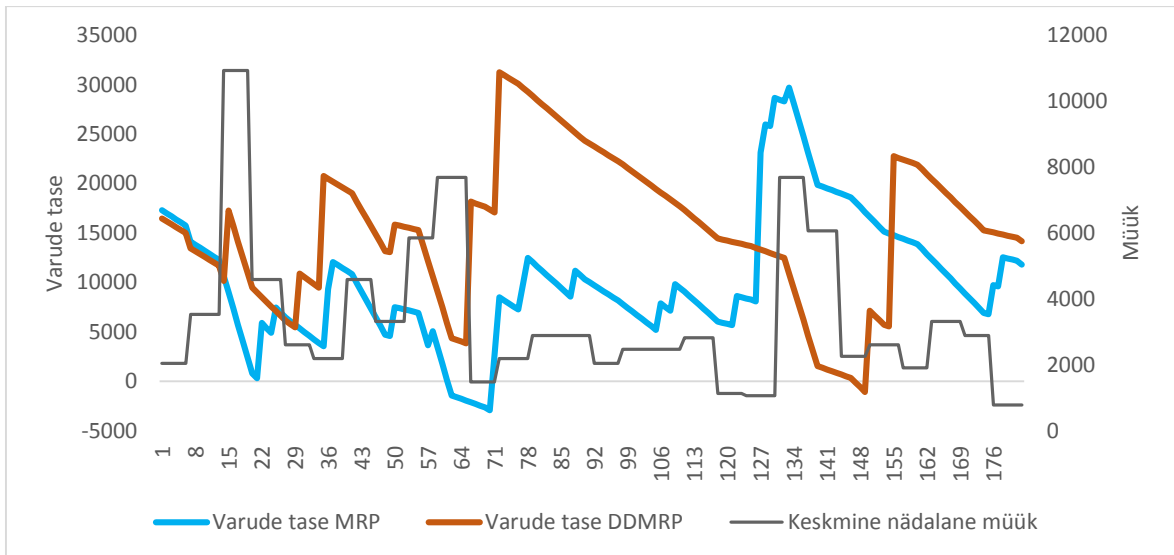
Tulemustest selgub ka, et materjalide varude tasemetes olid erinevused. Materjal 1, mis oli alati DDMRP mudeli puhul puhverdatud DDMRP loogikal, näitas kõigi toodete lõikes DDMRP mudelite puhul tunduvalt kõrgemat varude taset, kui vastav materjal MRP mudeli korral. Kõrgemad materjalivarud puhverdatud toote puhul on DDMRP süsteemis loogilised. Komponenti kõrgema varu taseme eesmärk on võimaldada DDMRP mudeli puhul madalamaid lõpptoote varusid, kuid antud juhul ei olnud lõpptoote varude vähenemise efekt piisav, et õigustada kordades kõrgemaid materjalivarusid. Materjal 2 ning materjal 3 on planeeritud vastavalt MRP kalkulatsioonile nii DDMRP, kui MRP süsteemis ning mõlema mudeli puhul on määratud identsed ohutusvaru parameetrid. Kuigi DDMRP süsteemi puhul on nimetatud komponentide varude tase madalam, ei ole väärtused antud juhul võrreldavad, sest madalam varude tase tuleneb DDMRP süsteemi eripärast, mis käesoleva uurimustöö seadistuse juures ei võimalda MRP kalkulatsiooni kohaselt planeeritavate komponentide korral kasutada ajalisi ohutusvaru. Käesoleval juhul põhjustab materjali 2 ning materjali 3 madalam varude tase DDMRP süsteemis sunnitud plaanimuudatusi. Juhul, kui MRP süsteemi puhul komponentide ajaline ohutusvaru elimineerida, saavutaks süsteem DDMRPga sarnaseid tulemusi. Autor kirjeldab nähtuse seost plaanimuudatustega detailsemalt peatükis 4.1.4.

Hindamiseks MRP ja DDMRP mudelite varude taseme tulemuste kujunemise dünaamikat lähemalt ning analüüsivõime ADU, kui DDMRP puhvriprofiilide kujunemise tähtsaima komponendi mõju, vaatles autor toote 14830 puhul lõpptoote varude täiendamist simulatsiooni 182 perioodi jooksul detailsemalt. Selleks simuleeriti varem kirjeldatud tingimustel MRP mudel 182 perioodi jooksul ning võrdluseks kaks DDMRP mudelit, kus esimese puhul kasutatakse ADU arvutamisel viimase 40 päeva keskmisi müüke ning 7 päeva prognoosi ja teisel puhul viimase 14 päeva müüke ning 7 päeva prognoosi. Kõigil juhtudel oli nõudlus identne ning mõlema DDMRP mudeli tulemusi võrreldati MRP mudeli omadega. Lühikese ADU seadistusega DDMRP mudeli tulemused on visualiseeritud joonisel

4.1 ning pikema ADU seadistusega joonisel 4.2. Mõlemale joonisele on lisatud keskmine nädalane müüginumber ning illustreerimaks nõudluse perioodilisi hüppeid, on müükide jaoks kasutusel lisa horisontaaltelg joonise paremal poolel.

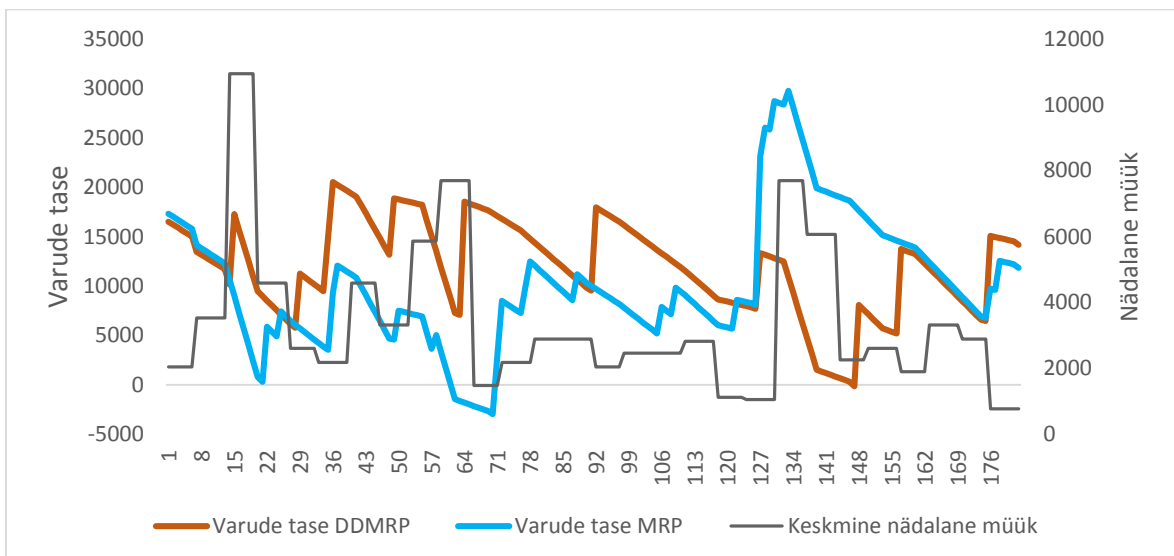
Võrreldes kahe erineva ADU seadistusega DDMRP mudeleid selgub, et juhul, kui ADU kalkulatsioon põhineb pikemal müükide ajalool, on varude tase stabiilsem ning kui ADU kalkulatsiooni periood on lühike, on süsteem tunduvalt reageerivam, mis aga võib viia ebaefektiivsete varude tasemeteni. Kui müügid on volatiivsed ning teevad perioodiliselt väga kõrge tõusu, eeldab DDMRP lühikese ADU kalkulatsiooni korral, et ka tulevikus on kõrged müügid jätkumas ning varude taset tõstetakse järsult. Kui aga müükide suurenemine on vaid hetkeline, mis on Saku Õlletehase kontekstis tavapärane, on tagajärjeks tunduvalt kõrgem varude tase, kui oleks tarvilik. Kirjeldatud situatsioonid on kuvatud joonisel 4.1, täpsemalt ajateljel alates perioodil 50 kuni 113 ning perioodil 127 kuni 169.

Kui ADU kalkulatsioon põhineb pikemale ajaloole ning prognooside osakaal kalkulatsioonil on väiksem, on süsteem aeglasemalt reageerivam müükide muutustele ning varude tase stabiilsem võrreldes nii ADU lühema seadistusega DDMRP mudeli kui ka MRP-ga. Jooniselt 4.2 on näha, kuidas DDMRP süsteem hoiab antud seadistusega võrreldes MRP süsteemiga üldiselt stabiilsemat kaubavaru ning sealjuures on tootmiste arv tunduvalt madalam. Vaadeldava simulatsiooni korral tekib DDMRP süsteemil varude taseme hoidmisega ainuke suurem probleem perioodil 134 kuni 148, kus DDMRP on pikalt stabiilselt madalal olnud müükidega jõudnud kohaneda ning seejärel toimub suur nõudluse kasv. Antud tulemustest võib järeldada, et kui DDMRP süsteem suudab hoida stabiilsemat keskmist kaubavaru võrreldes MRP süsteemiga ning kui DDMRP süsteemil oleks võimalik arvestada ka tulevikus aset leidvate tõenäoliste nõudluse hüpetega, suudaks DDMRP saavutada paremaid tulemusi, kui käesoleva uurimustöö varasemates simulatsioonitulemustes kajastatud.



Joonis 4.1. MRP ja DDMRP varude täiendamise võrdlus simulatsiooni lõikes. DDMRP ADU [-14;7]

Allikas: autori koostatud

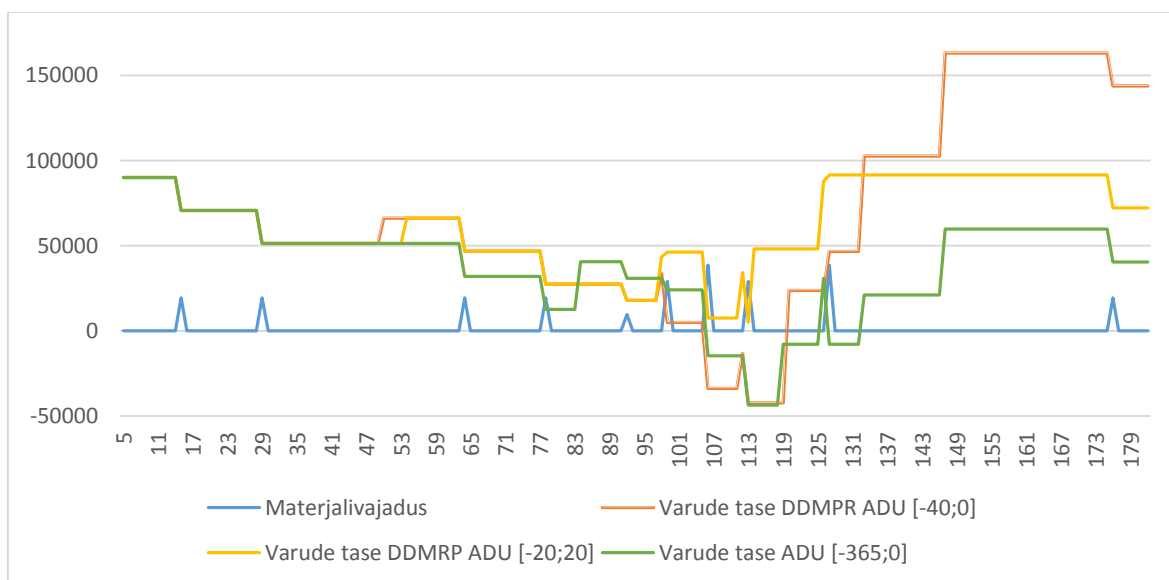


Joonis 4.2. MRP ja DDMRP varude täiendamise võrdlus simulatsiooni lõikes. DDMRP ADU [-40;7]

Allikas: autori koostatud

ADU määratlemise loogika olulisus DDMRP süsteemi puhul ilmestab ka komponendi planeerimisel, mille sisendiks on klienditellimuste asemel sõltuv nõudlus lõpptootest. Sageli on sõltuv nõudlus olemuselt katkendlikuma iseloomuga, kui sõltumatu nõudlus. Katkendliku nõudluse puhul esineb sagedaselt perioode, kus nõudlus on 0 (Costantino, et al., 2017). DDMRP simulatsiooni materjalide planeerimise seadistamisel ilmnes, et tulemus sõltub olulisel määral ADU määratlusest. Joonisel 4.3 on kirjeldatud, kuidas DDMRP süsteem erinevate ADU seadistuste korral toimub vahelduva nõudluse tingimustes, kusjuures nõudlus on jaotunud perioodide vahel võrdlemisi ebaühtlaselt.

Perioodi 99-127 keskmine materjalivajadus ületab terve simulatsiooni keskmist materjalivajadust 3,5 kordselt. Tulemustest selgub, et ainult mineviku vajadusi kasutades ehk ADU [-40;0] ning ADU [-365;0] korral ei suuda süsteem piisavalt kiiresti reageerida nõudluse suhtelisele kiirele kasvule ning perioodidel 107-129 on märgata materjali defitsiiti. Kuigi lühema ADU määratlusega süsteem reageerib kiiremini ning materjali puudujääk vaadeldavas näites on väiksem, ei ole see siiski piisav tagamaks piisavat materjalivaru stabiilse tootmisplaani tagamiseks. Samuti võib väita, et lühikese mineviku ADU määratluse korral süsteem reageerib varude tasemega tagantjärgi liigselt üle, sest eeldab tulevikus kõrge nõudluse jätkumist. ADU määratlus, mis kasutab nii mineviku tarvet, kui tulevasi tõenäolisi tarbeid ehk ADU [-20; 20], suutis tagada piisava materjalivaru simulatsiooni vältel ning hoida varusid stabiilsemal tasemel, kui ülejäänud seadistused.



Joonis 4.3. DDMRP süsteemi varude täiendamise toimimine vahelduva sõltuva nõudluse tingimustes

Allikas: autori koostatud

4.1.4 Plaani stabiilsus

Plaani stabiilsuse seisukohast kaardistas simulatsioon kahte tüüpi näitajaid toodetavate toodete puhul, milleks olid tootmiste edasilükkumine materjalide puudumise tõttu ning Saku Õlletehase spetsiifiline mõõdik ehk perioodide arv, kui laosaldo on lähima nädala jooksul langemas nulli. Viimase olukorra tähistuseks kasutab autor Saku Õlletehases kasutusel olevat tähekombinatsiooni EW (ingl *early warning*). Nimetatud näitajad on täpsemalt kirjeldatud alapeatükis 3.3.3.

Tulemustest selgus, et DDMRP mudelite puhul on EW juhtumite arv madalam, kui MRP süsteemi puhul kõigi toodetavate toodete puhul. See viitab asjaolule, et DDMRP on hoidnud varude taset piisaval tasemel ning vajadus viimase hetke plaanimuudatuste järgi on madalam. Antud tulemus on kooskõlas ka varude taseme analüüsil ilmnenu asjaoluga, et DDMRP mudel suutis hoida varude taset stabiilsemana, kui MRP süsteem. EW situatsioonide tulemused toodetavate toodete lõikes on esitatud tabelis 4.12.

Tabel 4.12. EW keskmine situatsioonide ühe simulatsiooni kohta toodete lõikes

EW situatsioonide arv				
Mudel/SKU	14026	12227	13550	14830
MRP	1,1	8,3	13,3	7,0
DDMRP	0,5	6,7	6,9	6,1

Allikas: autori koostatud

Vaadeldes aga teist plaani stabiilsust iseloomustavat näitajat ehk tootmiste edasilükkumiste arvu materjalide defitsiidist tulenevat, ilmes, et DDMRP mudeli puhul oli juhtumeid rohkem, kui MRP süsteemi puhul. Materjalide puudusest tingitud plaanimuudatuste kordade arv on esitatud tabelis 4.13.

Tabel 4.13. Tootmiste edasilükkumised materjalide defitsiidist

Tootmiste edasilükkumised materjalide defitsiidist				
Mudel/SKU	14026	12227	13550	14830
MRP	0,5	0,8	0,1	0,9
DDMRP	2,3	5,4	0,5	6,8

Allikas: autori koostatud

Uurides erinevuste põhjuseid selgus, et DDMRP simulatsioonimudeli puhul ei tulenenud suurem osa tootmiste edasilükkumistest mitte DDMRP loogikal põhineva materjali defitsiidist, vaid ülejäänud kahest materjalist tulenevalt, mida planeeritakse MRP loogikal. Nimetatud probleem tekib asjaolust, et kui DDMRP süsteemi puhul on kõige pikema tarneaajaga materjal puhverdatud ning lõpptoote planeerimisel on kasutusel järgmise pikima tarneaajaga materjali tarneaeg, siis muutub süsteem mõjutatuks just selle viimase materjali võimalikest hilinemistest. Sealjuures ei ole antud juhul võimalik kasutada materjalil ajalist ohutusvaru nagu tavalise MRP süsteemi puhul, sest DDMRP süsteem ei planeeri lõpptoote tootmiskorraldusi kumulatiivsest läbimisajast kaugemale. Probleemi lahendamiseks tuleks materjali läbimisaja varieeruvusega arvestada mitte materjali enda ajalise ohutusvaru kaudu, vaid lisades lõpptoote kumulatiivsele läbimisajale materjali

varieeruvusest tulenev ajaline ohutusvaru. Ajaline ohutusvaru on sobilik arvutada valemiga (15), mis kasutab kalkulatsioonis tarneaja standardhälbe ja soovitud teenindusfaktoriga (Hopp, et al., 2001):

$$SLT = k \cdot \sigma_{LT} \quad (15)$$

kus

SLT - ajaline ohutusvaru (*ingl* safety lead time)

k - teenindusfaktor

σ_{LT} - tarneaja standardhälve

Tuleb arvestada, et määrates lõpptoote planeerimisele komponendi ajaline ohutusvaru, väheneb sunnitud tootmisplaani muudatuste arv, kuid suureneb varude tase nii lõpptootel, kui komponendil.

4.2 Mudeli valideerimine ja eksperthinnang

Hindamaks simulatsioonimudeli vastavust Saku Õlletehase planeerimisprotseduuri ja kalkulatsiooniloogika korrektsust, konsulteeris autor Saku Õlletehase planeerimisjuhiga, kelle vastutusalase kuuluvad Läti ja Eesti tehased. Planeerimisjuht märkis, et simulatsioonimudel imiteerib arvestataval määral ettevõtte küpsusfaasis toodete varude planeerimise protsessi nii prognooside koostamise, kui varude täiendamise näol. Ekspert lisas, et simulatsioon koostab varude täiendamise korraldusi sarnaselt ettevõttes kasutusel oleva MRP süsteemiga. Välja toodi asjaolu, et reaalelus teevad tellimisotsuseid planeerijad vastavalt süsteemi soovitudele ning simulatsioonitulemustest puudub inimfaktor. See on peamine põhjus, miks tulemused ei ole otseselt võrreldavad ettevõtte reaalse tulemustega, vaid simulatsioonimudeleid tuleks võrrelda omavahel. (Planeerimisjuht 2019)

Simulatsioonitulemuste hindamiseks konsulteeris autor Carlsberg Grupi ülemaailmse tarneahela akadeemia direktoriga. Ekspert märkis, et konkreetse simulatsiooni näol on tegemist võrdlemisi ettevõtte spetsiifilise mudeliga. Ekspert leidis, et ei ole välistatud, et teatud oludes ei pruugi DDMRP saavutada võrreldes MRP süsteemiga madalamaid keskmisi kaubavarusid, kuid väga sageli keeruliste tootestruktuuride korral on DDMRP näidanud paremat tulemuslikkust. Tõenäolise peamise põhjusena, miks DDMRP süsteemi efekt lõpptoote keskmise kaubavaru vähendamise näol oli piiratud, toodigi välja just asjaolu, et tootestruktuur on võrdlemisi lihtne. Keerulisemate tootestruktuuride korral ilmestuvad prognoosidel põhinevas keskkonnas MRP probleemid seoses

varude ebaefektiivsete tasemetega tugevamini ning DDMRP lähenemise kasulikkus realiseerub suuremal määral. Samuti on DDMRP kasulikkus suurem, kui lisaks tootestruktuuri keerukusele on ahelas rohkem eralduspunkte, mis võimaldavad suuremat kumulatiivse tarneaja lühendamist ning varieeruvuse vähendamist. Lisanduva võimaliku tulemusi mõjutava asjaoluna toodi välja, et DDMRP mudel antud simulatsioonis ei kasuta nõudluse teravikele reageerimise mehhanismi, mis tuleneb kindlate tuleviku klienditellimuste puudumisest. Asjaolu, et DDMRP puhul on varude tase stabiilsem ja kõikumist on vähem, kui MRP puhul, pidas ekspert tavapäraseks. (Carlsbergi tarneahela akadeemia direktor 2019)

4.3 DDMRP rakendatavus Saku Õlletehases

Vaatluse all olnud kuuest tootekategooriast sisseostetavate toodete lõikes saavutas DDMRP süsteem võrreldes MRP-ga Saku Õlletehase keskkonna järgi disainitud simulatsioonimudeli puhul paremaid varude tasemeid sarnase teenindustaseme juures X ja Y nõudluse varieeruvuse kategoorias, kui tarneaeg on lühike ning nõudluse varieeruvus kõrge. Sealjuures Y grupi puhul oli vahe varude tasemes minimaalne. Ülejäänud neljas kategoorias saavutas paremad tulemused varude tasemest lähtudes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteem.

Toodetavate toodete kategooria puhul, mis on ettevõtte jaoks olulisema tähtsusega, demonstreeris DDMRP kontseptsiooni üldist toimimist ning võimekust alandada lõpptoote keskmist varude taset läbi reaalsel nõudlusel põhineva varude täiendamise ning strateegiliselt positsioneeritud kaubavaru abil kumulatiivse tarneaja vähendamise. Võrreldes MRP süsteemiga, saavutati minimaalselt madalam keskmine lõpptoote varude tase tingimustel, kus kumulatiivse tarneaja lühendamise efekt läbi materjali puhverdamise oli suurem ning prognoositäpsus oli madalam. Juhtudel, kus kumulatiivse tarneaja lühendamine komponendi strateegilise puhverdamise abil oli väiksem ning prognoositäpsus suurem, ei saavutanud DDMRP süsteem madalamat lõpptoote keskmist varude taset. Juhtudel, kui lõpptoote keskmine madalam kaubavaru saavutati, oli konkreetse ettevõtte ja antud simulatsiooni tingimustes lõpptoote keskmise varude taseme langus siiski marginaalne ning ei kaalunud üles tunduvalt kõrgemat komponendi materjalivaru.

Analüüsist selgus, et DDMRP süsteem võimaldas võrreldes MRP süsteemiga mõnevõrra stabiilsemat varude taset ehk varude taseme kõikumine oli madalama kõikumusega, mida ilmestas ka asjaolu, et ilmses vähem selliseid perioode, kus lähima seitsme päeva jooksul laovaru lõpptootel lõppemas oli. Taolised olukorrad on Saku Õlletehases sageli viimase hetke plaanimuudatuste

algatajaks. Käesoleva uurimustöö simulatsiooni seadistuse korral põhjustas aga DDMRP rohkem sunnitud plaanimuudatusi vajalike materjalide puudumisest tulenevalt.

Hinnates käesoleva uurimustöö tulemusi Saku Õlletehase kontekstis, ei pea autor DDMRP mõju piisavalt ulatuslikuks, et metoodikat ettevõttes antud kujul rakendada. Tootegrupp Z nõudlusemustriga ja lühikese läbimisajaga, mille puhul DDMRP saavutas varude tasemetes paremaid tulemusi, moodustab ettevõtte koduturul müüdavast toodangust veidi vähem, kui 1%.

Saku Õlletehasele ning sellest tulenevalt käesoleva uurimustöö raames loodud mudelile on võrdlemisi unikaalne asjaolu, et kindlate klienditellimuste horisont on äärmiselt lühike, mis elimineerib ühe DDMRP süsteemi mehhanismidest, mis on mõeldud tulevaste nõudluse hüpetele reageerimiseks kindlate tuleviku klienditellimuste alusel. Tulenevalt asjaolust, et DDMRP süsteem suutis käesoleva uurimustöö tulemustest lähtuvalt hoida varude taset stabiilsemal tasemel, kui MRP süsteem, kuid teatavaid probleeme põhjustasid nõudluse suured perioodilised hüpped, on autori hinnangul DDMRP süsteemil potentsiaali näitamaks paremaid tulemusi olukorras, kus kirjeldatud mehhanismi kasutada oleks võimalik. Saku Õlletehase kontekstis ei saa klientidelt eeldada tellimismustrite täielikku muutmist, kuid tasub uurida, kas kindlate tuleviku klienditellimuste alternatiivina oleks võimalik Saku Õlletehase seisukohast kasutada DDMRP süsteemis tuleviku nõudlusehüpete määratlemiseks keskmisest kõrgema tõenäosusega realiseeruvat prognoosi nagu näiteks suuremahulised kampaaniad, mis on piisava ajavaruga ette määratud. Sellisel juhul säiliks arvestaval määral DDMRP fookus reaalsele nõudlusele ning DDMRP süsteem võiks saavutada paremaid keskmisi varude tasemeid.

4.4 Järeldused

Uurimustöö tulemused tõestasid DDMRP kontseptsiooni üldist toimimist ning võimekust teatud tingimustel võrreldes prognoosidel põhineva MRP süsteemiga alandada lõpptoote keskmist varude taset läbi reaalsel nõudlusel põhineva varude täiendamise ning strateegiliselt positsioneeritud kaubavarude kasutades kumulatiivse tarneaja vähendamise läbi.

Uurimustöö tulemustest selgus, et DDMRP tulemuslikkust võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga keskmise varude taseme poolest mõjutavad nii keskkonnast tulenevad tegurid, kui süsteemi seadistust puudutavad parameetrid.

Peamised keskkonnast tulenevad mõjurid süsteemi efektiivsusele on tootestruktuuri keerukus, tootestruktuurist tulenev võimalik maksimaalne läbimisaja lühendamise võimalikkus, toote läbimisaeg ning nõudluse varieeruvus ning prognoositäpsus. Mida suurem on maksimaalne läbimisaja lühendamine DDMRP materjalipuhvri läbi, seda suurem on süsteemi efekt varude tasemele võrreldes MRP süsteemiga. Viimast väidet toetab DDMRP keskmise kaubavaru parem tulemus sisseostetava toote puhul Z nõudluskategoorias, kus toote läbimisaeg oli väga lühike ning prognoositäpsus madal. Eksperthinnang vääristas tulemusi hinnanguga, et tootestruktuuri keerukuse tõustes suureneb võimalike varude puhverdamise kombinatsioonide hulk ning seeläbi ka tõenäosus kumulatiivse tarneaja suuremale vähendamisele ning varieeruvuse vähendamisele, mis mõjub DDMRP süsteemi tulemuslikkusele positiivselt. Simulatsioonide tulemused näitasid, et DDMRP efekt avaldus tugevamini, kui prognoositäpsus oli madalam.

Tähtsaim DDMRP süsteemi seadistusest tulenev varude- ning teenindustaset mõjutav tegur on keskmise päevase tarbimise ehk ADU perioodi määratlus. Simulatsioonimudelitest selgus, et kasutades ADU seadistusel pideva nõudluse korral pikemat ajalugu, on varude tase stabiilsem, kuid vähem reageerivam nõudluse muutustele. Sellest tulenevalt on antud seadistuse korral aga süsteemil raskusi toimetulemaks kõrgete nõudluse hüpetega. Lühikese ADU määratluse korral on DDMRP süsteem reageerivam, kuid võib põhjustada üleliigseid varusid olukorras, kus nõudlus on lähiminevikus teinud kõrge tõusu, sest süsteem eeldab kõrgete müükide jätkumist ning varude tase korrigeeritakse vastavalt. Käesoleva uurimustöö raames saavutati parimad tulemused, kui ADU määratlus oli piisavalt pika ajalooaga, et kaasata arvutusse viimane kõrgem nõudluse hüpe ning arvestades väiksemas mahus tuleviku perioodide müügiprognoosidega. Sarnased tulemused avaldusid ka sõltumatu nõudluse ehk komponentide planeerimise korral, kus nõudlus on katkendlik. Pika ajalooaga arvestava ADU korral on katkendliku nõudluse korral süsteem võimetu reageerimaks kiirele nõudluse kasvule. Parimaid tulemusi näitas seadistus, mis arvestas ADU kalkulatsioonil nii mineviku tarvete, kui tuleviku prognoositavate tarvetega perioodil, mis oli piisav ette nägemaks nõudluse kasvu ning oli kooskõlas komponendi läbimisajaga. Tuleb arvestada, et mida suurem on ADU määratlusel prognoosi osakaal, seda rohkem on tulemused mõjutatud prognoositäpsusest.

DDMRP süsteem saavutas võrreldes MRP süsteemiga stabiilsema varude taseme, mida ilmestab asjaolu, et EW olukordi oli DDMRP süsteemi puhul vähem, kui MRP süsteemi puhul. Tulemus viitab DDMRP võimele suurendada plaani stabiilsust. Sunnitud lõpptoote plaanimuudatusi esines aga DDMRP süsteemi puhul rohkem, kui MRP puhul. Analüüsist selgus, et lühendades lõpptoote kumulatiivset läbimisaega DDMRP puhvripunkti loomise abil ning määrates lõpptootele

kumulatiivseks läbimisajaks pikima tarneajaga komponendi läbimisaja, mida planeeritakse MRP loogikal, põhjustab see lõpptoote võimalikke tootmisplaani muudatusi vastavalt nimetatud viimase komponendi läbimisaja varieeruvusest tulenevalt. Probleemi lahendamiseks pakub autor välja kasutada ajalist ohutusvaru lõpptoote kumulatiivse tarneaja määramisel, mille arvutamise aluseks on pikima läbimisajaga MRP loogikal planeeritava komponendi läbimisaja varieeruvus. Taoline lahendus suurendab DDMRP süsteemi puhul mõnevõrra nii komponendi, kui lõpptoote varude taset, kuid sunnitud plaanimuudatuste arv väheneb.

Simulatsioonitulemused näitasid, et Saku Õlletehase AS puhul ei olnud antud tingimustel DDMRP mõju varude taseme langusele piisav, et õigustada süsteemi kasutusele võttu võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga. Kümnest vaadeldud kategooriast saavutas DDMRP süsteem arvestatava erinevusega parema keskmise varude taseme ühes kategoorias – lühikese tarneajaga struktuurita sisseostetav toode, mille tarneaeg oli lühike ning nõudluse prognoositäpsus madal. Antud tootegrupp moodustab Saku Õlletehase koduturul müüdavast toodangust veidi vähem, kui 1%. Toodetavatest toodetest saavutas DDMRP marginaalselt parema lõpptoote keskmise kaubavaru kahe toote puhul juhul, kui kumulatiivse läbimisaja lühendamine oli suur ning nõudluse prognoositäpsus madalam, kuid efekti elimineeris tunduvalt kõrgem puhverdatud komponendi varude tase. Peamiseks põhjuseks, miks DDMRP mõju Saku Õlletehase kontekstis on piiratud, on tootestruktuuri madal keerukus. Samuti on tulemused mõjutatud asjaolust, et tootestruktuuris esineb villitava vedeliku näol puhverdamatu komponent, millele ei ole võimalik rakendada DDMRP loogikat lühikese säilivusaja ning kääritankide kapatsiteedipiirangust tulenevalt. Sellest tulenevalt on kumulatiivse läbimisaja DDMRP loogika alusel alati piiratud kuni nimetatud komponendi läbimisajani.

On tähtis märkida, et Saku Õlletehasele on võrdlemisi unikaalne asjaolu, et kindlate klienditellimuste horisont on äärmiselt lühike, mis elimineerib ühe DDMRP süsteemi mehhanismidest, mis on mõeldud tulevaste nõudluse hüpetele reageerimiseks kindlate tuleviku klienditellimuste alusel. Põhinedes uurimustöö tulemustele, et DDMRP süsteem suutis hoida varude taset stabiilsemal tasemel, kui MRP süsteem, kuid teatavaid probleeme põhjustasid nõudluse suured perioodilised hüpped, on autori hinnangul DDMRP süsteemil potentsiaali näitamaks paremaid varude tasemete tulemusi sarnasel teenindustasemel olukorras, kus kirjeldatud mehhanismi kasutada oleks võimalik. Kuivõrd klientide ulatuslik tellimismustrite muutmine ei ole reaalne, pakub autor välja edasiseks uurimiseks alternatiivse viisi, kus nimetatud mehhanismi rakendatakse kindlate klienditellimuste asemel keskmisest tunduvalt kõrgema

tõenäosusega prognooside alusel. Edasiseks uurimiseks püstitab autor seega järgmised teemapunktid:

- Kas eksisteerib selliseid suuremahulisi kokkuleppelisi kampaaniaid, kus etteteatamise aeg ületab toote kumulatiivset läbimisaega ning prognoosi realiseerumise tõenäosus on keskmisest tunduvalt kõrgem?
- Millisel viisil on ettevõttel võimalik süsteemselt määratleda prognoosi realiseerumise tõenäosus?
- Kas DDMRP suudaks antud lisanduva nõudlussignaali abil saavutada paremaid keskmiseid varude tasemeid sarnasel teenindustasemel?

KOKKUVÕTE

Varude juhtimine on valdkond, millel on suur mõju tarneahelate efektiivsusele, mõjutades olulisel määral teenindustaset ning kulubaasi. Varude planeerimisel on laialdaselt kasutusel 1960ndatel väljatöötatud ning ettevõtete ressursside planeerimisse integreeritud MRP süsteem. Kuigi MRP on olnud minevikus tulemuslik, on muutnud ettevõtluskeskkonna oludes süsteemi seostatud ebaefektiivsete varude tasemete, tarneplaani ebastabiilsusega ning piitsaplaksu efekti võimendajana. Alates 2011 aastast on esile kerkinud MRP edasiarendus DDMPR, mida peetakse vahendiks, mis suudab MRP-ga seotud probleeme leevendada, võimaldades optimaalsemaid varude tasemeid ning vähendada varude planeerimise ja täiendamise sõltuvust prognoosidest.

Uurimustöö adresseeris MRP-ga seotud probleeme ning seadis eesmärgiks välja selgitada, kas ning millistel tingimustel võimaldab DDMPR võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP-ga sama teenindustaseme juures madalamaid keskmisi kaubavarusid ja suuremat tarneplaani stabiilsust. Fookusettevõtteks oli Saku Õlletehase AS, mille opereerimiskeskonda iseloomustab volatiivne nõudlus, lühike klienditellimuste nähtavause horisont ning võrdlemisi lihtsad tootestruktuurid.

Uuritavate toodete valimisse kuulus 10 toodet, mille kategoriseerimiseks kasutati nõudluse varieeruvuse XYZ analüüsi ning läbimisaegade grupeerimist. Kümnest tootest kuus on struktuurita ostetavad ja turustatavad tooted ning neli on ettevõttes toodetavad ja struktuuriga tooted. Valimi koostamise eesmärgiks oli katta võimalikult suur osa tooteportfellist nimetatud tingimuste alusel.

MRP ja DDMPR võrdluseks kasutati simulatsiooni, kusjuures mõlema süsteemi jaoks koostati spetsiaalne mudel, mida võrreldi identsetel alustel genereeritud müükide ja prognooside tingimustel. MRP mudel imiteerib Saku Õlletehase tänast varude planeerimise loogikat ning DDMPR mudel kujutab võimalikku alternatiivset lahendust. Asjaolu, et Saku Õlletehasel on äärmiselt lühike kindlate klienditellimuste horisont, ei olnud võimalik kasutada DDMPR mudeli puhul mehhanismi, mis on mõeldud tulevaste nõudluse hüpetele reageerimiseks kindlate tuleviku klienditellimuste alusel. Uurimustöö järeldesteni jõuti läbi simulatsioonitulemuste analüüsi, mida vääristas eksperthinnang.

Tulemustest selgus, et DDMPR efektiivsust võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga keskmise varude taseme poolest mõjutavad nii keskkonnast tulenevad tegurid, kui süsteemi seadistust puudutavad parameetrid. Tähtsaimad keskkonnast tulenevad mõjurid DDMPR

efektiivsusele on tootestruktuuri keerukuse tase, maksimaalne läbimisaja lühendamise võimalikkus ning prognoosivea suurus. Nimetatud parameetrite väärtuste suurenedes kasvavad DDMRP eelised MRP süsteemi ees keskmisest varude tasemest lähtudes.

Olulisim DDMRP süsteemi seadistusest tulenev varude- ning teenindustaset mõjutav tegur on keskmise päevase tarbimise ehk ADU perioodi määratlus. Simulatsiooni tulemustest selgus, et ADU seadistus, mis põhineb pikemal ajalool tagab varude stabiilsema taseme, kuid probleeme valmistab kõrgete nõudluse hüpetega toimetulek. Lühikese ADU määratluse korral on süsteem reageerivam, kuid võib põhjustada sarnaselt MRP süsteemile üleliigseid varusid olukorras, kus nõudlus on teinud suure tõusu. Parimaid tulemusi näitas nii mineviku müüke, kui prognoose kasutav ADU määratlus, mille ajavahemike pikkus oli sobiv kirjeldamiseks nõudluse perioodilisi tõuse, kuid piisavalt lühike, et säilitada süsteemi reageerimisvõime nõudluse muutustele.

DDMRP tagas võrreldes MRP süsteemiga ühtlasema varude taseme, mida ilmestab madalam EW olukordade arv. Tulemus viitab DDMRP võimele suurendada plaani stabiilsust. Sunnitud lõpptoote plaanimuudatusi materjalide puudumisest tingituna esines aga DDMRP süsteemi puhul rohkem, mis tulenes DDMRP lõpptoote kumulatiivse läbimisaja määratlusest. Selgus, et lühendades lõpptoote kumulatiivset läbimisaega DDMRP puhvipunkti loomise abil ning määrates lõpptootele kumulatiivseks läbimisajaks pikima tarneajaga komponendi läbimisaja, mida planeeritakse MRP loogikal, põhjustab see lõpptoote puhul võimalikke tootmiste edasilükkumisi vastavalt nimetatud viimase komponendi läbimisaja varieeruvusest tulenevalt. Probleemi lahendamiseks pakub autor välja kasutada ajalist ohutusvaru lõpptoote kumulatiivse tarneaja määramisel, mille arvutamise aluseks on pikima läbimisajaga MRP loogikal planeeritava komponendi läbimisaja varieeruvus.

Lähtudes uurimustöö tulemustest, ei ole Saku Õlletehase puhul uuritud tingimustel DDMRP mõju varude taseme langusele ja plaani stabiilsusele piisav, et õigustada süsteemi kasutuselevõttu võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga. Kuuest vaadeldud ostetavate toodete kategooriatest saavutas DDMRP arvestatava parema keskmise varude taseme ühel juhul, milleks oli lühikese tarneajaga struktuurita sisseostetav toode Z nõudlusgrupist. Nimetatud tootegrupp moodustab ettevõtte koduturul müüdavast toodangust veidi vähem, kui 1%. Toodetavatest toodetest saavutas DDMRP küll marginaalselt parema lõpptoote varude taseme neljast kahel juhul, kui suhteline kumulatiivse läbimisaja lühendamine oli suur ning prognoositäpsus madalam, kuid saavutatud tulemus ei kaalu üles kordades suurenenud puhverdatud komponendi varu taset. Peamisteks põhjusteks, miks DDMRP mõju oli võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga piiratud, oli Saku Õlletehase puhul tootestruktuuride madal keerukus ning tootestruktuuris esineva

olulise komponendi puhverdamatust iseloomust seatav piirang maksimaalsele kumulatiivse läbimisaja lühendamisele DDMRP loogika alusel.

Antud uurimustöös ei olnud võimalik kasutada Saku Õlletehase eripärast tingituna DDMRP mudeli puhul mehhanismi, mille eesmärk on tulevaste nõudluse hüpetele reageerimine. Põhinedes tulemustele, et DDMRP suutis hoida varude taset ühtlasemal tasemel, kui MRP süsteem, kuid probleeme põhjustasid nõudluse perioodilised tõusud, on autori hinnangul DDMRP süsteemil potentsiaali näitamaks käesolevas uurimustöös kajastatud tulemustest paremaid varude tasemete näitajaid juhul, kui nimetatud mehhanismi oleks võimalik modifitseeritud kujul rakendada. Edasiseks uurimiseks pakub autor välja analüüsida, kas nimetatud mehhanismi rakendamiseks on võimalik tulevased klienditellimused asendada keskmisest kõrgema tõenäosusega realiseeruvate prognoosidega ning milline oleks sel juhul mõju varude tasemele.

Kokkuvõttena võib öelda, et uurimistöö täitis eesmärgi, kirjeldades tingimusi, mille puhul DDMRP süsteemil on potentsiaali tagamaks madalamat keskmist varude taset võrreldes dünaamilise ohutusvaruga MRP süsteemiga ning milline on mõju plaani stabiilsusele. Loodetud efekti fookusettevõtte puhul ei avaldunud tootestruktuuride madalast keerukusest tulenevalt ning asjaolust, et toodetes eksisteeris spetsiifiline materjal, mis oli puhverdamatu piiratud säilivusaja tõttu ning mis seeläbi seadis piirangu kumulatiivse tarneaja lühendamisele DDMRP loogika abil. Töö avab põhjalikult DDMRP toimimise mehhanisme ja printsiipe, uurimusest on kasu ettevõtetele, kelle varude planeerimine on üles ehitatud MRP süsteemile ning otsitakse võimalusi efektiivsemaks varude juhtimiseks läbi DDMRP süsteemi rakendamise.

SUMMARY

DEMAND-DRIVEN MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING IN SAKU

BREWERY LTD

Tanel Joala

Inventory management plays an important role in supply chain management as it has a great influence on the service level and cost effectiveness of the supply chain. MRP, a system developed in 1960s, is integrated into many modern ERP systems and is widely used as tool for planning and replenishing inventory. Although MRP system has been considered successful, in the conditions of changing business environment it has been associated with inefficient inventory levels, supply plan instability and as being an amplifier to the bullwhip effect. Since 2011 a new promising approach called DDMRP (demand-driven material requirements planning) has emerged which is considered as a solution to named problems with MRP. DDMRP is considered to provide more optimal inventory levels while reducing the importance of forecasts when planning and replenishing inventory.

The aim of the Masters' thesis was to address the problems associated with MRP and to find out if, to what extent and on what kind of conditions could DDMRP provide lower average inventory levels and more stable supply plan compared to MRP system with dynamic inventory buffers on equal service levels. The study was conducted based on Saku Brewery Ltd. The operating environment of the company is characterized by volatile demand, extremely short sales order visibility horizon and relatively simple product structures.

Based on XYZ analysis and grouping the products by cumulative lead time into two categories, a sample of 10 products were selected. Six products are purchased and distributed while remaining four are produced in the company. The goal of the sample group was to cover a large proportion of the portfolio based on the named conditions.

In order to compare the MRP and DDMRP systems two simulation models were created. The sales and forecasts for both models were generated on identical basis according to sales distribution of the particular SKU. MRP model represents the current process of inventory replenishment in Saku Brewery Ltd while DDMRP serves as a possible alternative solution. Due to the fact that sales order visibility horizon in Saku Brewery Ltd is extremely short, it was not possible to implement the

concept of qualified order spikes into the DDMRP model. Conclusions of the thesis were made by analyzing the simulation results and combining them with an expert evaluation.

The results showed, that the effectiveness of DDMRP compared to MRP with dynamic safety buffers is influenced by both characteristics of the environment and configuration of the DDMRP parameters. The most important factors imposed by the environment were complexity of the product structure, the extent of possible cumulative lead time reduction and the rate of forecast error. As the values of the named factors increase, the possibility of the ability of DDMRP system to provide lower average inventory levels compared to MRP system rises as well.

Configurational factor of DDMRP that had the highest impact on inventory and service level was determining the average daily usage setting (ADU). The simulation results showed that if ADU is based on longer sales history, the inventory levels are more stable, but often unable to cope with high periodical demand spikes. In case the ADU is based on short history of sales, then the system is more responsive, but may cause unnecessarily high inventory levels when the demand has spiked in recent past. Best results were achieved if ADU setting used both the history of sales data and sales forecast and the range of the period was long enough to characterise the volatility of the demand.

Compared to MRP, DDMRP system achieved more stable inventory levels which is described by the result that by comparison to MRP, DDMRP provided on average less early warning signals for out of stock situations. On the other hand, the DDMRP model caused more forced changes to MPS due to material deficiency. When analyzing the cause of the phenomenon, it turned out that the result was related to determining the DLT of DDMRP system. In the case that cumulative lead time of the end item is reduced by buffering the component with the longest lead time and the CLT of the end item is set equal to the next material with the longest lead time that is planned according to MRP logic, then the MPS becomes subject to the variability of that MRP component. As a solution for the issue, author recommends in such cases to calculate the safety lead for the component and add it to the decoupled lead time of the end item.

According to the results of the simulation, in the case of Saku Brewery Ltd the effect of DDMRP on inventory levels and stability of the supply plan compared to MRP with dynamic buffers was not sufficient to justify the implementation of the new approach. Out of six purchased and distributed SKUs, DDMRP achieved better inventory levels on one case, in the conditions of Z demand pattern and short CLT. In the case of produced SKUs, DDMRP achieved marginally lower inventory levels on

two cases out of four, when the CLT reduction was relatively high and FA was lower, but the achieved results of the end item do not outweigh the dramatic increase of the inventory level of the buffered component. The insufficient impact of the DDMRP system in the case of Saku Brewery Ltd can be explained by low level of product structure complexity and by the fact that the compression of CLT by using decoupling points is limited by one specific material that can not be buffered due to shelf life and capacity constraints.

Based on the results that DDMRP model achieved more stable inventory levels, but had difficulties coping with periodical demand spikes and considering the fact that the concept of qualified order spikes was not applied in the model due the lack of sufficient qualified sales order horizon in Saku Brewery Ltd, it can be concluded that DDMRP has potential for achieving better inventory levels if there would be an alternative way to incorporate demand spikes into the model besides qualified sales orders. For further research, author proposes to investigate the possibility to use sales forecasts that have very high probability of realization as the input of determining future order spikes instead of actual orders and determining the possible effect the solution would have on inventory levels.

In conclusion it might be said that the study accomplished the set objectives by describing the conditions on which the DDMRP approach has potential to reduce average inventory levels and what kind of effect the system has on supply plan stability compared to MRP solution with dynamic buffers. Hoped impact in case of Saku Brewery Ltd was not achieved due to the low level of product structure complexity and the fact that the cumulative lead time reduction was constrained by specific material that was unbufferable due to short shelf life related reasons. The study thoroughly describes the principles and mechanisms of DDMRP and is likely to prove beneficial for companies that use MRP as an inventory planning system tool and are looking for ways to increase inventory management related efficiency through the use of DDMRP.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

Abdullah, A. A. (2017). Evolution of Enterprise Resource Planning. *Excel Journal of Engineering Technology and Management Science*, 11, 1-6.

Arjakas, K., & Juur, M. (2015). *Saku Õlletehase 195. Eesti õllekultuuri edendamise 1820-2015*. Tallinn: Menu kirjastus.

Babulak, E., & Wang, M. (2010). Discrete Event Simulation: State of the Art. *International Journal of Online Engineering* 4, 60-63.

Beleţ, T., & Purcărea, A. (2017). The Evolution of Enterprise Resource Planning. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(12), 1091-1095.

Bregni, A., D'avino, M., & Schiraldi, M. M. (2011). A New Approach to Lower MRP Nervousness. *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd*, 1513–1514. Vienna : DAAAM International.

Carlsberg ülemaailmse tarneahela akadeemia direktor. Üleskirjutis. (17.04.2018).

Chapman, S. N. (2006). *The fundamentals of production planning and control*. Pearson Prentice Hall.

Christopher, M. (2005). *Logistics and Supply Chain Management – Creating value-adding networks* (Third edition). FT Press.

Costantino, F., Patriarca, R., Di Gravio, G., & Petrella, L. (2017). Spare parts management for irregular demand items. *Omega*, 14, 1-10.

Davis, R. A. (2016). *Demand-Driven Inventory Optimization and Replenishment*. Cary: John Wiley & Sons, Inc.

Deis, P. (2013). *Production and Inventory Management In the Technological Age*. Aguora Hills: Essex of Oak Park, Inc.

El Barkany, A., & Elkhalfi, A. (2018). Sales and Operations Planning (S&OP) Concepts and Models under Constraints: Literature Review. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 34, 171-188.

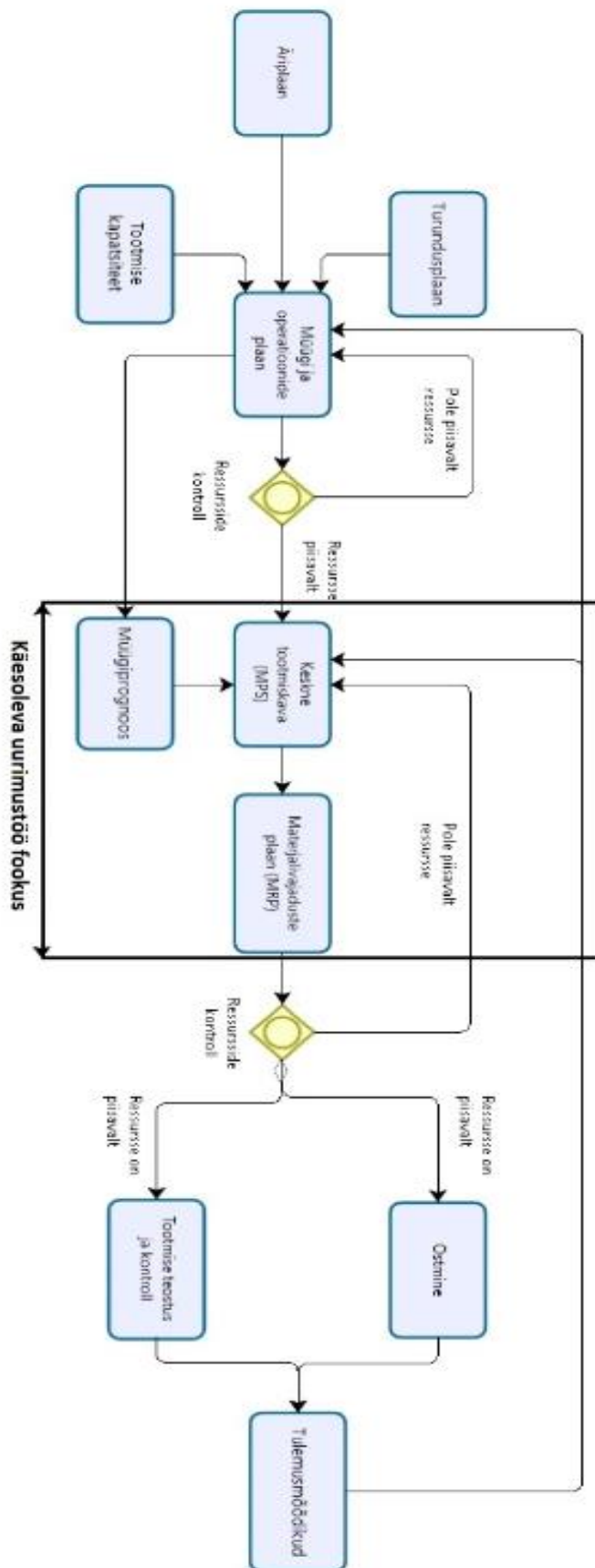
- Eroglu Pektas, G. (2013). The impacts of the bullwhip effect on customer loyalty: an example in automotive industry. *Journal of Naval Science and Engineering*, 9, 19-45.
- Gonzales, S. (2014). A simulation approach to define the more suitable inventory planning methodology for distribution environments.
- Grabara, J., & Starostka-Patyk, M. (2009). The Bullwhip Effect In Supply Chain. *Advanced Logistic systems*, 3(1), 127-133.
- Grant, D. B., Lambert, M. D., Stock, R. J., & Ellram, L. M. (2006). *Fundamentals of Logistics Management*. Berkshire: McGraw-Hill Education.
- Heisig, G. (2002). *Planning Stability in Material Requirements Planning Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2001). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management* (2nd edition). New York: McGraw-Hill.
- Hyoung-Gon, L., Hong Bum, N., Kitae, S., Han-II, J., & Park, J. (2007). Performance improvement study for MRP part explosion in ERP environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3), 309-324.
- Ihme, M., & Stratton, R. (2015). Evaluating Demand Driven MRP: a case based simulated study. International Conference of the European Operations Management Association,
- Kiisler, A. (2011). *Logistika ja tarneahela juhtimine*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus.
- Kim, S.-H., Fowler, J. W., Shunk, D. L., & Pfund, M. E. (2012). Improving the push-pull strategy in a serial supply chain by a hybrid push-pull control with multiple pulling points. *International Journal of Production Research*, 5(19), 5651-5668.
- Kirik, G. (2018). Aktsiisitõusu mõju õlle nõudluse prognoosimisele Saku Õlletehases. Tallinna Tehnikaülikool. Inseneriteaduskond. 63lk (Magistritöö)
- Konjunktuuriinstituut., E. (2018). *Alkoholi turg, tarbimine ja kahjud Eestis. (2018). Aastaraamat*.
- Kortabarria, A., Apaolaza, U., Lizrralde, A., & Amorrortu, I. (2018). Material Management without Forecasting: From MRP to Demand Driven MRP. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 11(4), 632-650.

- Koul, V. (2009). Dynamic Safety Stock: Calculation and Integration with the planning. SAP community network.
- LaForge, L. R., Kadipasaoglu, S. N., & Sridharan, V. (2000). SCHEDULE STABILITY. *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*.
- Lahe, J. (2015). Materjalivarude haldamine Saku Õlletehases. Tallinna Tehnikaülikool. Ehitusteaduskond. (Bakalaureusetöö)
- Langley, J. C., Coyle, J. J., Gibson, B. J., Bardi, E. J., & Novack, R. A. (2008). *Managing Supply Chains. A Logistics Approach*. 9th edition. South Western.
- Lee, H. L. (1997). The Bullwhip Effect in Supply Chains. *Sloan Management Review*, 38(3), 93-102.
- Lesure, M. (2010). *Key Concepts in Operations Management*. Singapur: SAGE Publications Ltd.
- Li, Q., & Disney, S. M. (2017). Revisiting Rescheduling: MRP Nervousness and the Bullwhip Effect. *International Journal of Production Research*, 55(7), 1992-2012.
- Majandusaasta aruanne. (2016). Saku Õlletehase AS.
- Majandusaasta aruanne. (2017). Saku Õlletehase AS.
- Mendes, P., Leal, J. E., & THomes, A. M. (2016). A maturity model for demand-driven supply chains in the consumer product goods industry. *International Journal of Production Economics*, 179, 153-165.
- Metters, R. (1997). Quantifying the bullwhip effect in supply chains. *Journal of Operations Management*, 15(2), 89-100.
- Pittman, P., & Atwater, B. J. (2016). *APICS Dictionary, 15th Edition*. APICS.
- Ptak, C., & Smith, C. (2018). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP), Version 2*. Connecticut: Industrial Press, Inc.
- Pujawan, N. (2004). Schedule nervousness in a manufacturing system: A case study. *Journal of Production Planning and Control*, 15(4), 515-524.
- Rădășanu, A. C. (2016). INVENTORY MANAGEMENT, SERVICE LEVEL AND SAFETY STOCK. *Journal of Public Administration, Finance and Law*, 9, 145-153.

- Rondeau, P. J., & Literal, L. A. (2001). The evolution of manufacturing planning and control systems: From reorder point to enterprise resource planning. *Production and Inventory Management Journal*, 42(2), 1-7.
- Sauga, A. (2006). Statistika ja tõenäosusteooria. Tallinn: Audentese Ülikool.
- Saku Õlletehase materjalplaneerija .Üleskirjutis. (12.04.2019).
- Saku Õlletehase tarneahela müügiplaneerija.Üleskirjutis. (18.04.2019).
- Saku Õlletehase tarneahela planeerimisjuht.Üleskirjutis. (07.04.2019).
- Singh, S. (2017). Study on Push/ Pull Strategy Decision Taken by Organizations for Their Products and Services. *Universal Journal of Management*, 5(10), 492 - 495.
- Smith, D., & Smith, C. (2014). *Demand Driven Performance. Using Smart Metrics*. McGraw-Hill Education.
- Sumit, S. (2013). What Is the Cost of Your Forecast Error? *The Journal of Business Forecasting* 32(1).
- Takahashi, K., & Nakamura, N. (2004). Push, pull or hybrid control in supply chain management. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(2), 126-140.
- Toomey, J. W. (2000). *Replenishing Dependent Demand*. Springer: New York.
- Troyer, L., Smith, J., Marshall, S., & Yaniv, E. (2005). Improving Asset Management and Order 35 (1). *Interfaces*, 76-87.
- Walker, W. T. (2016). *Supply Chain Construction. The basics for networking flow of Material, Information and Cash*. CRC Press.
- Wang, X., & Stephen, M. D. (2015). The bullwhip effect:Progress,trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 691-701.
- Wikner, J., & Johansson, E. (2015). Inventory classification based on decoupling points. *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 218-235.
- Wortmann, J. C. (1998). Evolution of ERP systems. *Strategic Management of the Manufacturing Value Chain*. Springer, Boston.

LISAD

Lisa 1. Tootmisressursside planeerimise protsess



Lisa 2. MRP ja DDMRP parameetrite seadistus toodetavate toodete korral

Tabel 1. MRP seadistus X nõudluskategooria korral

SKU	14026	12227
Lõpptoote ohutusvaru liik	dünaamiline ohutusvaru	dünaamiline ohutusvaru
Lõpptoote ohtusvaru väärtus	7 päeva	14 päeva
Ohutusvaru liik materjal 1	Ajaline ohutusvaru	Ajaline + staatiline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 1	6 päeva	14 päeva + 80 000 TK
Ohutusvaru liik materjal 2	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 2	5 päeva	5 päeva
Ohutusvaru liik materjal 3	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 3	5 päeva	2 päeva

Tabel 2. MRP ohutusvaru seadistus Z nõudluskategooria korral

SKU	13550	14830
Lõpptoote ohutusvaru liik	dünaamiline ohutusvaru	dünaamiline ohutusvaru
Lõpptoote ohtusvaru väärtus	11 päeva	18 päeva
Ohutusvaru liik materjal 1	Ajaline + staatiline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 1	5 päeva + 12 000 TK	8
Ohutusvaru liik materjal 2	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 2	5	5
Ohutusvaru liik materjal 3	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 3	2	4

Tabel 3. DDMRP ohutusvaru seadistus X nõudluskategooria korral.

SKU	14026	12227
Lõpptoote varieeruvusfaktor	0,3	0,5
Lõpptoote läbimisaja faktor	0,5	0,7
Lõpptoote ADU määratlus	[-14;14]	[-15;15]
Materjal 1 varieeruvusfaktor	0,5	0,5
Materjal 1 läbimisaja faktor	0,6	0,8
Materjal 1 ADU määratlus	[-30;10]	[-30;10]
Ohutusvaru liik materjal 2	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 2	5	5
Ohutusvaru liik materjal 3	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohtusvaru väärtus materjal 3	6	2

Tabel 4. DDMRP ohutusvaru seadistus Z nõudluskategooria korral

DDMRP

SKU	13550	14830
Lõpptoote varieeruvusfaktor	0,5	0,65
Lõpptoote läbimisaja faktor	0,6	0,7
Lõpptoote ADU määratlus	[-15;15]	[-15;15]
Materjal 1 varieeruvusfaktor	0,7	0,5
Materjal 1 läbimisaja faktor	1	0,6
Materjal 1 ADU määratlus	[-30;10]	[-30;10]
Ohutusvaru liik materjal 2	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohutusvaru väärtus materjal 2	5	4
Ohutusvaru liik materjal 3	Ajaline ohutusvaru	Ajaline ohutusvaru
Ohutusvaru väärtus materjal 3	2	5

Lisa 3. Simulatsioonide tulemused

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,866	4452	73785	527	8325	0,0	3,00	14026	DDMRP
2	1,000	0	0,897	4634	77529	369	7683	0,0	2,00	14026	DDMRP
3	1,000	0	0,859	4229	72776	396	7346	0,0	2,00	14026	DDMRP
4	1,000	0	0,883	4550	70902	356	7116	0,0	2,00	14026	DDMRP
5	1,000	0	0,873	4532	77351	303	6764	0,0	1,00	14026	DDMRP
6	1,000	0	0,875	4466	81287	422	6407	0,0	1,00	14026	DDMRP
7	1,000	0	0,859	4500	76658	369	6796	0,0	2,00	14026	DDMRP
8	1,000	0	0,897	4556	82350	422	6648	0,0	1,00	14026	DDMRP
9	1,000	0	0,847	4295	71703	422	6813	0,0	3,00	14026	DDMRP
10	1,000	0	0,868	4566	75625	409	6610	0,0	2,00	14026	DDMRP
11	1,000	0	0,885	4364	73157	369	6429	0,0	1,00	14026	DDMRP
12	1,000	0	0,849	4743	71743	396	6049	0,0	3,00	14026	DDMRP
13	1,000	0	0,871	4634	73043	501	7782	0,0	2,00	14026	DDMRP
14	0,979	2	0,878	4227	73019	343	6671	0,0	2,00	14026	DDMRP
15	1,000	0	0,873	4422	78176	396	6495	0,0	4,00	14026	DDMRP
16	1,000	0	0,899	4401	70937	488	6791	0,0	2,00	14026	DDMRP
17	0,994	2	0,840	4437	80713	369	7850	0,0	2,00	14026	DDMRP
18	1,000	0	0,863	4881	75476	396	6479	0,0	2,00	14026	DDMRP
19	1,000	0	0,846	4091	78260	316	6698	0,0	3,00	14026	DDMRP
20	1,000	0	0,897	4667	77108	435	6380	0,0	3,00	14026	DDMRP
21	0,994	1	0,897	4776	70190	356	6006	0,0	2,00	14026	DDMRP
22	1,000	0	0,852	4682	87775	356	7234	0,0	2,00	14026	DDMRP
23	1,000	0	0,863	4545	83275	435	7117	0,0	3,00	14026	DDMRP
24	1,000	0	0,861	4855	83759	343	6818	0,0	3,00	14026	DDMRP
25	1,000	0	0,873	4225	86138	369	5182	5,0	2,00	14026	DDMRP
26	1,000	0	0,887	4535	79220	422	6705	0,0	2,00	14026	DDMRP
27	1,000	0	0,838	4566	78448	514	7584	0,0	4,00	14026	DDMRP
28	0,981	3	0,888	3852	90277	527	7650	9,0	1,00	14026	DDMRP
29	1,000	0	0,836	4156	83838	514	6707	0,0	7,00	14026	DDMRP
30	1,000	0	0,816	4229	75536	356	5106	0,0	0,00	14026	DDMRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0,0	0,859	3343	13088	1411	11720	0,0	0,0	14026	MRP
2	0,998	1,0	0,845	3208	14082	1609	12605	8,0	1,0	14026	MRP
3	1,000	0,0	0,850	2899	14736	1596	13308	0,0	0,0	14026	MRP
4	1,000	0,0	0,872	3293	13484	1424	11451	0,0	0,0	14026	MRP
5	1,000	0,0	0,895	3460	13313	1424	10599	0,0	0,0	14026	MRP
6	1,000	0,0	0,847	3076	12725	1437	12919	2,0	0,0	14026	MRP
7	1,000	0,0	0,849	3241	13115	1437	10931	0,0	1,0	14026	MRP
8	1,000	0,0	0,874	3291	14220	1490	11482	0,0	0,0	14026	MRP
9	0,994	2,0	0,811	2936	12626	1622	12439	0,0	2,0	14026	MRP
10	1,000	0,0	0,842	2918	12923	1516	11818	0,0	0,0	14026	MRP
11	1,000	0,0	0,861	2817	14170	1371	11073	0,0	0,0	14026	MRP
12	1,000	0,0	0,871	3936	14549	1332	11407	0,0	0,0	14026	MRP
13	1,000	0,0	0,889	3197	12516	1516	12275	0,0	1,0	14026	MRP
14	0,998	1,0	0,876	3212	13709	1266	10800	6,0	0,0	14026	MRP
15	1,000	0,0	0,852	3409	14297	1648	13124	0,0	0,0	14026	MRP
16	1,000	0,0	0,859	3343	13088	1411	11720	0,0	0,0	14026	MRP
17	0,998	1,0	0,845	3208	14082	1609	12605	8,0	1,0	14026	MRP
18	1,000	0,0	0,850	2899	14736	1596	13308	0,0	0,0	14026	MRP
19	1,000	0,0	0,872	3293	13484	1424	11451	0,0	0,0	14026	MRP
20	1,000	0,0	0,895	3460	13313	1424	10599	0,0	0,0	14026	MRP
21	1,000	0,0	0,847	3076	12725	1437	12919	2,0	0,0	14026	MRP
22	0,990	3,0	0,799	3241	13115	1437	10931	0,0	1,0	14026	MRP
23	1,000	0,0	0,874	3291	14220	1490	11482	0,0	0,0	14026	MRP
24	1,000	0,0	0,811	2936	12626	1622	12439	0,0	2,0	14026	MRP
25	1,000	0,0	0,842	2918	12923	1516	11818	0,0	0,0	14026	MRP
26	1,000	0,0	0,859	3343	13088	1411	11720	0,0	0,0	14026	MRP
27	0,998	1,0	0,845	3208	14082	1609	12605	8,0	1,0	14026	MRP
28	1,000	0,0	0,850	2899	14736	1596	13308	0,0	0,0	14026	MRP
29	1,000	0,0	0,872	3293	13484	1424	11451	0,0	0,0	14026	MRP
30	0,980	2,0	0,822	3196	13584	1480	11851	0,0	2,0	14026	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Keskmine varude tase lõpptootel	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	0,996	2,0	0,676	2747	194571	17731	1320	12	7,00	12227	DDMRP
2	1,000	0,0	0,742	2701	178484	16780	1324	3	2,00	12227	DDMRP
3	1,000	0,0	0,663	2808	191560	15214	1516	0	3,00	12227	DDMRP
4	1,000	0,0	0,713	2748	187758	18335	1045	0	3,00	12227	DDMRP
5	0,996	2,0	0,692	2796	185055	14643	1314	11	2,00	12227	DDMRP
6	1,000	0,0	0,696	2951	203077	16099	1363	2	3,00	12227	DDMRP
7	0,916	7,0	0,664	2873	201033	14934	1019	12	6,00	12227	DDMRP
8	0,994	1,0	0,742	3096	238176	18038	1047	9	16,00	12227	DDMRP
9	1,000	0,0	0,639	2840	196923	15769	1301	0	1,00	12227	DDMRP
10	0,982	1,0	0,681	2622	204154	15720	1746	31	10,00	12227	DDMRP
11	1,000	0,0	0,717	2815	200681	16643	1405	13	3,00	12227	DDMRP
12	1,000	0,0	0,641	3110	223363	20148	1344	0	2,00	12227	DDMRP
13	1,000	0,0	0,687	3076	187099	15973	1509	0	17,00	12227	DDMRP
14	1,000	0,0	0,702	2749	172857	14451	1368	0	6,00	12227	DDMRP
15	1,000	0,0	0,692	2989	164462	16742	1304	0	6,00	12227	DDMRP
16	1,000	0,0	0,746	2774	183758	15681	876	0	2,00	12227	DDMRP
17	0,935	8,0	0,624	2605	209846	18115	1473	13	3,00	12227	DDMRP
18	0,951	3,0	0,672	3213	218022	19918	1411	9	10,00	12227	DDMRP
19	0,908	5,0	0,635	2365	208879	14758	1336	18	3,00	12227	DDMRP
20	0,957	5,0	0,742	2387	195648	16500	1695	9	8,00	12227	DDMRP
21	1,000	0,0	0,742	3348	163385	17918	1466	0	17,00	12227	DDMRP
22	1,000	0,0	0,648	3473	182615	14181	942	5	2,00	12227	DDMRP
23	1,000	0,0	0,671	3270	188198	14544	1247	0	1,00	12227	DDMRP
24	0,995	1,0	0,667	3365	200615	17703	1156	4	8,00	12227	DDMRP
25	0,964	4,0	0,692	2931	218813	13429	1705	12	5,00	12227	DDMRP
26	0,994	1,0	0,722	2683	198989	18027	1123	12	4,00	12227	DDMRP
27	1,000	0,0	0,619	2791	185143	14648	1442	0	5,00	12227	DDMRP
28	0,971	4,0	0,723	2516	184791	14846	993	10	2,00	12227	DDMRP
29	0,952	3,0	0,615	2725	213670	19962	1593	7	4,00	12227	DDMRP
30	0,995	1,0	0,573	3003	174330	16363	1301	8	1,00	12227	DDMRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,670	2931	83033	30615	1782	20	3,00	12227	MRP
2	0,980	2	0,639	3599	74088	33923	2408	29	2,00	12227	MRP
3	0,959	4	0,650	2899	84637	34308	2821	50	1,00	12227	MRP
4	0,996	1	0,696	3033	80857	31819	2021	16	1,00	12227	MRP
5	1,000	0	0,744	3354	93341	27874	1779	5	0,00	12227	MRP
6	1,000	0	0,645	2690	90176	30725	2065	26	0,00	12227	MRP
7	0,993	1	0,649	3139	78505	36692	1771	36	2,00	12227	MRP
8	1,000	0	0,701	3296	92154	28390	1803	21	0,00	12227	MRP
9	1,000	0	0,569	2501	80242	31643	2179	24	2,00	12227	MRP
10	1,000	0	0,633	2823	80044	31198	2099	20	0,00	12227	MRP
11	0,938	11	0,674	2176	79912	32027	1987	50	0,00	12227	MRP
12	1,000	0	0,695	3846	80176	31302	2119	8	0,00	12227	MRP
13	1,000	0	0,732	2826	89385	29275	1854	30	0,00	12227	MRP
14	1,000	0	0,704	2835	93538	32000	1613	8	1,00	12227	MRP
15	1,000	0	0,655	3013	82176	31709	2118	4	0,00	12227	MRP
16	0,904	10	0,781	2409	81297	34731	2038	39	4,00	12227	MRP
17	1,000	0	0,736	2950	80462	28978	1935	13	1,00	12227	MRP
18	1,000	1	0,657	2528	83385	33824	2310	43	1,00	12227	MRP
19	0,896	17	0,672	2959	86088	34769	2093	45	0,00	12227	MRP
20	1,000	0	0,613	3080	88813	32632	2304	26	1,00	12227	MRP
21	1,000	0	0,721	2723	92637	28352	1841	17	0,00	12227	MRP
22	1,000	0	0,643	4500	75363	26379	1729	7	0,00	12227	MRP
23	0,912	8	0,733	3104	75934	30907	2285	37	0,00	12227	MRP
24	1,000	0	0,689	3438	84154	31956	2203	3	0,00	12227	MRP
25	1,000	0	0,712	2423	80022	31698	2071	22	0,00	12227	MRP
26	0,976	3	0,634	2808	88396	30703	2002	15	0,00	12227	MRP
27	1,000	0	0,594	3468	87736	31692	2352	12	2,00	12227	MRP
28	1,000	0	0,627	4032	74791	31714	1647	22	1,00	12227	MRP
29	1,000	0	0,727	3095	79582	30626	2111	2	0,00	12227	MRP
30	0,996	1	0,542	3658	94154	24264	2044	21	0,00	12227	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0,0	0,693	3918	63238	17478	335	6,0	0,0	13550	DDMRP
2	1,000	0,0	0,671	4000	64762	16374	303	9,0	0,0	13550	DDMRP
3	1,000	0,0	0,676	3374	68223	13555	303	0,0	0,0	13550	DDMRP
4	0,907	9,0	0,634	3057	65109	17132	414	20,0	0,0	13550	DDMRP
5	0,762	13,0	0,697	2484	70671	18951	526	17,0	1,0	13550	DDMRP
6	1,000	0,0	0,690	3805	75659	14901	271	0,0	0,0	13550	DDMRP
7	0,999	1,0	0,637	3618	63980	19324	446	9,0	0,0	13550	DDMRP
8	0,995	1,0	0,672	4769	60719	18868	446	8,0	0,0	13550	DDMRP
9	1,000	0,0	0,664	4035	74830	16808	319	0,0	0,0	13550	DDMRP
10	1,000	0,0	0,689	4112	80036	20566	351	11,0	0,0	13550	DDMRP
11	1,000	0,0	0,650	4957	64627	21654	351	0,0	0,0	13550	DDMRP
12	1,000	0,0	0,657	4639	80816	18846	319	0,0	0,0	13550	DDMRP
13	0,994	1,0	0,676	4817	67812	18423	319	3,0	1,0	13550	DDMRP
14	0,992	2,0	0,758	3264	67340	19940	446	10,0	0,0	13550	DDMRP
15	0,866	11,0	0,679	3736	60261	17066	526	20,0	4,0	13550	DDMRP
16	1,000	0,0	0,633	4588	56459	17714	303	0,0	0,0	13550	DDMRP
17	0,982	3,0	0,691	4185	68465	15500	414	19,0	0,0	13550	DDMRP
18	1,000	0,0	0,697	3134	66993	16297	271	14,0	2,0	13550	DDMRP
19	0,960	4,0	0,697	3254	60941	17412	414	12,0	0,0	13550	DDMRP
20	1,000	0,0	0,594	4599	65254	18593	335	0,0	0,0	13550	DDMRP
21	1,000	0,0	0,655	3364	68870	20291	430	3,0	0,0	13550	DDMRP
22	1,000	0,0	0,656	4160	70265	19258	414	2,0	0,0	13550	DDMRP
23	1,000	0,0	0,696	4454	63625	20170	335	0,0	0,0	13550	DDMRP
24	0,756	6,0	0,594	3526	67900	18940	335	9,0	4,0	13550	DDMRP
25	0,984	1,0	0,685	3539	55801	19286	446	10,0	0,0	13550	DDMRP
26	1,000	0,0	0,689	4011	62834	19681	430	9,0	1,0	13550	DDMRP
27	0,998	1,0	0,650	3345	58813	16670	303	7,0	1,0	13550	DDMRP
28	0,999	1,0	0,677	3831	65467	18082	414	6,0	0,0	13550	DDMRP
29	1,000	0,0	0,668	5001	64421	23077	366	0,0	0,0	13550	DDMRP
30	0,996	1,0	0,670	3784	65467	16297	414	2,0	0,0	13550	DDMRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0,0	0,661	3300	16704	20170	829	0,0	0,0	13550	MRP
2	1,000	0,0	0,717	3535	15055	23945	717	5,0	1,0	13550	MRP
3	1,000	0,0	0,603	3669	17438	23560	653	9,0	0,0	13550	MRP
4	1,000	0,0	0,740	3791	16133	22176	781	0,0	0,0	13550	MRP
5	1,000	0,0	0,633	3188	17433	24692	876	4,0	0,0	13550	MRP
6	1,000	0,0	0,640	3160	15550	21462	574	0,0	0,0	13550	MRP
7	1,000	0,0	0,675	2350	17550	18060	1020	0,0	0,0	13550	MRP
8	1,000	0,0	0,684	2741	16981	23286	956	0,0	0,0	13550	MRP
9	1,000	0,0	0,719	3599	15543	24275	765	0,0	0,0	13550	MRP
10	1,000	0,0	0,706	3790	15426	24418	829	0,0	0,0	13550	MRP
11	0,995	2,0	0,636	2769	16536	26797	1131	9,0	0,0	13550	MRP
12	0,976	2,0	0,753	2610	16972	21560	1004	10,0	0,0	13550	MRP
13	0,963	4,0	0,651	2141	16109	24769	1052	24,0	1,0	13550	MRP
14	0,983	2,0	0,702	2496	15410	25538	765	10,0	0,0	13550	MRP
15	0,982	2,0	0,649	2404	15499	22209	781	15,0	0,0	13550	MRP
16	1,000	0,0	0,621	3420	16990	26703	940	2,0	0,0	13550	MRP
17	0,999	1,0	0,648	3149	15843	26940	765	20,0	0,0	13550	MRP
18	0,955	3,0	0,663	2531	15340	25011	637	10,0	2,0	13550	MRP
19	1,000	0,0	0,639	2337	19560	23126	669	2,0	0,0	13550	MRP
20	0,743	8,0	0,681	3834	15599	21566	797	17,0	0,0	13550	MRP
21	0,999	1,0	0,683	3063	17403	26407	749	10,0	0,0	13550	MRP
22	0,862	6,0	0,754	2352	18179	24907	988	21,0	0,0	13550	MRP
23	0,754	7,0	0,542	3120	17136	19275	669	14,0	0,0	13550	MRP
24	1,000	0,0	0,639	2871	15517	22588	669	0,0	0,0	13550	MRP
25	1,000	0,0	0,687	2808	16886	23280	685	0,0	0,0	13550	MRP
26	1,000	0,0	0,641	3111	17800	23071	1291	0,0	0,0	13550	MRP
27	1,000	0,0	0,727	3425	15903	23066	590	0,0	0,0	13550	MRP
28	0,995	2,0	0,679	2534	15813	24610	637	13,0	0,0	13550	MRP
29	1,000	0,0	0,704	3462	16087	21357	781	0,0	0,0	13550	MRP
30	0,933	4,0	0,648	2783	17565	27181	797	9,0	0,0	13550	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	0,942	3	0,654	11978	89331	52318	526	4,0	13,0	14830	DDMRP
2	1,000	0	0,724	10641	87257	48474	223	9,0	3,0	14830	DDMRP
3	1,000	0	0,640	8651	77052	50982	414	2,0	8,0	14830	DDMRP
4	1,000	0	0,692	9157	69588	48165	382	0,0	8,0	14830	DDMRP
5	0,792	6	0,670	9663	74413	53888	558	10,0	2,0	14830	DDMRP
6	0,978	3	0,675	10829	72023	88254	1785	12,0	4,0	14830	DDMRP
7	0,764	10	0,640	10036	74801	62158	845	14,0	15,0	14830	DDMRP
8	1,000	0	0,723	13301	122707	104499	2773	0,0	11,0	14830	DDMRP
9	1,000	0	0,614	8896	76406	44631	351	0,0	6,0	14830	DDMRP
10	0,937	5	0,659	12114	89298	84921	335	16,0	4,0	14830	DDMRP
11	0,991	2	0,697	8555	75768	61413	223	3,0	7,0	14830	DDMRP
12	1,000	0	0,617	11808	61128	53859	574	0,0	3,0	14830	DDMRP
13	1,000	0	0,665	21064	125014	116591	4079	0,0	4,0	14830	DDMRP
14	1,000	0	0,681	9141	58169	47749	223	0,0	6,0	14830	DDMRP
15	1,000	0	0,670	10662	81264	45126	335	0,0	3,0	14830	DDMRP
16	1,000	0	0,728	12038	87437	43107	223	1,0	1,0	14830	DDMRP
17	1,000	0	0,598	12200	142221	56109	398	4,0	8,0	14830	DDMRP
18	0,997	1	0,649	12383	90081	57065	335	2,0	9,0	14830	DDMRP
19	1,000	0	0,610	10215	77600	51989	223	1,0	6,0	14830	DDMRP
20	1,000	0	0,724	9126	71535	55652	255	0,0	3,0	14830	DDMRP
21	1,000	0	0,724	22082	113714	154397	4366	0,0	9,0	14830	DDMRP
22	1,000	0	0,624	11944	99518	63709	478	0,0	15,0	14830	DDMRP
23	1,000	0	0,648	11869	80893	49773	414	0,0	7,0	14830	DDMRP
24	1,000	0	0,644	11886	81503	63801	303	0,0	11,0	14830	DDMRP
25	0,875	5	0,670	12442	113576	52596	414	7,0	7,0	14830	DDMRP
26	1,000	0	0,702	9808	79196	60877	335	0,0	7,0	14830	DDMRP
27	1,000	0	0,593	10843	57106	42086	335	0,0	9,0	14830	DDMRP
28	1,000	0	0,648	12299	77252	52337	510	0,0	8,0	14830	DDMRP
29	1,000	0	0,644	13368	81797	63736	303	0,0	4,0	14830	DDMRP
30	0,912	3	0,670	13861	116206	46197	223	5,0	4,0	14830	DDMRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Lõpptoote varu	M1 varu	M2 varu	M3 varu	EW	Lõpptoote edasilükkumine	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,697	15314	21396	87856	1992	0	1	14830	MRP
2	0,970	3	0,686	9941	24226	104150	2358	17	0	14830	MRP
3	1,000	0	0,664	8765	19499	90118	1928	0	2	14830	MRP
4	1,000	0	0,664	12988	24953	79436	1769	0	1	14830	MRP
5	1,000	0	0,714	15947	28779	86924	1944	5	0	14830	MRP
6	1,000	0	0,627	10985	22826	84055	1848	0	1	14830	MRP
7	0,822	9	0,628	12298	25624	109220	2534	18	0	14830	MRP
8	0,998	1	0,574	9807	22475	84376	1848	10	0	14830	MRP
9	0,792	10	0,700	9444	20343	89158	1848	17	1	14830	MRP
10	1,000	0	0,707	13447	18326	103149	2310	0	1	14830	MRP
11	1,000	0	0,653	11243	20780	115624	2518	0	1	14830	MRP
12	1,000	0	0,704	13136	22616	83141	1896	0	1	14830	MRP
13	1,000	0	0,582	8684	21803	77664	1593	0	2	14830	MRP
14	0,996	2	0,596	15071	24621	96526	2119	16	2	14830	MRP
15	0,927	4	0,684	12488	23346	106363	2310	13	3	14830	MRP
16	1,000	0	0,586	16655	23456	87861	1928	0	0	14830	MRP
17	1,000	0	0,573	13894	22486	87265	1928	0	1	14830	MRP
18	0,913	7	0,646	10190	20036	129353	3027	29	1	14830	MRP
19	1,000	0	0,676	11554	23652	96488	2231	0	0	14830	MRP
20	1,000	0	0,599	15160	20636	93623	2151	0	1	14830	MRP
21	0,972	2	0,648	12545	22705	86556	1912	18	0	14830	MRP
22	0,937	3	0,615	14460	26048	106993	2199	31	1	14830	MRP
23	0,892	7	0,627	9964	24305	103122	2295	41	1	14830	MRP
24	1,000	0	0,675	12522	22272	88676	2024	28	0	14830	MRP
25	1,000	0	0,726	11801	20456	80276	1753	17	0	14830	MRP
26	1,000	0	0,621	10717	21075	86360	1864	14	3	14830	MRP
27	1,000	0	0,626	11659	19254	113046	2534	40	1	14830	MRP
28	1,000	0	0,680	13560	23933	80858	1609	9	1	14830	MRP
29	0,976	4	0,541	10401	22563	109886	2374	31	0	14830	MRP
30	0,919	3	0,609	9959	29778	93610	1848	44	0	14830	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Löppptoote varu	SKU	Mudel
1	0,995	1,0	0,813	412	TG10017	DDMRP
2	0,984	3,0	0,788	383	TG10017	DDMRP
3	0,992	1,0	0,822	459	TG10017	DDMRP
4	0,994	2,0	0,824	637	TG10017	DDMRP
5	0,980	2,0	0,778	289	TG10017	DDMRP
6	0,994	3,0	0,774	396	TG10017	DDMRP
7	0,997	1,0	0,827	344	TG10017	DDMRP
8	0,966	4,0	0,786	724	TG10017	DDMRP
9	0,999	3,0	0,844	411	TG10017	DDMRP
10	0,997	1,0	0,767	310	TG10017	DDMRP
11	0,983	2,0	0,810	595	TG10017	DDMRP
12	0,993	1,0	0,734	453	TG10017	DDMRP
13	1,000	0,0	0,794	347	TG10017	DDMRP
14	1,000	0,0	0,800	625	TG10017	DDMRP
15	0,997	1,0	0,785	480	TG10017	DDMRP
16	1,000	0,0	0,769	536	TG10017	DDMRP
17	1,000	0,0	0,808	619	TG10017	DDMRP
18	1,000	0,0	0,875	578	TG10017	DDMRP
19	0,989	1,0	0,849	353	TG10017	DDMRP
20	1,000	0,0	0,846	539	TG10017	DDMRP
21	0,993	1,0	0,776	358	TG10017	DDMRP
22	0,979	4,0	0,854	493	TG10017	DDMRP
23	1,000	0,0	0,778	386	TG10017	DDMRP
24	0,995	2,0	0,774	415	TG10017	DDMRP
25	0,997	1,0	0,797	378	TG10017	DDMRP
26	1,000	0,0	0,789	398	TG10017	DDMRP
27	0,999	1,0	0,767	508	TG10017	DDMRP
28	0,999	1,0	0,775	488	TG10017	DDMRP
29	0,999	1,0	0,779	524	TG10017	DDMRP
30	0,985	3,0	0,835	420	TG10017	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Löppptoote varu	SKU	Mudel
1	1,000	0,0	0,81	351	TG10017	MRP
2	1,000	0,0	0,78	430	TG10017	MRP
3	1,000	0,0	0,82	390	TG10017	MRP
4	1,000	0,0	0,82	380	TG10017	MRP
5	1,000	1,0	0,77	294	TG10017	MRP
6	1,000	0,0	0,77	307	TG10017	MRP
7	1,000	0,0	0,82	374	TG10017	MRP
8	1,000	0,0	0,78	384	TG10017	MRP
9	1,000	0,0	0,84	392	TG10017	MRP
10	1,000	0,0	0,76	391	TG10017	MRP
11	1,000	0,0	0,80	406	TG10017	MRP
12	0,990	3,0	0,73	375	TG10017	MRP
13	1,000	0,0	0,79	458	TG10017	MRP
14	0,997	3,0	0,79	390	TG10017	MRP
15	0,994	2,0	0,78	375	TG10017	MRP
16	0,994	3,0	0,76	312	TG10017	MRP
17	0,998	2,0	0,80	379	TG10017	MRP
18	1,000	0,0	0,87	501	TG10017	MRP
19	1,000	0,0	0,84	418	TG10017	MRP
20	1,000	0,0	0,84	409	TG10017	MRP
21	1,000	0,0	0,77	376	TG10017	MRP
22	1,000	0,0	0,85	393	TG10017	MRP
23	0,999	1,0	0,77	435	TG10017	MRP
24	0,999	1,0	0,77	355	TG10017	MRP
25	1,000	0,0	0,79	401	TG10017	MRP
26	1,000	0,0	0,78	428	TG10017	MRP
27	1,000	0,0	0,76	385	TG10017	MRP
28	0,994	1,0	0,77	401	TG10017	MRP
29	1,000	0,0	0,77	414	TG10017	MRP
30	1,000	0,0	0,83	371	TG10017	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,500	1035	TG10334	DDMRP
2	0,989	1	0,576	1133	TG10334	DDMRP
3	0,992	1	0,575	998	TG10334	DDMRP
4	0,958	2	0,608	1224	TG10334	DDMRP
5	0,972	3	0,623	1131	TG10334	DDMRP
6	0,997	1	0,700	1487	TG10334	DDMRP
7	0,996	1	0,648	1317	TG10334	DDMRP
8	0,990	1	0,524	1197	TG10334	DDMRP
9	0,992	2	0,634	1046	TG10334	DDMRP
10	0,989	3	0,562	1512	TG10334	DDMRP
11	0,995	1	0,576	1550	TG10334	DDMRP
12	0,993	2	0,616	1266	TG10334	DDMRP
13	0,999	1	0,527	1106	TG10334	DDMRP
14	0,997	1	0,537	1378	TG10334	DDMRP
15	1,000	0	0,562	1714	TG10334	DDMRP
16	0,998	2	0,575	1567	TG10334	DDMRP
17	1,000	0	0,474	1139	TG10334	DDMRP
18	1,000	0	0,637	1627	TG10334	DDMRP
19	0,986	2	0,712	1510	TG10334	DDMRP
20	1,000	0	0,515	1135	TG10334	DDMRP
21	0,998	1	0,536	1159	TG10334	DDMRP
22	0,997	1	0,525	1305	TG10334	DDMRP
23	0,997	1	0,521	1994	TG10334	DDMRP
24	0,995	2	0,548	1257	TG10334	DDMRP
25	0,991	2	0,505	1324	TG10334	DDMRP
26	0,999	1	0,696	1156	TG10334	DDMRP
27	0,996	1	0,600	1480	TG10334	DDMRP
28	0,988	1	0,593	1377	TG10334	DDMRP
29	1,000	0	0,521	1312	TG10334	DDMRP
30	0,997	1	0,498	1191	TG10334	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,610	1318	TG10334	MRP
2	1,000	0	0,551	1782	TG10334	MRP
3	1,000	0	0,630	1482	TG10334	MRP
4	0,946	7	0,635	1223	TG10334	MRP
5	0,995	1	0,529	1023	TG10334	MRP
6	1,000	0	0,519	1042	TG10334	MRP
7	1,000	0	0,643	1432	TG10334	MRP
8	1,000	0	0,547	1446	TG10334	MRP
9	1,000	0	0,682	1359	TG10334	MRP
10	0,989	6	0,504	1301	TG10334	MRP
11	0,987	4	0,602	1574	TG10334	MRP
12	0,973	5	0,426	1367	TG10334	MRP
13	1,000	1	0,567	1722	TG10334	MRP
14	0,996	3	0,579	1341	TG10334	MRP
15	0,998	1	0,545	1416	TG10334	MRP
16	0,878	14	0,508	885	TG10334	MRP
17	0,908	9	0,599	1193	TG10334	MRP
18	1,000	0	0,755	2030	TG10334	MRP
19	1,000	0	0,693	1679	TG10334	MRP
20	1,000	1	0,686	1475	TG10334	MRP
21	0,997	1	0,524	1483	TG10334	MRP
22	0,986	1	0,704	1379	TG10334	MRP
23	1,000	0	0,529	1506	TG10334	MRP
24	0,886	10	0,518	1067	TG10334	MRP
25	1,000	0	0,572	1372	TG10334	MRP
26	1,000	0	0,554	1722	TG10334	MRP
27	1,000	0	0,504	1508	TG10334	MRP
28	0,985	4	0,521	1442	TG10334	MRP
29	1,000	0	0,531	1439	TG10334	MRP
30	1,000	0	0,660	1360	TG10334	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	0,98	1,0	0,7	675,8	TG10370	DDMRP
2	1,00	0,0	0,6	422,1	TG10370	DDMRP
3	1,00	1,0	0,8	675,5	TG10370	DDMRP
4	0,97	6,0	0,8	576,7	TG10370	DDMRP
5	0,99	2,0	0,6	445,8	TG10370	DDMRP
6	1,00	1,0	0,5	631,0	TG10370	DDMRP
7	0,99	4,0	0,6	660,5	TG10370	DDMRP
8	1,00	1,0	0,6	671,1	TG10370	DDMRP
9	1,00	0,0	0,7	583,5	TG10370	DDMRP
10	0,99	3,0	0,6	470,6	TG10370	DDMRP
11	1,00	1,0	0,8	757,2	TG10370	DDMRP
12	1,00	1,0	0,6	531,0	TG10370	DDMRP
13	0,99	3,0	0,6	543,4	TG10370	DDMRP
14	1,00	0,0	0,6	921,0	TG10370	DDMRP
15	0,94	8,0	0,5	603,8	TG10370	DDMRP
16	0,97	4,0	0,5	572,7	TG10370	DDMRP
17	0,97	5,0	0,6	517,9	TG10370	DDMRP
18	0,99	2,0	0,7	443,5	TG10370	DDMRP
19	0,98	2,0	0,6	796,4	TG10370	DDMRP
20	0,99	4,0	0,6	522,0	TG10370	DDMRP
21	0,99	2,0	0,6	621,9	TG10370	DDMRP
22	1,00	0,0	0,6	684,4	TG10370	DDMRP
23	1,00	0,0	0,6	556,9	TG10370	DDMRP
24	0,97	9,0	0,5	691,0	TG10370	DDMRP
25	0,99	2,0	0,7	615,8	TG10370	DDMRP
26	1,00	1,0	0,6	565,9	TG10370	DDMRP
27	1,00	1,0	0,7	609,2	TG10370	DDMRP
28	1,00	3,0	0,7	977,8	TG10370	DDMRP
29	0,99	1,0	0,6	552,3	TG10370	DDMRP
30	0,96	5,0	0,6	406,1	TG10370	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	0,99	4,0	0,8	793,9	TG10370	MRP
2	0,93	7,0	0,6	784,1	TG10370	MRP
3	0,95	7,0	0,6	715,4	TG10370	MRP
4	0,99	5,0	0,7	890,2	TG10370	MRP
5	1,00	0,0	0,6	684,3	TG10370	MRP
6	1,00	0,0	0,6	623,7	TG10370	MRP
7	0,94	8,0	0,7	808,0	TG10370	MRP
8	1,00	0,0	0,6	961,0	TG10370	MRP
9	0,96	5,0	0,7	890,5	TG10370	MRP
10	1,00	0,0	0,6	1249,1	TG10370	MRP
11	1,00	0,0	0,5	979,7	TG10370	MRP
12	0,98	4,0	0,6	687,4	TG10370	MRP
13	0,87	6,0	0,7	647,8	TG10370	MRP
14	0,94	6,0	0,5	940,7	TG10370	MRP
15	1,00	0,0	0,7	985,7	TG10370	MRP
16	1,00	0,0	0,7	1112,1	TG10370	MRP
17	1,00	0,0	0,6	646,1	TG10370	MRP
18	0,89	13,0	0,8	892,8	TG10370	MRP
19	1,00	0,0	0,6	1136,5	TG10370	MRP
20	1,00	3,0	0,6	567,9	TG10370	MRP
21	1,00	0,0	0,6	859,4	TG10370	MRP
22	0,98	5,0	0,7	1211,9	TG10370	MRP
23	0,98	6,0	0,6	644,2	TG10370	MRP
24	0,99	3,0	0,6	1228,8	TG10370	MRP
25	1,00	0,0	0,7	842,2	TG10370	MRP
26	0,99	4,0	0,6	569,2	TG10370	MRP
27	0,99	2,0	0,5	918,6	TG10370	MRP
28	1,00	0,0	0,4	1163,2	TG10370	MRP
29	1,00	0,0	0,7	701,1	TG10370	MRP
30	1,00	0,0	0,7	1063,8	TG10370	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	1,00	0,0	0,7	2845,5	14739	DDMRP
2	1,00	0,0	0,6	2832,9	14739	DDMRP
3	1,00	0,0	0,6	3194,4	14739	DDMRP
4	1,00	0,0	0,6	2878,8	14739	DDMRP
5	0,88	9,0	0,5	2134,1	14739	DDMRP
6	1,00	0,0	0,6	3062,8	14739	DDMRP
7	1,00	0,0	0,6	3065,9	14739	DDMRP
8	1,00	0,0	0,6	2585,0	14739	DDMRP
9	1,00	0,0	0,5	2663,6	14739	DDMRP
10	0,95	4,0	0,5	2585,8	14739	DDMRP
11	1,00	0,0	0,5	3034,9	14739	DDMRP
12	1,00	0,0	0,7	3361,5	14739	DDMRP
13	1,00	0,0	0,6	2986,5	14739	DDMRP
14	1,00	0,0	0,4	3274,5	14739	DDMRP
15	1,00	1,0	0,7	2570,7	14739	DDMRP
16	0,80	7,0	0,6	1876,7	14739	DDMRP
17	1,00	0,0	0,7	3115,4	14739	DDMRP
18	0,95	3,0	0,7	3484,3	14739	DDMRP
19	1,00	0,0	0,6	3243,5	14739	DDMRP
20	1,00	0,0	0,7	2628,0	14739	DDMRP
21	1,00	0,0	0,5	2634,0	14739	DDMRP
22	1,00	0,0	0,5	2827,9	14739	DDMRP
23	1,00	0,0	0,6	3091,2	14739	DDMRP
24	1,00	0,0	0,7	3077,7	14739	DDMRP
25	0,97	4,0	0,6	2718,1	14739	DDMRP
26	1,00	0,0	0,7	3604,8	14739	DDMRP
27	1,00	0,0	0,7	2212,9	14739	DDMRP
28	1,00	0,0	0,6	2785,9	14739	DDMRP
29	1,00	0,0	0,6	2964,9	14739	DDMRP
30	1,00	0,0	0,6	3141,6	14739	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	1,00	1,0	0,6	2158,4	14739	MRP
2	0,99	1,0	0,6	2180,9	14739	MRP
3	1,00	0,0	0,5	2385,2	14739	MRP
4	0,96	3,0	0,6	2302,2	14739	MRP
5	1,00	0,0	0,5	2253,8	14739	MRP
6	1,00	0,0	0,7	1999,2	14739	MRP
7	0,97	2,0	0,6	2351,6	14739	MRP
8	1,00	0,0	0,6	2071,4	14739	MRP
9	0,99	2,0	0,6	2056,7	14739	MRP
10	1,00	0,0	0,6	1991,1	14739	MRP
11	1,00	0,0	0,7	2435,5	14739	MRP
12	1,00	0,0	0,6	2074,0	14739	MRP
13	1,00	0,0	0,7	2339,6	14739	MRP
14	0,95	5,0	0,5	1645,0	14739	MRP
15	1,00	1,0	0,6	2531,7	14739	MRP
16	1,00	0,0	0,7	2191,3	14739	MRP
17	1,00	0,0	0,6	3101,4	14739	MRP
18	0,99	2,0	0,7	2214,4	14739	MRP
19	1,00	1,0	0,6	1989,8	14739	MRP
20	1,00	0,0	0,6	2370,9	14739	MRP
21	1,00	0,0	0,6	2197,6	14739	MRP
22	0,78	5,0	0,6	2655,0	14739	MRP
23	1,00	2,0	0,7	2497,2	14739	MRP
24	1,00	0,0	0,6	2202,3	14739	MRP
25	0,97	3,0	0,5	1797,3	14739	MRP
26	1,00	0,0	0,6	2693,1	14739	MRP
27	0,98	3,0	0,6	2566,4	14739	MRP
28	1,00	0,0	0,5	2434,9	14739	MRP
29	1,00	0,0	0,6	2206,5	14739	MRP
30	1,00	0,0	0,6	2210,5	14739	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	0,996	1	0,53	310,8	15888	DDMRP
2	0,988	2	0,59	270,5	15888	DDMRP
3	1,000	0	0,63	262,3	15888	DDMRP
4	1,000	0	0,53	332,3	15888	DDMRP
5	0,990	2	0,72	247,1	15888	DDMRP
6	1,000	0	0,61	343,7	15888	DDMRP
7	0,938	3	0,55	294,3	15888	DDMRP
8	1,000	0	0,72	274,3	15888	DDMRP
9	0,923	5	0,60	247,0	15888	DDMRP
10	0,926	4	0,58	272,7	15888	DDMRP
11	1,000	0	0,56	275,6	15888	DDMRP
12	0,962	2	0,69	301,0	15888	DDMRP
13	1,000	0	0,58	252,3	15888	DDMRP
14	1,000	0	0,75	260,5	15888	DDMRP
15	0,962	2	0,61	243,7	15888	DDMRP
16	1,000	0	0,52	259,0	15888	DDMRP
17	1,000	0	0,62	282,8	15888	DDMRP
18	1,000	0	0,51	349,7	15888	DDMRP
19	0,935	3	0,61	267,8	15888	DDMRP
20	1,000	0	0,68	263,0	15888	DDMRP
21	0,999	1	0,48	298,5	15888	DDMRP
22	1,000	0	0,64	244,7	15888	DDMRP
23	1,000	0	0,66	267,1	15888	DDMRP
24	1,000	0	0,51	241,9	15888	DDMRP
25	1,000	0	0,61	319,1	15888	DDMRP
26	1,000	0	0,65	336,8	15888	DDMRP
27	0,986	3	0,72	222,7	15888	DDMRP
28	1,000	0	0,57	331,2	15888	DDMRP
29	1,000	0	0,54	304,8	15888	DDMRP
30	0,991	1	0,65	202,5	15888	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	0,955	3	0,54	207,0	15888	MRP
2	0,918	4	0,60	239,3	15888	MRP
3	0,996	3	0,55	237,5	15888	MRP
4	1,000	0	0,59	276,6	15888	MRP
5	0,999	1	0,67	253,8	15888	MRP
6	1,000	0	0,64	237,5	15888	MRP
7	1,000	0	0,56	337,3	15888	MRP
8	1,000	0	0,55	253,1	15888	MRP
9	1,000	0	0,64	277,9	15888	MRP
10	1,000	0	0,51	282,2	15888	MRP
11	0,948	4	0,67	240,3	15888	MRP
12	1,000	0	0,64	289,6	15888	MRP
13	1,000	0	0,57	249,4	15888	MRP
14	1,000	0	0,62	228,8	15888	MRP
15	1,000	0	0,65	245,6	15888	MRP
16	1,000	0	0,67	358,6	15888	MRP
17	1,000	0	0,64	282,4	15888	MRP
18	1,000	0	0,75	296,5	15888	MRP
19	0,812	12	0,51	184,6	15888	MRP
20	1,000	0	0,65	273,2	15888	MRP
21	0,985	3	0,68	256,4	15888	MRP
22	1,000	0	0,65	364,8	15888	MRP
23	1,000	0	0,67	305,7	15888	MRP
24	1,000	0	0,58	228,1	15888	MRP
25	0,925	3	0,58	273,4	15888	MRP
26	1,000	0	0,57	282,0	15888	MRP
27	1,000	0	0,65	266,0	15888	MRP
28	1,000	0	0,75	255,3	15888	MRP
29	1,000	0	0,62	264,3	15888	MRP
30	0,996	3	0,55	233,2	15888	MRP

Lisa 3 järg

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	0,996	1	0,68	1936	TG10012	DDMRP
2	0,995	1	0,64	2473	TG10012	DDMRP
3	0,991	2	0,70	2512	TG10012	DDMRP
4	0,949	5	0,70	1752	TG10012	DDMRP
5	1,000	0	0,62	2159	TG10012	DDMRP
6	1,000	0	0,61	2059	TG10012	DDMRP
7	1,000	0	0,71	2358	TG10012	DDMRP
8	0,996	1	0,64	2162	TG10012	DDMRP
9	0,990	2	0,74	2264	TG10012	DDMRP
10	1,000	0	0,60	2353	TG10012	DDMRP
11	1,000	0	0,68	2387	TG10012	DDMRP
12	1,000	0	0,54	2212	TG10012	DDMRP
13	1,000	0	0,65	2599	TG10012	DDMRP
14	1,000	0	0,66	2154	TG10012	DDMRP
15	0,973	3	0,63	2163	TG10012	DDMRP
16	0,887	7	0,61	1968	TG10012	DDMRP
17	0,893	5	0,68	2315	TG10012	DDMRP
18	0,936	7	0,79	2367	TG10012	DDMRP
19	0,968	2	0,75	2770	TG10012	DDMRP
20	0,979	2	0,74	2198	TG10012	DDMRP
21	1,000	0	0,62	2375	TG10012	DDMRP
22	0,995	1	0,75	2161	TG10012	DDMRP
23	1,000	0	0,68	2751	TG10012	DDMRP
24	1,000	0	0,64	3257	TG10012	DDMRP
25	1,000	0	0,70	2911	TG10012	DDMRP
26	0,991	2	0,70	2531	TG10012	DDMRP
27	1,000	0	0,62	2989	TG10012	DDMRP
28	1,000	0	0,61	2443	TG10012	DDMRP
29	0,984	2	0,71	3222	TG10012	DDMRP
30	1,000	0	0,70	2882	TG10012	DDMRP

Sim. Nr	SSL	OOS	FA	Toote varu	SKU	Mudel
1	1,000	0	0,62	2379	TG10012	MRP
2	1,000	0	0,69	2724	TG10012	MRP
3	1,000	0	0,68	1909	TG10012	MRP
4	1,000	0	0,62	2502	TG10012	MRP
5	1,000	0	0,66	2545	TG10012	MRP
6	0,916	8	0,57	1807	TG10012	MRP
7	1,000	0	0,71	2483	TG10012	MRP
8	1,000	0	0,68	2364	TG10012	MRP
9	1,000	0	0,62	2223	TG10012	MRP
10	1,000	0	0,66	2046	TG10012	MRP
11	1,000	0	0,68	2363	TG10012	MRP
12	1,000	0	0,70	2937	TG10012	MRP
13	0,963	3	0,67	2469	TG10012	MRP
14	1,000	0	0,75	2423	TG10012	MRP
15	0,981	2	0,58	1685	TG10012	MRP
16	1,000	0	0,68	2491	TG10012	MRP
17	1,000	0	0,71	2584	TG10012	MRP
18	1,000	0	0,68	2858	TG10012	MRP
19	1,000	0	0,70	2715	TG10012	MRP
20	0,965	2	0,63	2082	TG10012	MRP
21	0,830	6	0,63	2381	TG10012	MRP
22	1,000	0	0,62	2460	TG10012	MRP
23	0,995	2	0,68	2458	TG10012	MRP
24	0,997	1	0,76	2186	TG10012	MRP
25	1,000	0	0,68	2319	TG10012	MRP
26	1,000	0	0,61	2676	TG10012	MRP
27	0,984	2	0,61	2132	TG10012	MRP
28	1,000	0	0,68	2244	TG10012	MRP
29	1,000	0	0,58	2386	TG10012	MRP
30	1,000	0	0,58	2362	TG10012	MRP