

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Igor Mohhov

**ERINEVATE TOOTMISÜKSUSTE EFEKTIIVSUSE
VÕRDLEMINE ANDMERAJA ANALÜÜSI MEETODIL AS
WENDRE TOOTMISLIINIDE JA TÖÖTAJATE NÄITEL**

Bakalaureusetöö

Õppekava RAKENDUSLIK MAJANDUSANALÜÜS, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: dotsent Ants Aasma

Tallinn 2021

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 6388 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Igor Mohhov

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 185173TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: mohhov.999@mail.ru

Juhendaja: dotsent Ants Aasma:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	4
SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE OSA	7
1.1. Raskused efektiivsuse hindamisel ja efektiivsus lihtsaimal juhul	7
1.2. Andmeraja analüüsi meetod konstantse mastaabiefekti korral	10
1.3. Andmeraja analüüs muutuva mastaabiefekti korral	16
1.4. Andmeraja ja regressioonanalüüside erinevused.....	19
2. ANDMED.....	21
2.1. Liinide andmed ja kirjeldav statistika.....	21
2.2. Töötajate andmed ja kirjeldav statistika	23
2.3. Andmed tootmisliinide efektiivsuse muutlikkusest 2020. aastal	24
3. ANALÜÜS JA SELLE TULEMUSED	27
3.1. Tootmisliinide analüüs	27
3.2. Töötajate analüüs	30
3.3. Tootmisliinide efektiivsuse muutlikkus 2020. aastal	32
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	39
LISAD	41
Lisa 1. Efektiivsuse leidmine andmeraja analüüsi meetodil lineaarplaneerimise vahenditega	41
Lisa 1.1. Lineaarplaneerimise ülesanne CRS puhul	41
Lisa 1.2. Lineaarplaneerimise ülesanne VRS puhul.....	42
Lisa 1.3. Lineaarplaneerimise ülesanne NIRSI puhul	43
Lisa 2. Liinide analüüsi tulemused	43
Lisa 3. Töötaja analüüsis kasutatud andmed	46
Lisa 4. Andmed liinide analüüsimise jaoks	50
Lisa 5. Lihtlitsents	52

LÜHIKOKKUVÕTE

Antud töös kasutab autor andmeid AS WENDRE tootmisliinide ja töötajate kohta selleks, et võrrelda tootmisliinide efektiivsust ning võrrelda töötajate efektiivsust. Peamiseks meetodiks, mida autor kasutab on andmeraja analüüs (Data Envelopment Analysis) ning võrdluseks teostatakse ka näitlik regressioonanalüüs. Autor näitab, mis on andmeraja analüüsi sisu, ning seletab, mis on selle lähenemise tugevused ja nõrkused. Uuritakse ka tootmisliinide efektiivsuse muutlikkust aastal 2020, kasutades Malmquisti indeksit. Võrreldakse 35 tootmisliini efektiivsust ja 69 töötaja erinevaid oskusi. Analüüsi tulemusena leiti efektiivsed ja ebaefektiivsed liinid ning seletati ebaefektiivsuse põhjuseid. Andmeraja analüüsi meetodiga uuriti nii mastaabist sõltumatut efektiivsust ehk CRS efektiivsust kui ka mastaabist sõltuvat efektiivsust ehk VRS efektiivsust. Analüüsi tulemusena leiti, et CRS efektiivseteks osutus uuritud 35 liinist 3 liini ning VRS efektiivseteks 9 liini. Ebaefektiivsete liinide jaoks leiti efektiivsed liinid, millest eeskuju võttes saaks oma töö efektiivsemaks muuta. Leiti ka efektiivsed ja ebaefektiivsed töötajad. Töötajate seas oli 20 inimest efektiivsusega 1. Tootmisliinide efektiivsuse muutlikuse analüüsist tuli välja, et aasta jooksul on nende efektiivsus langenud, seda eriti 3. ja 4. kvartalis.

Võtmesõnad: Andmeraja analüüs, efektiivsuse mõõtmine, Malmquisti indeks

SISSEJUHATUS

Efektiivsuse mõõtmine on üks põhilistest analüüsides, mida tehakse ettevõtete ja tootmisüksuste tegevuse edukuse hindamiseks. Lihtsaimal juhul, kui on ainult üks sisend ja üks väljund, saab efektiivsust defineerida, kui väljundi ja sisendi suhet. Kuid selle lähenemisega tekivad raskused, kui sisendeid ja väljundeid on palju. Näitajate agregeerimine (näiteks andes näitajatele kaalud) ei pruugi olla kõige täpsem viis efektiivsuse mõõtmiseks. Üks populaarsematest meetoditest, mida kasutatakse efektiivsuse hindamiseks, on regressioonanalüüs. Aga selle peamiseks nõrkuseks võib pidada ainult ühe sõltuva muutuja kasutamist analüüsis. Juhul, kui on vajalik hinnata mudelit mitme erineva väljundiga, satub regressioonanalüüs aga paraku raskustesse.

Paljudes suurtes ettevõtetes on erinevate üksuste majandustegevuse edukuse hindamine, arvestades mitmeid sisendeid ja väljundeid, igapäevaseks rutiiniks. Töö peamiseks eesmärgiks on majandusüksuste efektiivsuse võrdlemine ja hindamine andmeraja analüüsi meetodiga ettevõtte WENDRE AS erinevate tootmisliinide näitel. Võrdluseks kasutatakse ka regressioonanalüüsi. Töös püstitatakse hüpotees, et erinevad tootmisliinid tegutsevad erineva efektiivsusega ning paljudel liinidel esineb märgatav efektiivsuse tõus 2020. aastal.

Selles töös analüüsib autor mudelit mitme erineva sisendiga ja väljundiga, kasutades andmeraja analüüsi ning selle erinevad variatsioone. Andmeraja analüüs annab võimaluse võrrelda erinevaid üksuseid, mis kasutavad erinevaid sisendeid ja toodavad erinevaid väljundeid. Andmeraja analüüs näitab vähem efektiivsetele üksustele, millises suunas tuleks edasi areneda ning mida võtta eeskujuks, et efektiivsust tõsta.

Töö esimeses osas esitab autor ülevaate majandusüksuste efektiivsuse hindamiseks kasutatavatest meetoditest, toob näited varasematest uuringutest ning annab oma kommentaarid nende kohta. Selle põhjal esitab autor ka efektiivsuse definitsiooni. Töö teises osas kirjeldab autor andmeraja analüüsi põhimõisteid ning omadusi ja selle erinevusi teiste meetoditega ning näitab, kuidas seda analüüsi saab tehniliselt läbi viia. Samuti kirjeldab autor töö teises osas kasutatud andmeid ning toob välja andmete kirjeldavat statistikat, kirjeldab andmete kogumise meetodit ja andmete

spetsiifikat. Töö kolmandas osas esitab autor teostatud analüüsi tulemused ning interpreteerib neid. Samuti otsustab autor töö kolmandas osas, kas töös püstitatud eesmärk on saavutatud ning kas püstitatud hüpoteesid olid kinnitatud või ümber lükatud.

Märgime veel, et tabelite ja jooniste tähistamisel on kasutatud kaheosalist numeratsiooni, kus esimene arv näitab peatükki, millesse vaadeldav tabel või joonis kuulub, teine arv aga seda, mitmenda tabeli või joonisega on antud peatükis tegemist. Näiteks, tabel 2.3 tähistab teise peatüki kolmandat tabelit. Lisades esinevate valemite tähistamisel kasutame ühekohalist numeratsiooni.

1. TEOREETILINE OSA

Efektiivsuse mõõtmine on üks põhilistest analüüsides, mida tehakse äritegevuse ja majanduse hindamiseks. Tootmisüksuste efektiivsusest võib sõltuda nii lühiajaline kui ka pikaajaline ressursside jaotamine ja investeeringute tegemine.

Selles peatükis teeb autor ülevaate sellest, kuidas ja kus käsitletakse efektiivsust ettevõttes ning milliseid aspekte võetakse arvesse. Autor annab ülevaate efektiivsuse hindamise meetoditest. Seejuures pöörab autor enam tähelepanu andmeraja analüüsi meetodile kui töös enam kasutamist leidvale meetodile ja näitab, millised on selle eelised võrreldes muude meetoditega.

1.1. Raskused efektiivsuse hindamisel ja efektiivsus lihtsaimal juhul

Efektiivsuse mõõtmisel räägitakse alati sisenditest ja väljunditest. Funktsionaalselt saab efektiivsust esitada kujul $E(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$, kus

E on efektiivsus

x_n on sisend

y_m on väljund

n sisendite arv

m väljundite arv

Vaatleme näiteks, kuidas kirjeldada efektiivsust, kui tootmine on kirjeldatud Cobb-Douglaste tootmisfunktsiooniga $Y = AL^a K^b$, kus

töajõud L ja kapital K on sisendid,

tootmiskaht Y on väljund,

A on tehnoloogiline kordaja,

a, b on majanduskeskkonda iseloomustavad eksogeensed parameetrid.

Siis sisendite L ja K piirtootlikkusi MPL ja MKL saab arvutada valemitega

$$MPL = Y'_L = AaL^{a-1}K^b$$

Ja

$$MPK = Y'_K = AbL^a K^{b-1}.$$

Kui lisaks on teada kulufunktsioon, saab selle põhjal välja kirjutada kasumifunktsiooni ning leida selle maksimumi. Siis võiksime väita, et see on efektiivseim ressursside kasutusviis.

Kuid kahjuks ei pruugi reaalmajanduses tootmis- ja kulufunktsioonid olla teada või nende leidmine võib osutuda keerukaks. Seepärast muutub selline meetod raskesti kasutatavaks. Ka sellisel juhul, kui firmal oleks teada hetkel olev piirtulu ja piirkulu, ei pruugi ta leida ressursside kõige efektiivsemat kasutusviisi. Teooria seisukohast peaks firma suurendama tegevusmahtu juhul, kui tema piirtootlus on suurem kui piirkulu. Sellisel juhul kasvab tõesti firma kasumlikkus kuni piirtulu võrdsustab piirkuluga, kuid ka see ei pruugi olla kõige efektiivsem ressursside kasutusviis. Käitudes selliselt, võib firma jõuda lokaalse maksimumini, kus tegevusmahtude suurendamine või vähendamine vähendab firmade kasumit. Kuid ka siis ei tarvitse olla tegemist ressursside kõige efektiivsema kasutusviisiga, sest globaalne maksimum võidakse saavutada mingi muu tootmisressursside kombinatsiooni korral.

Selles töös saab lihtsamal juhul efektiivsust defineerida, kui väljundi ja sisendi suhet, kuid selle lähenemisega tekivad raskused, kui sisendite ja väljundite arv hakkab kasvama. Näitame seda AS Wendre tootmisliinide näitel. Tabelis 1.1 toome välja liinide materjalide kulud ja toodetud koguste põhjal saadud tulud.

Tabel 1.1. Liinide materjali kulud ja toodetud koguste tulud sadades tuhandetes eurodes

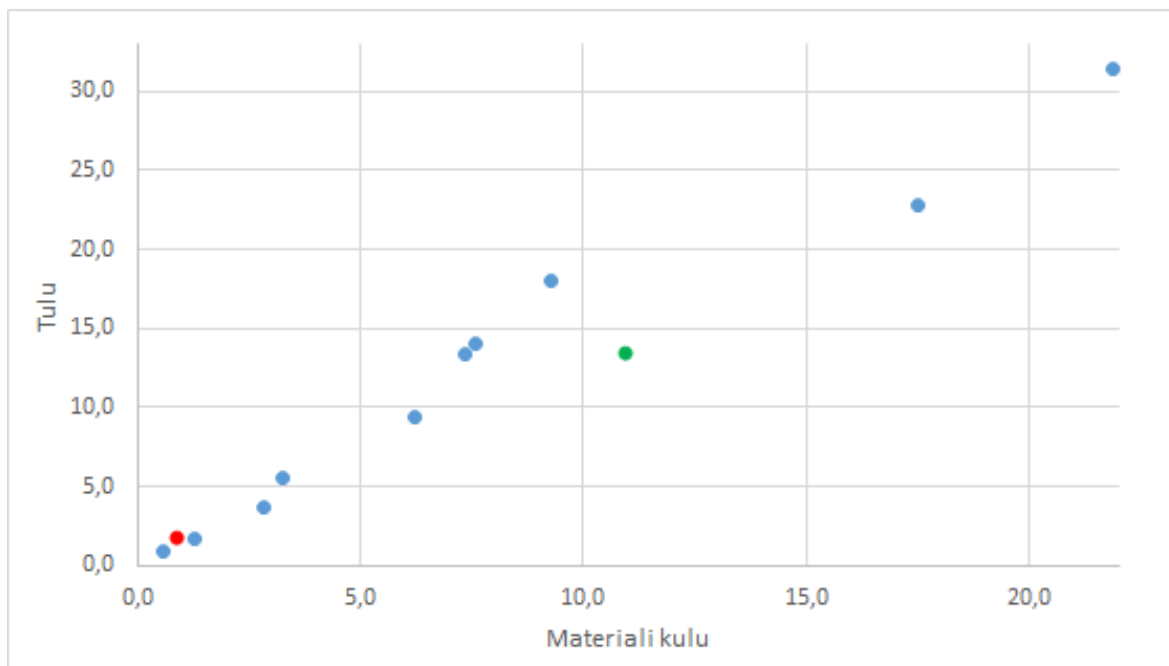
Liinid	Liin 1	Liin 2	Liin 3	Liin 4	Liin 5	Liin 6	Liin 7	Liin 8	Liin 9	Liin 10	Liin 11	Liin 12
Materjali kulu	10,9	6,2	1,3	2,8	0,6	0,9	17,5	21,9	9,3	7,6	3,3	7,4
Tulu	13,5	9,4	1,7	3,7	0,8	1,9	22,8	31,4	18,1	14,0	5,5	13,3
Tulu/Kulu	1,24	1,52	1,33	1,31	1,39	2,12	1,31	1,44	1,95	1,85	1,69	1,81

Allikas: autori koostatud

Tabelis 1.1 on võimalik näha, et kõige parema tulu ja kulu suhtega on liin number 6 suhte väärtusega 2,12. Kõige väiksema suhtega tuli liin number 1, mille tulu oli kõigest 24 protsenti

suurem materjali kuludest. Kuna tulud on üldiselt suuremad materjali kuludest, siis tulid ka kõik tulu ja kulu suhted ühest suuremad.

Graafiliselt saab tulude ja kulude suhet näha joonisel 1.1



Joonis 1.1. Liinide materjali kulud ja toodetud koguste tulud sadades tuhandetes eurodes

Allikas: Autori koostatud

Jooniselt 1.1 on näha, et materjalide kulud on horisontaalteljel ning saadud tulud on vertikaalteljel. Joonisel on kõige efektiivsem liin märgistatud punase värviga ning kõige väiksema efektiivsusega liin tähistatud rohelisega. Samuti on joonisel näha, et materjali kulu kasvab koos tuludega.

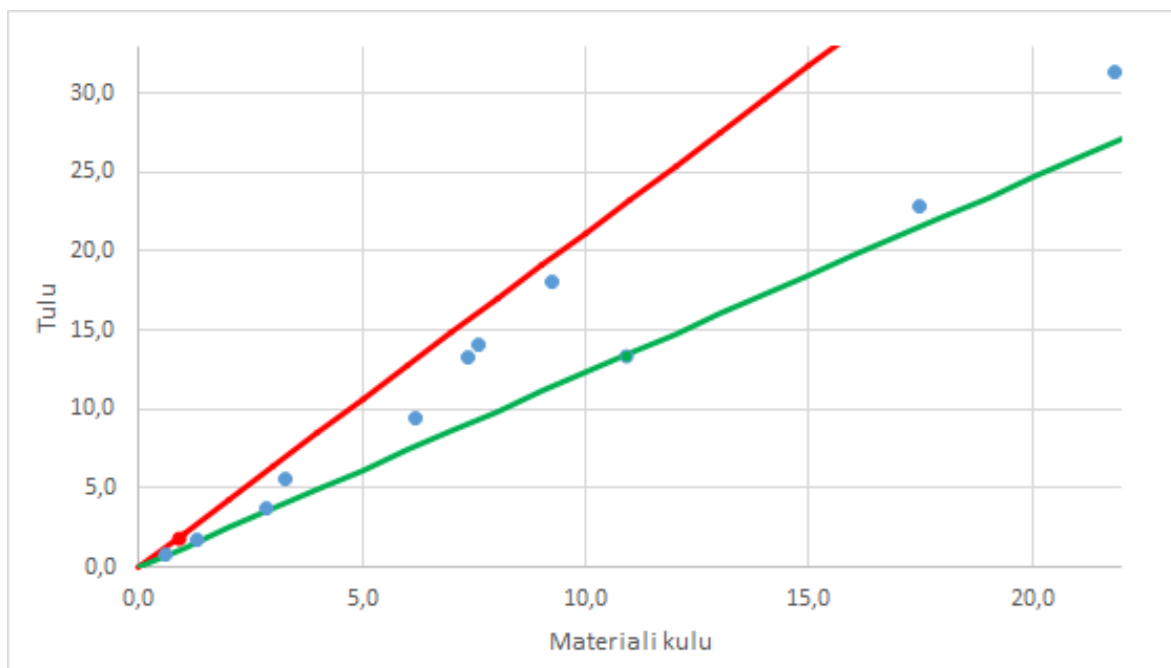
Kuid selle lähenemisega tekivad raskused, kui sisendeid ja väljundeid on rohkem kui üks. Tavaliselt saavad sisenditeks materjalide-, tööjõu-, amortiseerimis- või muud kulud. Väljunditeks saavad toodetud toodete või teenuste kogused, tulu või kasum. Sel juhul saab muutujaid agregeerides teisendada andmeid selliselt, et analüüsiks jääb ainult üks agregeeritud sisend ja ainult üks agregeeritud väljund (näiteks andes näitajatele kaalud), kuid raskeks probleemiks võib saada sobilik kaalude valimine. Sellest probleemist aitab üle andmeraja analüüsi meetod, mida tutvustame järgnevas punktis.

1.2. Andmeraja analüüsi meetod konstantse mastaabiefekti korral

Andmeraja analüüs võimaldab võrrelda sarnaste majandusüksuste tegevuse efektiivsust, võimaldab välja tuua teatava majandusüksuste grupi efektiivselt ja mitteefektiivselt tegutsevad üksused. Samuti näitab mitteefektiivselt tegutsevate üksuste jaoks ära vaadeldava grupi efektiivsed üksused, mille tegevusest eeskuju võttes on võimalik oma töö efektiivseks muuta. Meetodi kirjeldamisel on kasutatud allikaid (Scales 1997), (Cooper et al 2006).

Eristatakse **tehnilist efektiivsust** ja **allokatiivset efektiivsust** (Scales 1997). Selgitame neid mõisteid Cobb-Douglase tootmisfunktsiooni abil. Kui selle funktsiooni järgi toodangut andev ettevõtte peab tootma fikseeritud tootmismahu c , st $Y = c$, siis ettevõtte töötab tehniliselt efektiivselt, kui valib tööjõu ja kapitali väärtuste paarid isokvandilt. Allokatiivselt efektiivselt tegutseb ettevõtte siis kui see lisaks tehnilisele efektiivsusele saavutab tootmismahu c minimaalsete võimalike kuludega. **Kuluefektiivselt** tegutseb ettevõtte siis, kui see on nii tehniliselt kui ka allokatiivselt efektiivne. (Scales 1997)

Oma töös kirjeldame ja hindame vaid tehnilist efektiivsust. Siis sisendid töödeldakse antud tehnoloogiat kasutades väljundiks (tooteks) parimal viisil. Kui on lõplik arv tootmisüksusi, siis nende seast efektiivseima (või efektiivseimate) tootmisüksuste suhteline efektiivsusnäitaja (ehk efektiivsusnäitaja sama grupi teiste tootmisüksustega võrreldes) on alati 1 ehk 100% ehk selle üksuse tehniline efektiivsus on 100%. Kui tootmisüksus ei tegutse parimat praktikast kasutades, siis selle efektiivsust väljendatakse protsendina parimast praktikast. Lihtsal juhul, kui on ainult üks sisend ja üks väljund, saab tehnilise efektiivsuse esitada väljundi ja sisendi suhtena. Kõige efektiivsema üksuse efektiivsusnäitaja on 1 ehk 100%. Kõikide teiste üksuste efektiivsust väljendatakse protsendina parimast üksusest.



Joonis 1.2. Liinide materjalide kulud ja toodetud koguste tulud sadades tuhandetes eurodes ning efektiivsusrajad.

Allikas: Autori koostatud

Vaatleme **konstantse mastaabiefekti** juhtu, st juhtu, kus pole arvestatud analüüsitava tootmisüksuste suurusega. Sellise juhtumi tutvustamiseks kasutame andmeid tabelist 1.1. Nende põhjal teeme joonise ning ühendame parimale liinile vastava punkti koordinaatide alguspunktiga (joonisel 1.2 punasega).

Sarnaselt ühendame ka halvimalle liinile vastava punkti koordinaatide alguspunktiga (joonisel 1.2 rohelisega). Sarnasel viisil saab ühendada ka ülejäänud liinidele vastavad punktid koordinaatide alguspunktiga. Parimale liinile vastavat joont nimetatakse **efektiivsusrajaks**. Sellest tuleneb ka meetodi nimetus: **andmeraja analüüs**. See tähendab, et punasega tähistatud efektiivsusraja justkui hõlmaks ülejäänud sirged ümbrikku. Kõikide nimetatud joonte tõusud vastavad tabelis 1 saadud tulu ja kulu suhtele.

Autor võtab järgnevalt parima liini etaloniks ning jagab kõikide liinide tulu ja kulu suhted etaloniga. Saadud tulemust saab näha tabelist 1.2. Nii jõuame **suhtelise efektiivsuse** mõiste juurde. Tabelist 1.2 on näha, et parima liini suhteliseks efektiivsuseks on 1 ja halvima liini suhteline efektiivsus on 0,58.

Tabel 1.2. Liinide materjalide kulud ja toodetud koguste tulud sadades tuhandetes eurodes, ja efektiivsuse näitaja

Muutuja	Liin 1	Liin 2	Liin 3	Liin 4	Liin 5	Liin 6	Liin 7	Liin 8	Liin 9	Liin 10	Liin 11	Liin 12
Materjali kulu	10,9	6,2	1,3	2,8	0,6	0,9	17,5	21,9	9,3	7,6	3,3	7,4
Tulu	13,5	9,4	1,7	3,7	0,8	1,9	22,8	31,4	18,1	14,0	5,5	13,3
Tulu/kulu	1,23	1,52	1,33	1,31	1,39	2,12	1,31	1,44	1,95	1,85	1,69	1,81
Efektiivsus (suhteline)	0,58	0,72	0,63	0,62	0,66	1	0,62	0,68	0,92	0,87	0,80	0,85

Allikas: autori koostatud

Järgmisena näitab autor andmerajaanalüüsi põhimõtteid juhul, kui on kasutusel kaks sisendit. Tabelis 1.3 on toodud lisaks olemasolevatele andmetele ka rakendatud tööjõud tuhandetes tundides.

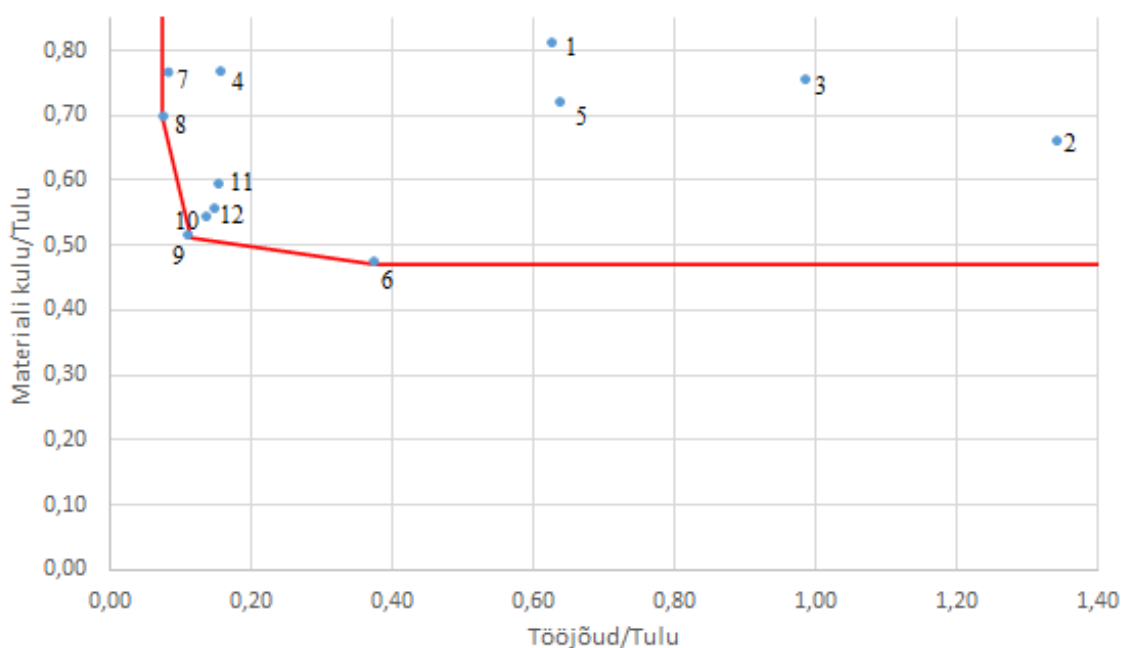
Samuti on tabelis 1.3 toodud ka sisendite ja väljundi suhted. Nende suhete järgi saab määrata igale liinile suhtelist efektiivsust. Selleks, et paremini seletada andmeraja analüüsi sisu on võimalik kasutada geomeetrist lähenemist. Joonisel 1.3 on toodud horisontaalteljel tööjõu ja tulu suhe ning vertikaalteljel on materjali kulu ja tulu suhe.

Tabel 1.3. Liinide materjalide kulud ja toodetud koguste tulud sadades tuhandetes eurodes ning kasutatud tööjõu kogus tuhat tundides

Muutuja	Liin 1	Liin 2	Liin 3	Liin 4	Liin 5	Liin 6	Liin 7	Liin 8	Liin 9	Liin 10	Liin 11	Liin 12
Tööjõud	8,5	12,7	1,7	0,6	0,5	0,7	1,9	2,4	2,0	1,9	0,9	2,0
Materjali kulu	10,9	6,2	1,3	2,8	0,6	0,9	17,5	21,9	9,3	7,6	3,3	7,4
Tulu	13,5	9,4	1,7	3,7	0,8	1,9	22,8	31,4	18,1	14,0	5,5	13,3
Tööjõud/tulu	0,63	1,35	0,99	0,16	0,64	0,38	0,08	0,08	0,11	0,14	0,16	0,15
Materjali kulu/tulu	0,81	0,66	0,75	0,77	0,72	0,47	0,77	0,70	0,51	0,54	0,59	0,55

Allikas: autori koostatud

Jooniselt 1.3 on võimalik näha efektiivsusraja (punasega). Selle efektiivsusraja joonestamiseks ühendatakse punktid, mis on kõige lähemal keskpunktile ja telgedele, murdjoonega ning äärmistest punktidest lähtudes joonestatakse kiired paralleelselt telgedega.



Joonis 1.3. Sisendite kogus ühe väljundi ühiku kohta ja efektiivsusraja

Allikas: autori koostatud

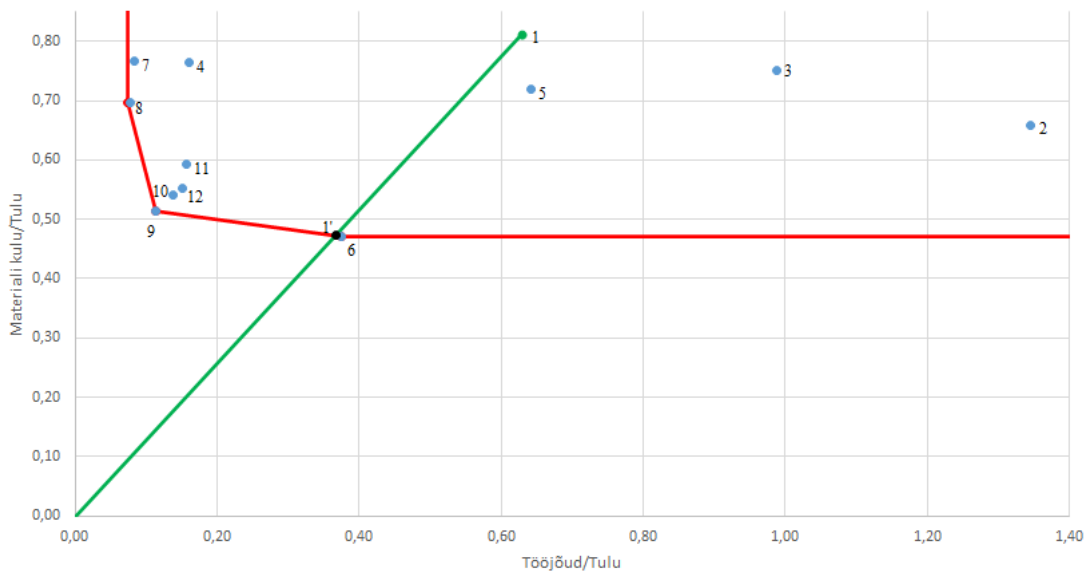
Saadud joon hõlmab kõiki vaadeldavaid punkte ning on sellele justkui „ümbrikuks“. Kasutades efektiivsusraja, saab ka määrata kõikidele liinidele suhtelise efektiivsuse näitaja. Kõik punktid, mis asetsevad efektiivsusrajal, saavad suhtelise efektiivsuse väärtuseks 1. Seega efektiivsed liinid on liinid number 6, 8, 9.

Liinid number 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12 on suhteliselt ebaefektiivsed.

Ebaefektiivsete liinide efektiivsuse arutamist demonstreerime kõigepealt liini number 1 näitel.

Suhtelise efektiivsuse arutamiseks vähendatakse kõigepealt selle sisendeid proportsionaalselt

seni, kuni see jõuab efektiivsusrajani



Joonis 1.4. Sisendite kogus ühe väljundi ühiku kohta ja efektiivsusraja

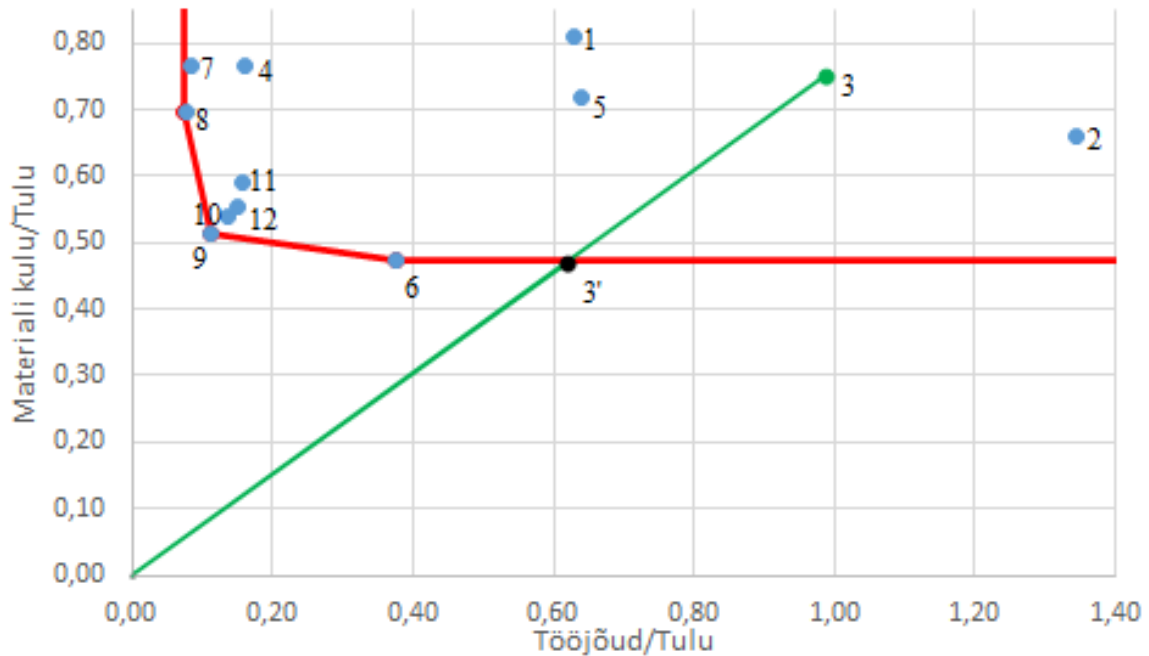
Allikas: autori koostatud

Kui selle liini sisendeid proportsionaalselt vähendada, siis mingi hetk on võimalik jõuda punkti, mis asetseks efektiivsusrajal. Antud näitel vastab see mustale punktile. Esimese liini suhtelise efektiivsuse arutamiseks saab kasutada kahte lõiku. Esimese lõigu otspunktideks on koordinaatide alguspunkt ning must punkt. Teise lõigu otspunktideks oleks samuti koordinaatide alguspunkt ja punkt 1. Suhtelise efektiivsuse arutamiseks jagatakse esimese lõigu pikkus teise lõigu pikkusega.

Antud juhul tuleb kolmanda liini efektiivsuseks $0,36/1,05=0,34$. Efektiivsus 0,34 tähendab seda, et on võimalik vähendada sisendeid väljundit vähendamata 66 protsendi võrra. Selline tulemus võib tuleneda sellest, et liin number 1 kasutab teist tootmisviisi, mis vajab rohkem tööjõudu ja kulutab rohkem materjali või sellel liinil toodetavad tooted on suurema müügihinnaga ning seepärast liini väljund „tulu“ on suhteliselt suurem.

Liini number 1 **referentsgrupi** moodustavad sel juhul punktidele 6 ja 9 vastavad efektiivsusraja liinid. Referentskaalud näitavad kui lähedal on saadud punkt (joonisel 1.4 must punkt) referentsgrupi liinidele. Antud juhul must punkt on väga lähedal liinile 6 ning seepärast kuuenda liini referentskaal (0,99) on tunduvalt suurem liinile 9 vastavast referentskaalust (0,01).

Edasi vaatleme liini 3 suhtelise efektiivsuse leidmist. Selleks vähendatakse kõigepealt selle sisendeid proportsionaalselt seni, kuni ta jõuab efektiivsusrajani. Kirjeldame seda protsessi joonisel 1.5.



Joonis 1.5. Sisendite kogus ühe väljundi ühiku kohta, efektiivsusraja

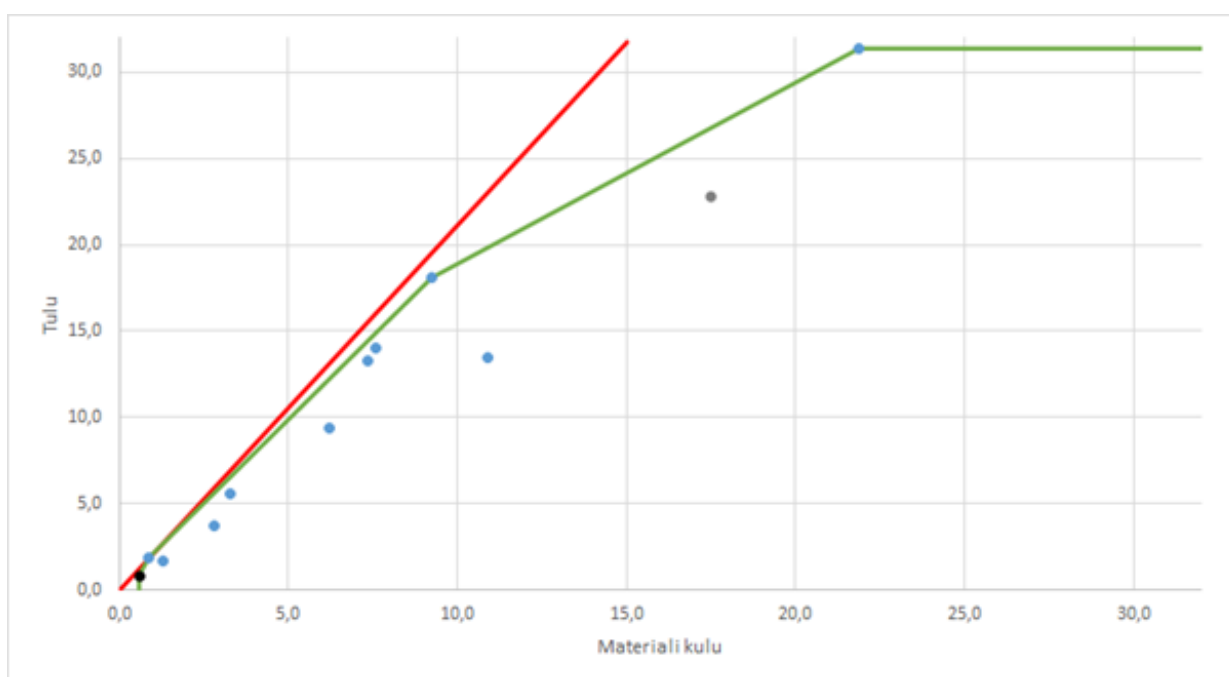
Allikas: autori koostatud

Kui selle liini sisendeid proportsionaalselt vähendada, siis mingi hetk on võimalik jõuda punktini, mis asetseks efektiivsusrajal. Antud näitel vastab see mustale punktile. Kolmanda liini suhtelise efektiivsuse arvutamiseks saab kasutada kahte lõiku. Esimese lõigu otspunktideks on koordinaatide alguspunkt ning must punkt. Teise lõigu koordinaatideks oleks samuti koordinaatide alguspunkt ja punkt 3.. Suhtelise efektiivsuse arvutamiseks jagatakse esimese lõigu pikkus teise lõigu pikkusega.

Antud juhul tuleb kolmanda liini efektiivsuseks $0,78/1,24=0,63$. Liini 3 referentsliin on liin number 6 kaaluga 1. Siiski hüpoteetilise liini, mis asuks seal kus joonisel on must punkt, efektiivsus ei oleks 1, sest selle tööjõu sisendit tulu ühiku kohta oleks võimalik vähendada 0,24 võrra ehk esineb **sisendi ülejääk**. Kõrvaldades sisendi ülejäägi, jõuame liinile 6 vastavasse punkti.

1.3. Andmeraja analüüs muutuva mastaabiefekti korral

Üksuste ebaefektiivsus võib tuleneda ka mastaabiefektist. Seega eristatakse mudeleid konstantse (CRS) ja muutuva (VRS) mastaabiefektiga. Kõigis eelnevates näidetes oli tegu konstantse mastaabiefektiga. Muutuva mastaabiefekti juhtu kirjeldame järgneva näite abil. Selleks kasutame andmeid tabelist 1.1. Lihtsuse mõttes kasutame nüüd ainult ühte sisendit (selleks võtame materjali kulu) ja ühte väljundit (ehk tulu). Joonisel 1.6 esitame materjali kulu horisontaalteljel ja tulu vertikaalteljel. Selle joonisega demonstreerime erinevusi CRS efektiivsusraja (punane joon) ja VRS efektiivsusraja (roheline joon) vahel ehk erinevusi konstantse ja muutuva mastaabiefektidega lähenemises.



Joonis 1.6. VRS ja CRS efektiivsusrajad tabeli 1.1 ühe sisendi (materjali kulu) ja väljundi (tulu) andmetel

Allikas: autori koostatud

CRS efektiivsusraja on sirge, mis läbib punkti suurima väljundi ja sisendi suhtega. VRS efektiivsusraja on murdjoon, mis läbib punkte, mis vastavad liinidele 5, 6, 8 ja 9. Liin number 6 on ainuke liin, mille puhul ei eksisteeri ei CRS ega ka VRS ebaefektiivsus. Tegemist on liiniga, mis toodab tulu optimaalses suuruses. Liinide 5, 8 ja 9 ebaefektiivsus on seotud ainult mastaabiefektiga, st tegemist on CRS ebaefektiivsete tootmisliinidega, kuid VRS efektiivsete liinidega.. Nende puhul ei esine mastaabist sõltumatut ebaefektiivsust ehk VRS ebaefektiivsust. Näiteks on liini number 5 (joonisel 1.6 musta värviga punkt) puhul tegemist kasvava

mastaabiefektiga, sest selle optimaalne suurus on saavutatav materjali kulu suurendamise teel. Liini number 9 puhul on aga tegemist kahaneva mastaabiefektiga, sest selle optimaalne suurus on saavutatav materjali kulu vähendamise teel. Liini number 7 (Joonisel 1.6 halli värviga) ebaefektiivsus CRS eeldusel koosneb nii mastaabiefektist sõltuvast ebaefektiivsusest kui ka mastaabist sõltumatust ebaefektiivsusest.

Andmeraja analüüs on kogunud palju populaarsust, eriti viimastel aastatel. I. Viires toob oma magistritöös järgmised andmed andmerajaanalüüsi kasutusest teadusartiklites:

- 1) 1978 – 1994: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv küllaltki aeglane;
- 2) 1995 – 2003: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv stabiilne, keskmiselt 134 artiklit aastas;
- 3) 2004–2018: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv eksponentsiaalselt suurenev, keskmiselt 680 artiklit aastas. Viimastel aastatel juba tasemel 1000 artiklit aastas. (Viires 2019)

Viimastel aastatel oli ilmunud lisaks ka tootmisefektiivsuse uuringuid. Näiteks saab tuua suhkruroo tootmisefektiivsuse uuringut, kus autor kasutas andmeraja analüüsi (Ullah 2019). Veel üheks näiteks saab tuua farmaatsiatoodangu efektiivsuse optimaalsuse uuringut, kus kasutati andmeraja analüüsi ning tootmisprotsessi simulatsiooni (Habibifar 2019).

Viires (Viires 2019) on juba 2019. aastal maininud, et viimastel aastatel ilmub andmeraja analüüsi kohta umbes 1000 artiklit aastas. Võime nüüd jätkuvalt kinnitada, et ka edaspidi see trend on säilinud ning artikleid, kus kasutatakse andmeraja analüüsi, ilmub väga palju.

Andmeraja analüüsiga oli uuritud ka haiglad. Haiglate puhul sisenditeks võetakse näiteks meditsiinitöötajate arv, haiglaa töös osaleva abipersonali arv ja kogukulude suurus. Väljunditeks on aga näiteks ravijuhtude arv ja haiglas viibimise kestus. Mõned näited sellistest uuringutest näiteks Norra haiglate kohta leiab allikast (Biørn et al. 2003) ning Austria haiglate kohta allikast. (Hofmarcher et al. 2002).

Efektiivsust saab mõõta ka administratiivüksuste ning majanduspoliitika tasemel. Näiteks on võimalik hinnata riikide majanduspoliitikaid efektiivsuse seisukohast (Wu 2014). Hinnatakse ka riikide administratiivseid üksuseid ning eriti populaarne on sellistel uuringutel just andmeraja analüüs. Tabelist 1.4 saab näha mõningaid näiteid selliste uuringute kohta ning mida neis uuringutes oli sisenditeks ja väljunditeks võetud.

Tabel 1.4. Erinevad administratiivüksuste uuringud, kus oli kasutusel andmeraja analüüs

Autor	Uuritavad objektid	Sisendid	Väljundid
Van den et al. (1993)	Belgia administratiivüksused	Kogukulutused	Rahvaarv, pensionäride osakaal, osakaal inimestest, kes elavad madalal elatustasemel, koolide arv, teede kogupikkus
De Borger, Kersterns (1996)	Belgia administratiivüksused	Kogukulutused	Rahvaarv, osakaal inimestest, kes on vanemad, kui 65 aastat, töötute arv, koolide arv, teede kogupikkus
Athanassopoulos, Triantis (1998)	Kreeka administratiivüksused	Kogukulutused	Kodu omavate kodumajapidamiste arv, keskmine pindala, turismi ja tööstuse rajoonide suurused
Ramos, Sousa (1999)	Brasiilia administratiivüksused	Kogukulutused	Kodu omavate inimeste osakaal, majade arv, kus on saadaval puhas vesi, majade arv, kus kogutakse prügi, harimatute inimeste osakaal, koolide arv
Worthington (2000)	Austraalia administratiivüksused	Täiskohaga töötajate arv, finantskulutused	Kogu rahvastik, puhta vee saamise aparaatide arv, maa ja linna teede pikkus
Prieto, Zofio (2001)	Hispaania administratiivüksused	Oodatav eelarve kulutused	Vesi, prügi, teede pikkus
Loikkanen, Susiluoto (2005)	Soome administratiivüksused	Kogukulutused	Lasteaedade arv, hambaravi keskused, pensionäride majade arv, koolide arv, raamatukogude arv, raamatukogus registreeritute arv.
Afonso, Fernandes (2006)	Portugali administratiivüksused	Kulutused per capita	Haridus-, sotsiaalsed- ja kultuurteenuste arv. kanalisatsiooni süsteemi efektiivsus.

Allikas: Kutlar, Bakirci 2012

Hinnata saab ka subjektiivseid väärtusi, võttes arvesse ekspertide hinnanguid. Inimeste ja inimressursside tootlikkuse jaoks on olemas samuti mitmeid erinevaid viise efektiivsuse hindamiseks (Steffy 1988). Steffy uuris ka erinevad turustamisega seotud veebilehti, mis ei olnud rahalises mõttes kasumlikud, ning nende kasulikkus seisnes teistes näitajates. (Serrano-Cinca 2005). Andmeraja analüüsi saab samuti uurida ka haridusasutuste tegevuse hindamiseks. (Thanassoulis 2011)

Praktikas kasutatakse efektiivsuse arvutamiseks lineaarplaneerimise tehnikaid ja meetodeid, mis on kirjeldatud lisas 1.

1.4. Andmeraja ja regressioonanalüüside erinevused

Paljudes uuringutes kasutatakse uurimismeetodina regressioonanalüüsi. Kõige sagedamini võetakse regressioonanalüüsi teostamisel lineaarne mudel ning mudeli parameetrite hindamiseks kasutatakse vähimruutude meetodit. Selle meetodi populaarsus tuleneb sellest, et tulemuste saamiseks pole tavaliselt vaja eriliselt palju teadmisi ning mudeli tulemuste interpreteerimine on samuti suhteliselt lihtne. Efektiivsuse hindamisel tekib aga regressioonanalüüsi kasutades probleem juhul, kui väljundeid on rohkem kui üks. Ühe sõltuva muutuja piirang teeb võimatuks hinnata üksusi, kus on mitu sisendit ja väljundit. Andmeraja analüüs suudab hinnanguid anda just sellistes olukordades.

Nagu varem juba oli mainitud, siis selle töö põhiliseks analüüsimeetodiks on andmeraja analüüs. Esimene analüüs hindab efektiivsust konstantse mastaabiefektiga, muutuva mastaabiefektiga ning võrdleb nende analüüsi tulemusi regressioonanalüüsiga. Regressioonanalüüs võtab sõltuvaks muutujaks tulu, mis on andmeraja analüüsis väljund, ning sõltumatuteks muutujateks materjali kulu ja tööjõu, mis on andmeraja analüüsis sisenditeks. Regressioonanalüüsis kasutatakse parameetrite hindamiseks vähimruutude meetodit. Regressioonanalüüsi kaudu efektiivsuse arvutamine on järgmiseks meetodiks. Liinide andmete põhjal koostatakse mudelid järgmisel kujul

$$y = b + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + u$$

kus

y on tulu,

b on vabaliige,

x_1 on tööjõu kogus,

x_2 on materjali kogus,

a_1 on lisandunud tulu juhul, kui tööjõu kasutamist suurendatakse ühiku võrra,

a_2 on lisandunud tulu juhul, kui materjali kasutamist suurendatakse ühiku võrra,

u on juhuslik element.

Lähtuvalt sellest mudelist leitakse prognoositud tulu antud sisendite juures ning efektiivsuse leidmiseks jagatakse reaalne tulu mudelist saadud tuluga. Seejärel võetakse suurimale suhtele vastav (ehk suurima efektiivsusega) liin etaloniks ning jagatakse kõikide liinide efektiivsused etaloni efektiivsusega.

2. ANDMED

Selles peatükis kirjeldab autor kasutatud andmeid ning nende saamise viise. Autor esitab kasutatavate andmete statistikat ja andmeid illustreerivaid jooniseid. Samuti kirjeldab autor kasutatud meetodeid, regressioonanalüüsi ja andmeraja analüüsi, ning võrdleb nende eeliseid ja puudusi omavahel.

Selles uurimistöös on kõik andmed võetud Wendre AS andmebaasist. Firma soovis, et toodete ja tootmisliinide nimetused ja koodid jääksid konfidentsiaalseks ning seepärast neid kodeeriti (s.t. toode 1, toode 2, liin 1, liin 2...).

2.1. Liinide andmed ja kirjeldav statistika

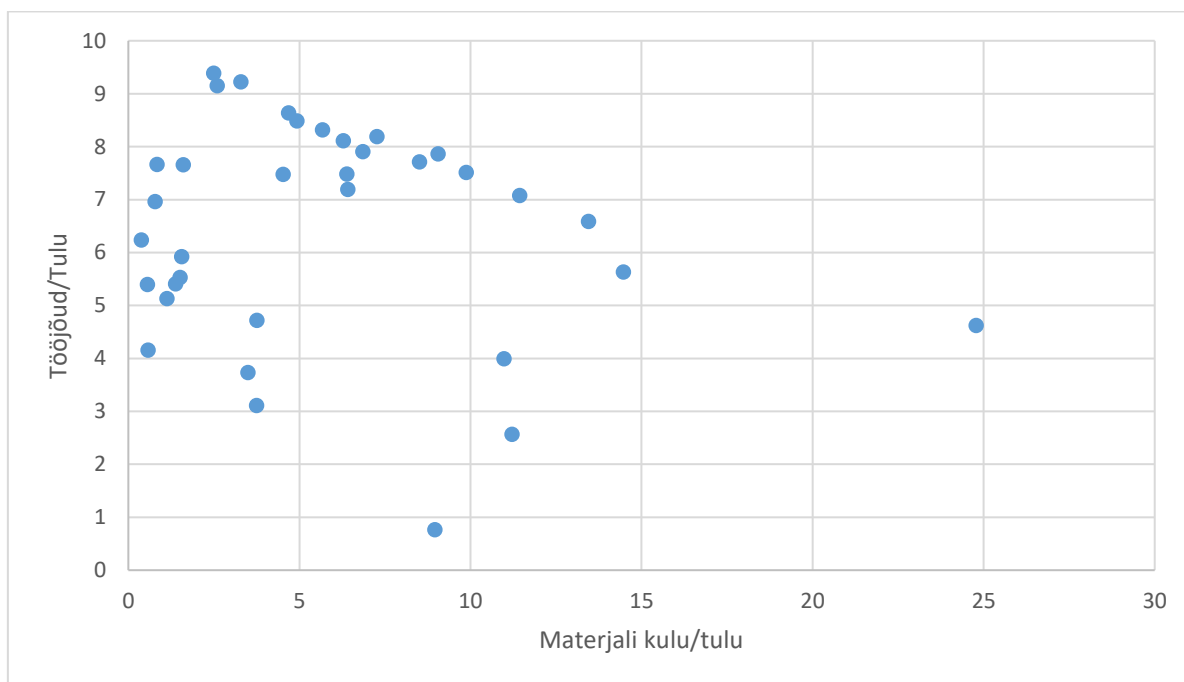
Tootmisliinide analüüsiks on võetud 35 tootmisliini, mis toodavad tekstiilitooteid. Nende sisenditeks on materjali kulu rahaliselt sadades tuhandetes eurodes, tööjõu kulu aga tuhandetes tundides. Väljundiks on toodetud toodete tulu rahaliselt tuhandetes eurodes. Andmed nimetatud sisendite ja väljundi ning sisendite ja väljundi suhete kohta on esitatud Lisas 4 olevas tabelis. Allolevas tabelis 2.1 saab näha kirjeldavat statistikat andmete kohta.

Tabel 2.1. Kirjeldav statistika andmetest, mis on kasutatud liinide analüüsi jaoks

Näitaja	Keskmine	Mediaan	Standardhälve	minimum	maksimum
Tööjõud	4,3	2,3	3,9	0,5	14,6
Materjal	7,4	5,4	6,7	0,2	24,6
Tulu	1096	737,7	875	83,5	3141

Allikas: autori koostatud

Andmed pärinevad aastast 2020. Joonis 2.1 on koostatud Lisas 4 paikneva tabeli viienda ja kuuenda veeru andmete põhjal, kus horisontaalteljel on materjali kulu ja tulu suhe ning vertikaalteljel tööjõu ja tulu suhe. Sellel joonisel on selgelt näha kahte punktide pilve ning ühte eraldi asetsevat punkti.



Joonis 2.1. Sisendite kogus ühe väljundi ühiku kohta Lisas 4 esitatud tabeli andmetel

Allikas: autori koostatud

Esimene pilv asub joonise vasakul pool ning teine pilv joonise ülemises osas. Eraldi asuvale punktile vastavaks liiniks on liin number 35. Jooniselt on näha, et vastav liin kasutab suhteliselt vähe tööjõudu, kuid tarbib rohkem materjali. See võib tuleneda sellest, et liin on rohkem automatiseeritud ning kasutab vähe tööjõudu ning sellest, et tooted, mida sellel liinil tehakse on suurema materjali kuluga ning suurema hinnaga, mis suurenda tulu.

Antud analüüsis tootmisliinide seas olid nii tekke tootvad liinid kui ka patju tootvad liinid. Kui võrrelda omavahel ainult tekiliine, siis erinevused nende vahel on suhteliselt väikesed. Sama võib öelda ka padjaliinide kohta. Kui aga võrrelda omavahel tekiliine ja padjaliine, siis erinevused on pigem suured.

2.2. Töötajate andmed ja kirjeldav statistika

Teiseks analüüsiks hindab autor õmblejate töö efektiivsust. Iga vahetuse vanem on anonüümselt andnud tagasisidet iga töötaja kohta erinevates kategooriates ühest neljani. Kõikidest hinnetest võttis autor kategooria ja töötaja lõikes keskmise. Töötaja nimed olid samuti kodeeritud. Hinnatavad valdkonnad olid:

- 1) Ahelpiste õmblusmasina kasutamise oskus.
- 2) Kandi ja overlok õmblusmasina kasutamise oskus.
- 3) Terepaela-vaheseina õmblusmasina kasutamise oskus.
- 4) Terepaela kandimasina kasutamise oskus.
- 5) Oskus töödelda kummiga või nurgaetiketiga tooteid.
- 6) “Trio/Duo” (mitmekihiliste) tekkide õmblemise oskus.
- 7) Trukimasina kasutamise oskus.
- 8) “Trio/Duo” (mitmekihiliste) ümber pööratavate tekkide õmblemise oskus.
- 9) Parandamise oskus.
- 10) Näidiste tegemise oskus.
- 11) Töö paindlikkus.
- 12) Distsipliin.
- 13) Magamiskottide õmblemise oskus.

Tabelis 2.2 on esitatud kirjeldav statistika selles analüüsis kasutatavate andmete kohta. Tabelist 2.2 on näha, et kõige väiksemad keskmised, mediaan ja maksimum on näidiste tegemisel, magamiskottide tegemisel ja mitmekihiliste ümber pööratavate tekkide õmblemisel. Võib öelda, et need valdkonnad on kõige raskemad AS WENDRE töötajate jaoks. Kandi ja overlok õmblusmasina kasutamise oskus, paindlikkus ja oskus töödelda kummiga või nurga etiketiga tooteid on ettevõtte töövahetuse vanemate hinnangu järgi aga pigem heal tasemel.

Tabel 2.2. Kirjeldav statistika andmetest, mis olid saadaval

Oskus	keskmine	mediaan	standardhälve	miinimum	maksimum
AHELPISTE ÕMBLUSMASIN	2,0	2,0	0,8	1,0	3,7
KANDI/OVERLOK ÕMBLUSMASIN	2,8	2,8	0,7	1,0	4,0
TEREPAELA-VAHESEINA ÕMBLUSMASIN	1,5	1,0	0,8	1,0	3,7
TEREPAELA KANDIMASIN	2,4	2,3	0,8	1,0	4,0
KUMMIGA TOOTED\NURGA ETIKETIGA TOOTED	2,7	2,7	0,7	1,0	3,7
TRIO\DUO ÕMBLEMINE	2,2	2,0	0,6	1,0	3,7
TRUKIMASIN	1,8	1,0	1,1	1,0	4,0
TRIO/DUO ÜMBERPÖÖRATAV	1,4	1,3	0,5	1,0	3,0
PARANDUSJAAM	1,7	1,7	0,7	1,0	4,0
NÄIDISED	1,3	1,0	0,5	1,0	3,0
Paindlikkus	2,7	2,7	0,6	1,3	3,7
Distsipliin	2,6	2,7	0,5	1,0	3,6
Magamiskotid	1,3	1,0	0,8	1,0	4,0

Allikas: autori koostatud

2.3. Andmed tootmisliinide efektiivsuse muutlikkusest 2020. aastal

Kolmandas analüüsis proovib autor hinnata tootmisliinide suhtelise efektiivsuse muutlikkust aastal 2020. Järgnevas tabelis 2.3 on esitatud kirjeldav statistika sisendite ja väljundite kohta.

Tabel 2.3. Tootmisliinide sisendite ja väljundite kirjeldav statistika

Allikas: Autori koostatud

Näitaja	Keskmine	Liinide arv, kus näitaja on suurem nullist	Miinumum	Maksimum
Tööjõud Q1	9,8	27	0,0	35,6
Tööjõud Q2	21,6	28	0,0	73,4
Tööjõud Q3	33,1	28	0,0	109,9
Tööjõud Q4	10,3	33	0,0	62,5
Materjal Q1	14,6	34	0,0	47,0
Materjal Q2	23,4	34	0,0	76,2
Materjal Q3	10,1	35	0,0	43,5
Materjal Q4	18,6	36	0,0	87,5
Tulu Q1	26,6	36	0,0	101,0
Tulu Q2	14,9	35	2,2	51,4
Tulu Q3	23,7	35	0,7	78,7
Tulu Q4	33,1	35	4,2	112,3

Allikas: auroti koostatud

Andmete analüüsimiseks arvutatakse esitatud andmetele tuginedes **Malmquisti indeks** ehk **järelejõudmise kordaja**. (Malmquist 1953)

Malmquisti indeks ehk järelejõudmise kordaja annab hinnangu üksuste efektiivsuse muutumise dünaamikale. Selle eriline omapära on selles, et ta ei vaja sügavat teadmist ressursside kasutuse tehnoloogiast ning ei sõltu hindadest ega teistest näitajatest. See annab võimaluse objektiivselt hinnata efektiivsuse muutlikkust erinevatel üksustel isegi siis, kui väljundite ja sisendite väärtusi on raske hinnata. Malmquisti indeksi arvulise väärtuse saab leida, kui jagada antud perioodi suhtelise efektiivsuse näitaja sama näitajaga eelmisel perioodil.

Näiteks juhul, kui liini suhteline efektiivsus esimeses kvartalis oli 0,5 ning järgmises kvartalis 0,7, siis selle Malmquisti indeks on $0,7 / 0,5 = 1,4$. Malmquisti indeks, mis on suurem ühest, näitab, et liini suhteline efektiivsus on suurenenud.

Andmed koosnevad tootmisliinide materjalikuludest kümnetes tuhandetes eurodes, tööjõust sadades tundides ning müüdüd toodangu tuludest kümnetes tuhandetes eurodes. Nende andmete kohta on kirjeldavat statistikat näha lisa 4.

3. ANALÜÜS JA SELLE TULEMUSED

Selles peatükis esitame analüüside tulemused ning interpreteerime neid. Kirjeldame ja seletame mudelite tulemuste erinevusi. Samuti toome välja analüüside nõrgad kohad ning võimalused nende parandamiseks.

3.1. Tootmisliinide analüüs

Nagu autor varem ka mainis, siis selles töös tehakse mitu erinevat analüüsi ning samuti võrreldakse neid. Andmed sisendite ja väljundi ning sisendite ja väljundi suhete kohta on esitatud Lisas 4 olevas tabelis. Selle tabeli andmetele tuginedes ning Lisas 1 esitatud valemeid ning EXCELI SOLVERIT kasutades on koostatud Lisas 2 paiknev tabel, milles on kõigi 35 liini kohta leitud CRS, VRS ja NIRS efektiivsus, mastaabiefektiivsus, CRS ja VRS referentsgrupid iga liini jaoks ning vastavad referentskaalud. Lisaks on iga liini kohta leitud, kas tegu on optimaalselt töötava, liiga palju töötava või liiga vähe töötava liiniga. Lisatud on ka regressioonanalüüsil saadud väärtused iga liini kohta. Nii CRS kui ka VRS analüüsi korral ei ole tabelis veergu sisendi jäägi kohta, sest ühegi ebaefektiivse liini korral sisendi jääki ei esinenud.

1. Esimene analüüs on näitlik regressioonanalüüs. Sisenditeks ehk regressoriteks on materjali kulu ja kasutatud tööjõud. Väljundiks ehk sõltumatuks muutujaks on toodetud koguste tulu. Mudeli lõppkuju on järgmine:

$$y = 2,296 - 0,161 * x_1 + 1,259 * x_2 + u,$$

kus

y on tulu,

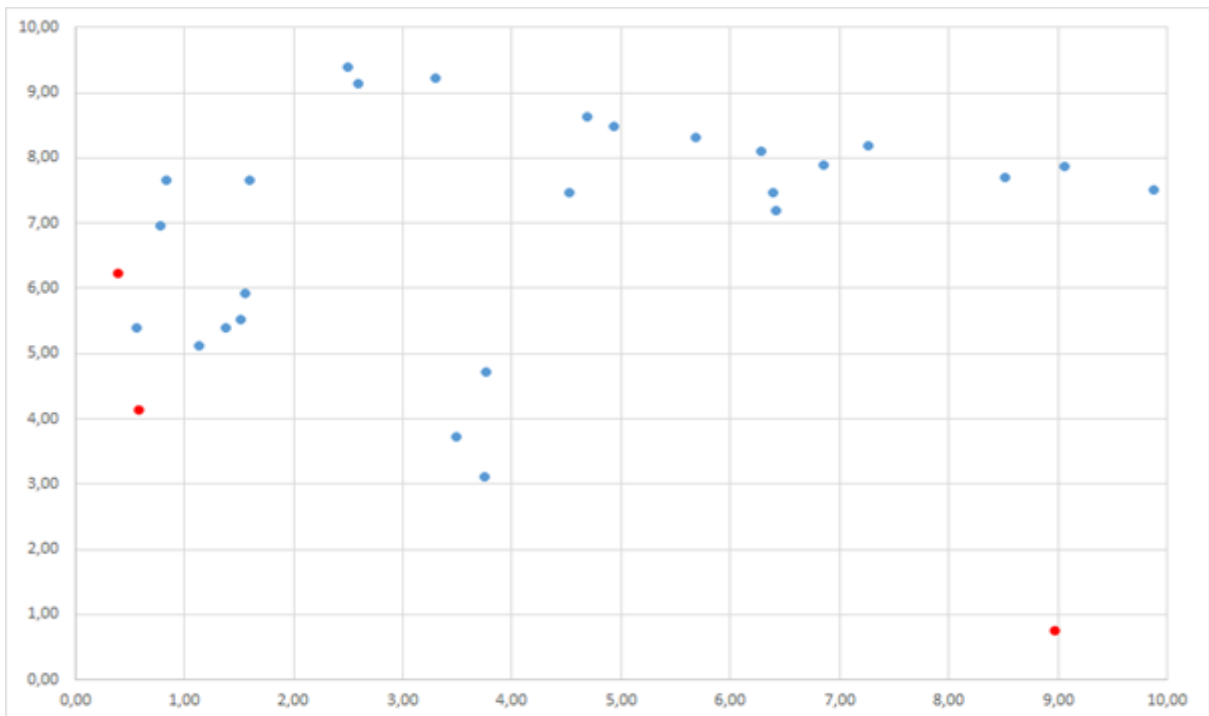
x_1 on kasutatud tööjõud,

x_2 on kasutatud materjalid,

u on juhuslik element.

Selle mudeli järgi on arvatatud efektiivsus, jagades reaalsed toodetud tulud sellega, mida pakub mudel. Võttes parima tulemuse etaloniks, saame kõiki efektiivsuse näitajaid väljendada protsentuaalselt võrreldes etaloniga. Tulemused paiknevad Lisas 2 paikneva tabeli teises veerus.

2. Teiseks analüüsiks on konstantse mastaabiefektiga andmerajanalüüs (CRS). Sarnaslt joonisele 2.1 on ka joonis 3.1 koostatud lisas 4 toodud andmeid kasutades, kuid nüüd on mastaabi suurendatud. Selle tulemusena on küll mõnedele liinidele vastavad punktid jooniselt 3.1 välja jäänud, kuid suurema mastaabi korral saame visuaalselt paremini eristada efektiivseid liine. On näha, et CRS efektiivsusega 1 on ainult kolm liini, joonisel on nad kuvatud punaste täppidega. Nendeks on liinid number 13, 16, 23. Ka Lisas 3 olevast tabelist näeme, et nende liinide CRS efektiivsus on 1. Lisale 3 tuginedes näeme veel, et suurem osa liinidest peab võtma endale eeskujuks liinid number 16 ja 23. Huvitav, et liin number 23, millele vastav punkt jäi joonisel 3.2 ülejäänud liinidele vastavatest punktidest kaugemale, on Lisa 3 andmetel samuti paljude liinide jaoks referentsliiniks. Eraldi asetsev liin, mis vastab punktile 13, on aga tulnud samuti välja efektiivsusega üks. Veel märkame Lisas 3 olevast tabelist, et efektiivsele liinile nr n vastav kaal $w_n = 1$, ülejäänud kaalud on võrdsed nulliga. Mitteefektiivsete liinide korral on referentsgruppi kuuluvate liinide kaalud rangelt nullist suuremad, ülejäänud kaalude väärtused on võrdsed nulliga. Sarnaselt joonisega 1.3 saab punasega märgitud punkte sirglõikudega ühendades ja äärmistest punasega märgitud punktidest telgedega paralleelsete kiirtega jätkates välja joonestada CRS efektiivsusraja.

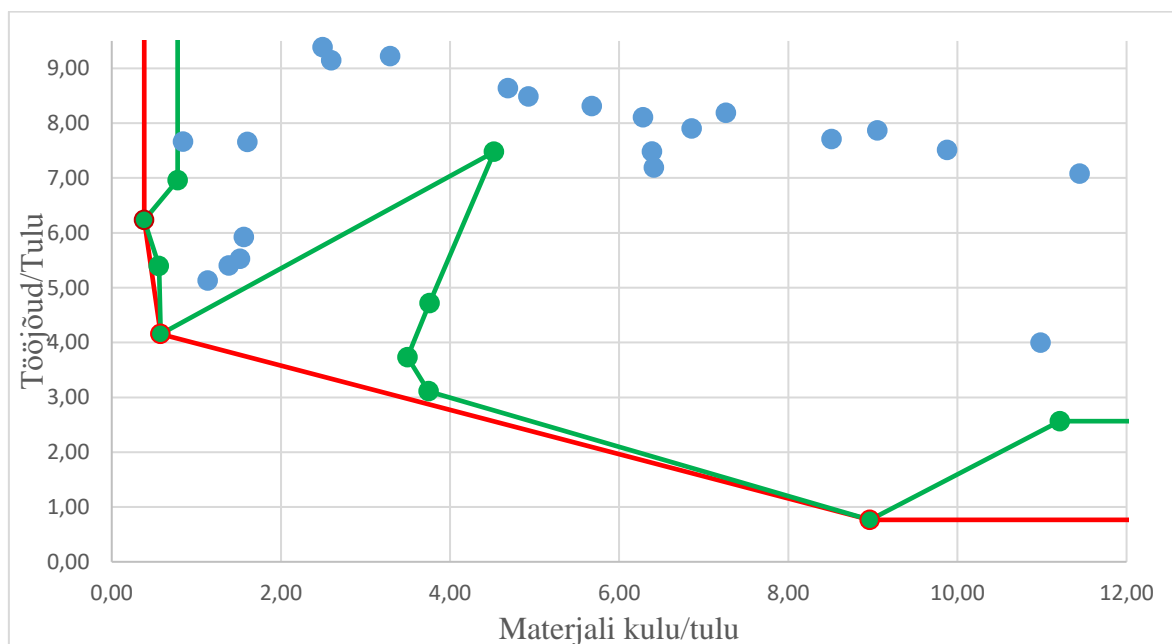


Joonis 3.1. Liinide materjali kulud tulu ühiku kohta ja tööjõud tulu ühiku kohta

Allikas: Autori koostatud

3. Kolmandaks on andmeraja analüüs muutuva mastaabiefektiga. Muutuva mastaabiefektiga mudelis on üksuste efektiivsuse parameetrid tavaliselt vähemalt sama suured kui konstantse mastaabiefektiga mudelites. Joonisel 3.2 on näha kolmanda mudeli tulemused. Joonisel 3.2 on samuti punasega märgitud üksused, mille efektiivsus on 1. Ka joonise 3.2 puhul kasutame joonisega 3.1 sarnaselt joonisega 2.1 võrreldes suurendatud mastaapi selleks, et visuaalselt paremini CRS ja VRS efektiivseid punkte kujutada ning välja joonestada CRS ja VRS efektiivsusrajad. Näiteks saab tuua liin number 1, mille VRS efektiivsus tuli 0,453, mis tähendab, et selle liini sisendeid saab proportsionaalselt vähendada 54,7% ning juhul, kui ei esine sisendite ülejäägi siis liin asuks efektiivsusrajal. Juhul, kui sisendite ülejääk esineb oleks võimalik veel vähendada mõnda sisendit, et saavuta 100% efektiivsust.

Teiste liinide jaoks oli leitud VRS efektiivsused ning referentkaalud ja referents grupp, mis on leitavad lisa 2, kasutades andmeid, mis on toodud lisa 4, ning valemeid, mis on toodud lisa 1.1.



Joonis 3.2. Liinide materjali kulud tulu ühiku kohta ja tööjõud tulu ühiku kohta ning CRS ja VRS efektiivsusraja.

Allikas: Autori koostatud

Jooniselt 3.2 on näha, et efektiivsed liinid asetsevad rohkem nullpunktile lähemal ehk kasutavad sisendeid ülejäänud liinidega võrreldes väiksemas mahus. Punase joonega on kujutatud CRS

efektiivsusraja ning rohelisega VRS efektiivsusraja. Rohelisega on märgistatud punktid, mis asetsevad VRS efektiivsusrajal ning punktid, millel on punane ringjoon ümber, asetsevad ka CRS efektiivsusrajal. Detailsed andmed VRS analüüsi kohta on samuti esitatud Lisas 2 paiknevas tabelis. Sellest tabelist näeme, et VRS analüüsi tulemusena tuli kümme 100-protsendilise efektiivsusega liini. VRS efektiivsed on liinid numbritega 5, 6, 8, 13, 14, 16, 17, 20, 23, 31. Siiski on ka siin populaarseimateks referentsliinideks liinid number 16 ja 23. Liinide efektiivsused on VRS tulemusena vähemalt samad või isegi suuremad, kui CRS analüüsi puhul. VRS analüüsi puhul arvestatakse ka muutuva mastaabiefektiga ning seepärast on VRS analüüsil rohkem 100-protsendilise efektiivsusega liine.

4. Mastaabiefektiivsust saab mõõta CRS efektiivsuse ja VRS efektiivsuse suhtega. Kui see suhe on antud liini jaoks 1, siis selle liini suurus on optimaalne. Kui see suhe on väiksem kui 1, siis see liin töötab optimaalsega võrreldes liiga palju või liiga vähe. Et kindlaks teha, kas liin töötab liiga palju või liiga vähe, tuleb lisaks CRS ja VRS efektiivsusele hinnata veel ka mittekasvava mastaabiefektiga (NIRS) efektiivsust.

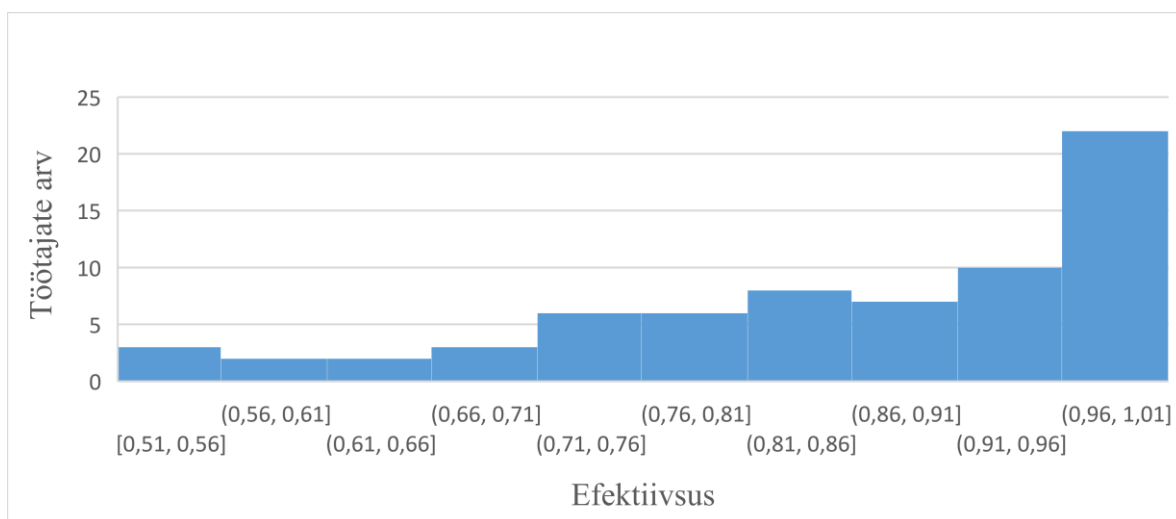
Kui VRS efektiivsus ja NIRS efektiivsus mingi liini korral ühtivad, siis see liin on optimaalsega võrreldes liiga suur. Kui VRS efektiivsus on mingi DMU korral suurem kui NIRS efektiivsus, siis see DMU on optimaalsega võrreldes liiga väike. Lisas 2 on näha, et liiga palju töötasid kokku 16 liini ning 16 liini töötasid liiga vähe. Lisades 1.2 ja 1.3 on toodud lineaarplaneerimise ülesanded, mille lahendamisel saame vastavalt VRS ja NIRS efektiivsused. Nende ülesannete erinevus seisneb selles, et kaalude summa peab VRS efektiivsuse leidmiseks olema võrdne ühega, NIRS efektiivsuse leidmisel ei tohi aga kaalude summa ületada ühte.

Lisas 3 olevast tabelist on näha, et liiga palju töötasid kokku 16 liini ning 16 liini töötasid liiga vähe. Näiteks liinid 1 ja 2 töötasid liiga palju, aga liinid 3 ja 4 töötasid liiga vähe.

3.2. Töötajate analüüs

Teiseks analüüsiks hindab autor õmblejate efektiivsust. Tabelis 3.1 on toodud analüüsi tulemused. Tabelis 3.1 on näha, et 20 töötajat omavad efektiivsus näitajat 1 ehk nende puhul ei esine ebaefektiivsust. See tähendab, et need töötajad kas oskavad vähemalt ühte oskust kõige paremini või omavad kõige soodsamat kombinatsiooni kõigist vajalikest oskustest. Minimaalse efektiivsuse näitajaga on töötaja number 25, kelle efektiivsus on 0,51.

Töötajate efektiivsuse jaotamist saab näha histogrammil (joonis 3.3).



Joonis 3.3. Töötajate efektiivsuse jaotus

Allikas: autori koostatud tabeli 3.1 alusel

Tabel 3.1. Töötajate suhtelised efektiivsused.

Töötaja number	Efektivsuse arv	Töötaja number	Efektivsuse arv	Töötaja number	Efektivsuse arv
1	1,00	24	0,68	47	0,56
2	0,82	25	0,51	48	0,92
3	0,87	26	0,65	49	0,98
4	0,87	27	0,87	50	1,00
5	0,64	28	0,80	51	1,00
6	0,73	29	1,00	52	0,88
7	0,79	30	0,57	53	0,96
8	0,74	31	1,00	54	0,82
9	0,90	32	0,92	55	0,71
10	0,91	33	0,76	56	1,00
11	1,00	34	1,00	57	1,00
12	0,94	35	1,00	58	0,91
13	0,92	36	0,73	59	0,55

14	0,89	37	0,68	60	0,83
15	0,82	38	0,92	61	0,59
16	0,69	39	0,85	62	0,92
17	0,76	40	1,00	63	1,00
18	0,93	41	1,00	64	0,76
19	0,73	42	1,00	65	1,00
20	1,00	43	1,00	66	0,79
21	0,93	44	0,83	67	0,84
22	0,98	45	1,00	68	1,00
23	0,85	46	1,00	69	0,73

Allikas: autori koostatud, lisa 4 põhjal

3.3. Tootmisliinide efektiivsuse muutlikkus 2020. aastal

Antud jaotises uurime efektiivsuse muutlikkust 2020. aastal. Selle jaoks kasutatakse Malmquisti indekseid. Andmeraja analüüsi tulemusi iga kvartali kohta on võimalik näha tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Tootmisliinide suhtelised efektiivsused kvartaalselt.

Liini number	Kvartal 1	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4	Liini number	Kvartal 1	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4
1	0,32	0,30	0,27	0,29	19	0,00	0,00	1,00	0,72
2	0,35	0,40	0,34	0,40	20	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,35	0,39	0,34	0,43	21	0,34	0,48	0,38	0,48
4	0,34	0,37	0,31	0,39	22	1,00	0,93	0,63	0,73
5	0,00	1,00	0,55	0,45	23	0,81	1,00	0,74	0,95
6	0,36	0,42	0,38	0,45	24	0,62	0,89	0,68	0,76
7	0,36	0,43	0,36	0,45	25	0,73	0,92	0,76	0,66
8	0,45	0,33	0,32	0,40	26	0,59	0,85	0,75	0,73
9	0,83	0,96	0,34	0,37	27	0,88	0,77	0,79	0,73
10	0,37	0,42	0,33	0,42	28	0,56	0,91	0,61	0,67

11	0,45	0,49	0,40	0,44	29	0,59	0,67	0,51	1,00
12	0,35	0,43	0,40	0,49	30	0,00	0,00	0,56	0,82
13	1,00	1,00	1,00	1,00	31	0,00	0,52	0,37	0,47
14	0,35	0,41	0,35	0,48	32	0,47	0,52	0,50	0,59
15	0,00	0,42	0,37	0,47	33	0,32	0,38	0,32	0,41
16	0,00	0,75	0,72	0,94	34	0,35	0,37	0,30	0,37
17	0,00	0,44	0,39	0,47	35	0,36	0,43	0,31	0,37
18	0,00	0,40	0,31	0,41	36	1,00	1,00	1,00	0,00

Allikas: autori koostatud

Uurides liini number 1 on näha, et esimeses kvartalis oli tema suhteline efektiivsus 0,32 ning teise kvartali suhteline efektiivsus oli 0,30. See võib tuleneda sellest, et tootmisliin number 1 on teises kvartalis halvemini oma tööd teinud või teised efektiivsed liinid on oma tulemust parandanud rohkem, kui liin number 1. Malmquisti indeks oleks selle puhul $0,30 / 0,32 = 0,93$. See, et indeks on väiksem ühest tähendab, et liini suhteline efektiivsus vähenes. Mõnedel liinidel on suhtelise efektiivsuse näitaja 0, mis tähendab, et selles kvartalis puudusid selles liinis tööd ja tulud. Hea näide suhtelise efektiivsuse muutlikkusest on liin number 5. Selle liini suhteline efektiivsus esimeses kvartalis oli 0 ehk liin seisis. Järgmine kvartal liin oli efektiivsusega 1 ehk liinil puudus ebaefektiivsus. Kolmandas kvartalis tuli liini efektiivsuseks 0,55 ehk sellisel juhul esines liinil ebaefektiivsus. Järgmiselt arvutab autor Malmquisti indeksid igale liinile ning selle tulemust saab näha tabelist 3.3.

Tabel 3.3. Tootmisliinide Malmquisti indeksid

Liini number	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4	Liini number	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4
1	0,93	0,93	1,05	19			0,72
2	1,13	0,85	1,18	20	1,00	1,00	1,00
3	1,12	0,89	1,24	21	1,42	0,78	1,27
4	1,10	0,83	1,26	22	0,93	0,67	1,16
5		0,55	0,83	23	1,23	0,74	1,29
6	1,16	0,90	1,20	24	1,45	0,75	1,12

7	1,18	0,86	1,22	25	1,26	0,83	0,86
8	0,74	0,98	1,24	26	1,44	0,88	0,98
9	1,15	0,35	1,11	27	0,87	1,03	0,92
10	1,12	0,80	1,27	28	1,62	0,67	1,10
11	1,11	0,81	1,11	29	1,14	0,76	1,95
12	1,22	0,93	1,24	30			1,47
13	1,00	1,00	1,00	31		0,72	1,25
14	1,19	0,85	1,39	32	1,12	0,95	1,19
15		0,88	1,26	33	1,16	0,84	1,31
16		0,97	1,30	34	1,08	0,80	1,25
17		0,89	1,22	35	1,19	0,73	1,19
18		0,78	1,34	36	1,00	1,00	0,00

Allikas: autori koostatud

Kahjuks nende tulemuste põhjal ei saa teha järeldust, et tootmisliinide efektiivsus on tõusnud või langenud aastal 2020. Selleks, et seda oleks võimalik teha, paneb autor kõikide liinide tulemused ühe analüüsi sisse. Selle tulemusena peaks tulema ühine efektiivsusraja, tänu millele saab mõõta tootmisliinide efektiivsuse muutlikkust. Selle analüüsi tulemusi on võimalik näha tabelis 3.4.

Uurides liini number 12, saab näha, et selle Malmquisti indeks teises kvartalis oli 1,19 ehk selle suhteline efektiivsus on suurenenud. Järgmine kvartal oli selle liini indeks aga alla ühe (0,93) ehk selle suhteline efektiivsus on vähenenud ning kolmandas kvartalis indeks oli jälle suurem ühest. Liini number 13 suhteline efektiivsusnäitaja oli igas kvartalis 1 ehk ei esinenud ebaefektiivsusi ning seepärast liini number 13 Malmquisti indeks on samuti 1 igas kvartalis.

Tabel 3.4. Liinide suhtelised efektiivsused antud kvartalis

LIIN	Q1	Q2	Q3	Q4	LIIN	Q1	Q2	Q3	Q4
1	0,30	0,27	0,27	0,26	19			1,00	0,53
2	0,33	0,31	0,33	0,30	20	1,00	0,97	1,00	0,84
3	0,32	0,31	0,33	0,32	21	0,31	0,39	0,36	0,36
4	0,31	0,29	0,31	0,29	22	1,00	0,79	0,63	0,53
5		1,00	0,42	0,36	23	0,76	0,77	0,70	0,69

6	0,35	0,34	0,35	0,33	24	0,61	0,72	0,61	0,55
7	0,35	0,34	0,34	0,33	25	0,71	0,78	0,73	0,48
8	0,40	0,28	0,32	0,32	26	0,59	0,72	0,74	0,54
9	0,81	0,96	0,33	0,28	27	0,87	0,63	0,72	0,58
10	0,36	0,33	0,32	0,32	28	0,56	0,76	0,59	0,55
11	0,45	0,40	0,37	0,33	29	0,59	0,60	0,50	0,49
12	0,35	0,35	0,36	0,36	30			0,53	0,61
13	0,99	1,00	0,95	1,00	31		0,42	0,36	0,35
14	0,33	0,33	0,33	0,36	32	0,47	0,47	0,45	0,46
15		0,34	0,34	0,34	33	0,29	0,30	0,31	0,31
16		0,60	0,69	0,70	34	0,31	0,30	0,30	0,29
17		0,36	0,35	0,35	35	0,35	0,34	0,31	0,29
18		0,31	0,30	0,31	36	0,92	0,62	1,00	

Allikas: autori koostatud

Kokkuvõtlikult saab liinide efektiivsuse muutlikkust kirjeldada, võttes keskmise ja mediaani efektiivsusest. Keskmise ja mediaani arvutamisel oli võetud arvesse ainult need liinid, mis on antud perioodil tegutsenud. Tabelis 3.5 on esitatud keskmine efektiivsus ja mediaanefektiivsus. Keskmine efektiivsus on teises kvartalis võrreldes esimesega väiksem.

Tabel 3.5. Liinide efektiivsuse keskmised ja mediaanid

Näitaja	Q1	Q2	Q3	Q4
Keskmine	0,54	0,52	0,49	0,44
Mediaan	0,42	0,39	0,36	0,36

Allikas: autori koostatud tabeli 3.4 alusel

Lähtuvalt sellest analüüsist saab järeldada, et tootmisliinide efektiivsus on aastal 2020 pigem langenud. Efektiivsuse muutlikkust saab seletada aastal 2020 toimunud pandeemia ja COVID-19 levikuga. Selle analüüsi tulemusena saaks otsustada, et toimunud karantiin ning tootmismahu vähendamine esimeses ja teises kvartalis mõjutas positiivselt liinide efektiivsust. Selline olukord

võib tuleneda sellest, et tootmismahu vähendamise nimel saadeti koju vähem produktiivsed töötajad ning kasutati suhteliselt rohkem efektiivsemaid tootmisviise.

KOKKUVÕTE

Selle töö eesmärk oli uurida tootmisüksuste efektiivsust AS Wendre tootmisliinide näitel. Veel üheks eesmärgiks oli võrrelda AS WENDRE töötajate efektiivsust. Selleks on kasutatud põhilise uurimismeetodina andmeraja analüüsi. Samuti on kasutatud regressioonanalüüsi. Tootmisüksuste efektiivsuse muutlikkust on uuritud Malmquisti indeksi abil. Samuti analüüsiti ka töötajate efektiivsust. Autor proovis analüüsida efektiivsust juhul, kus seda on raske teostada seetõttu, et on mitu sisendit ja väljundit. Autor andis ka lühiülevaate efektiivsuse teoreetilisest käsitlusest majandusteoorias ning proovis võrrelda erinevate meetodite lähenemisviise efektiivsuse kirjeldamiseks. Autor kasutas AS Wendre andmeid selleks, et võrrelda kolmekümne viie tootmisliini töö efektiivsust. Samuti kasutas autor andmeid 69 töötaja kohta, kus on hinnatud töötajate oskused 4 palli skaalas.

Mudelite analüüsi tulemusena selgitati välja efektiivsed liinid ning ebaefektiivselt tegutsevate liinide jaoks leidis autor, millistelt efektiivselt tegutsevatelt liinidelt tuleks eeskujuga võtta, et oma töö efektiivsemaks muuta. Autor võrdles erinevatest analüüsides saadud tulemusi ning seletas nende tulemuste erinevusi. Autor tõi välja ka erinevad piirangud ja nõrkused kasutatud meetodite kohta ning võimalused piirangute eiramiseks ja nõrkuste kõrvaldamiseks. Autor leidis, milles seisnevad ebaefektiivsuse juured ning pakkus, mis võib ette võtta, et efektiivsust suurendada.

CRS efektiivseteks liinideks osutusid liinid number 13, 16, 23.. Töötajate seas oli 20 inimest efektiivsusega 1. Tootmisliinide efektiivsuse muutlikuse analüüsist tuli välja, et aasta jooksul on nende efektiivsus langenud eriti 3. ja 4. kvartalis. Autor pakkub, et see võib olla seotud COVID-19 levikuga.

Käesoleva töö eesmärgid said saavutatud. Töös leidis hüpotees kinnitust täpsemalt, et tootmisliinid AS WENDREs on erineva efektiivsusega. Ei leidnud aga kinnitust hüpotees, et paljudel liinidel esines 2020 aastal efektiivsuse tõus ning analüüsi tulemusena tuli välja, et langes ka liinide keskmine efektiivsuse tase.

SUMMARY

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF DIFFERENT DECISION MAKING UNITS USING DEA METHOD ON AS WENDRE PRODUCTION LINES AND EMPLOYEES

Igor Mohhov

The aim of this work was to study the efficiency of production units on the example of AS Wendre production lines. Another goal was to compare the efficiency of AS WENDRE employees. Data envelopment analysis has been used as the main research method. Regression analysis has also been used. The variability in the efficiency of production units has been studied using the Malmquist index. Employee efficiency was also analyzed. The author tried to analyze efficiency in cases where it is difficult to do so because there are several inputs and outputs. The author also gave a brief overview of the theoretical approach to efficiency in economic theory and tried to compare the approaches of different methods to describe efficiency. The author used the data of AS Wendre to compare the work efficiency of 35 production lines. The author also used data on 69 employees, where the skills of employees were assessed on a 4-point scale.

As a result of the analysis of the models, efficient lines were identified and for inefficiently operating lines, the author found which efficiently operating lines should be followed in order to make their work more efficient. The author compared the results obtained from different analyzes and explained the differences between these results. The author also pointed out various limitations and weaknesses of the methods used, as well as possibilities to ignore the limitations and eliminate the weaknesses. The author found out the roots of inefficiency and suggested what could be done to increase efficiency.

The goals of this work were achieved. In the work, the hypothesis was confirmed in more detail that the production lines in AS WENDRE have different efficiencies. However, the hypothesis that many routes had an increase in efficiency in 2020 was not confirmed, and the analysis showed that the average level of efficiency of the lines also decreased.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Afonso, A., Fernandes, S. (2006). Measuring local government spending efficiency: Evidence for the Lisbon region. *Regional Studies*, 40 (1), 39-53.
- Athanassopoulos, A. D., Triantis, K. P. (1998). Assessing aggregate cost efficiency and the related policy implications for Greek local municipalities. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 36 (3), 66-83.
- Australia. Steering Committee for the Review of Commonwealth/State Service Provision, Scales, B. (1997). Data envelopment analysis: a technique for measuring the efficiency of government service delivery. Industry Commission.
- Biørn, E., Hagen, T. P., Iversen, T., Magnussen, J. (2003). The effect of activity-based financing on hospital efficiency: a panel data analysis of DEA efficiency scores 1992–2000. *Health care management science*, 6 (4), 271-283.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. *Springer Science & Business Media*.
- De Borger, B., Kerstens, K. (1996). Cost efficiency of Belgian local governments: A comparative analysis of FDH, DEA, and econometric approaches. *Regional science and urban economics*, 26 (2), 145-170.
- de Sousa, M. D. C. S., Ramos, F. S. (1999). *Measuring public spending efficiency in Brazilian municipalities: A nonparametric approach*. In *Data envelopment analysis in the service sector*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag
- Habibifar, N., Hamid, M., Bastan, M., Azar, A. T. (2019). Performance optimisation of a pharmaceutical production line by integrated simulation and data envelopment analysis. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 14 (4), 360-376.
- Hofmarcher, M. M., Paterson, I., Riedel, M. (2002). Measuring hospital efficiency in Austria—a DEA approach. *Health Care Management Science*, 5 (1), 7-14.
- Kutlar, A., Bakirci, F. (2012). An analysis on the economic effectiveness of municipalities in Turkey. *African journal of marketing management*, 4 (3), 80-98.

- Loikkanen, H.A., Susiluoto, I. (2005) : Cost Efficiency of Finnish Municipalities in Basic Service Provision 1994-2002, European Regional Science Association (ERSA), *45th Congress of the European Regional Science Association: "Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society"*, 23-27 August 2005, Amsterdam, The Netherlands: Louvain-la-Neuve
- Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de estadística*, 4 (2), 209-242.
- Prieto, A. M., Zofío, J. L. (2001). Evaluating effectiveness in public provision of infrastructure and equipment: the case of Spanish municipalities. *Journal of Productivity Analysis*, 15 (1), 41-58.
- Serrano-Cinca, C., Fuertes-Callen, Y., Mar-Molinero, C. (2005). Measuring DEA efficiency in Internet companies. *Decision Support Systems*, 38 (4), 557-573.
- Steffy, B. D., Maurer, S. D. (1988). Conceptualizing and measuring the economic effectiveness of human resource activities. *Academy of Management Review*, 13 (2), 271-286.
- Ullah, A., Silalertruksa, T., Pongpat, P., Gheewala, S. H. (2019). Efficiency analysis of sugarcane production systems in Thailand using data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117877.
- Viires, I. (2019) Mittepameetiline tootmisefektiivsuse hindamine: riikide võrdlevuuring. (Magistritöö) Taltechi majandusteaduskond, Tallinn
- Worthington, A. C. (2000). Cost efficiency in Australian local government: a comparative analysis of mathematical programming and econometrical approaches. *Financial Accountability & Management*, 16 (3), 201-223.
- Wu, H., Shi, Y., Xia, Q., Zhu, W. D. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, conservation and recycling*, 83, 163-175.

LISAD

Lisa 1. Efektiivsuse leidmine andmeraja analüüsi meetodil lineaarplaneerimise vahenditega

Kui andmeraja analüüsi meetodit tuleb rakendada juhtudel, kus on palju erinevaid sisendeid ja väljundeid, siis toimub efektiivsusnäitajate arvutamine lineaarplaneerimise meetoditega erinevaid arvutiprogramme kasutades. Käesolevas lisis esitatavad valemid on kõik võetud allikatest (Scales 1997), (Cooper et al 2006).

Olgu uuritavaid tootmisüksusi N tükki ning omistame igale tootmisüksusele järjekorra numbri n , st, $n = 1, \dots, N$. Tootmisüksusele järjekorra numbriga n vastavat efektiivsust tähistame sümboliga E_n . Eeldame, et iga $n = 1, \dots, N$ korral on K sisendit

$$x_{kn}; k = 1, \dots, K$$

ja L väljundit

$$y_{ln}; l = 1, \dots, L.$$

Lisa 1.1. Lineaarplaneerimise ülesanne CRS puhul

CRS juhul efektiivsuste E_n arvutamiseks tuleb lahendada N lineaarplaneerimise ülesannet, st iga $n = 1, \dots, N$ korral tuleb lahendada ülesanne:

$$\begin{aligned} \min E_n \\ \sum_{j=1}^N w_j y_{lj} &\geq y_{ln}; l = 1, \dots, L \quad (\text{a}) \\ \sum_{j=1}^N w_j x_{kj} &\leq E_n x_{kn}; k = 1, \dots, K \quad (\text{b}) \\ w_j &\geq 0, j = 1, \dots, N \quad (\text{c}) \end{aligned}$$

Siin $w_j \geq 0, j = 1, \dots, N$ tähistavad kaalusid. Paneme tähele, et $\min E_n \leq 1$ iga $n = 1, \dots, N$ korral.

Tõepoolest, võttes

$$w_n = 1 \text{ ja } w_j = 0, \text{ kui } j \neq n,$$

näeme, et antud ülesande kõik võrratused (a), (b) ja (c) on rahuldatud. Seega $E_n = 1$ rahuldab ülesande kõiki võrratusi (a), (b) ja (c).

Kui mingi n väärtuse jaoks $\min E_n = 1$, siis see tähendab, et vastava tootmisüksuse efektiivsus on 1 ehk 100% ning selle efektiivsust suurendada ei saa.

Kui aga mingi n väärtuse jaoks $\min E_n < 1$, siis see tähendab, et selle tootmisüksuse efektiivsus on väiksem kui 1 ehk alla 100% ning selle efektiivsust saab suurendada, vähendades kõiki sisendeid $(1 - E_n) \cdot 100\%$ võrra.

Jaotise algul toodud ülesande lahendamiseks EXCEL-i SOLVER-iga on see otstarbekas teisendada järgmisele kujule kujul:

$$\begin{aligned} & \min E_n \\ & \sum_{j=1}^N w_j y_{lj} \geq y_{ln}; l = 1, \dots, L \\ & \sum_{j=1}^N w_j x_{kj} - E_n x_{kn} \leq 0; k = 1, \dots, K \\ & w_j \geq 0, j = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Lisa 1.2. Lineaarplaneerimise ülesanne VRS puhul

VRS juhul lisandub CRS juhuga võrreldes üks täiendav kitsendus, milleks on tingimus, et kaalude summa on 1. Seega võrreldes CRS ülesandega tuleb VRS puhul efektiivsuste E_n arvutamiseks lahendada N lineaarplaneerimise ülesannet, st iga $n = 1, \dots, N$ korral tuleb lahendada ülesanne:

$$\begin{aligned} & \min E_n \\ & \sum_{j=1}^N w_j y_{lj} \geq y_{ln}; l = 1, \dots, L \\ & \sum_{j=1}^N w_j x_{kj} \leq E_n x_{kn}; k = 1, \dots, K \\ & \sum_{j=1}^N w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, j = 1, \dots, N \end{aligned}$$

EXCEL-i SOLVER-iga lahendamiseks on see otstarbekas esitada kujul:

$$\begin{aligned} & \min E_n \\ & \sum_{j=1}^N w_j y_{lj} \geq y_{ln}; l = 1, \dots, L \\ & \sum_{j=1}^N w_j x_{kj} - E_n x_{kn} \leq 0; k = 1, \dots, K \\ & \sum_{j=1}^N w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, j = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Lisa 1.3. Lineaarplaneerimise ülesanne NIRSI puhul

Võrreldes jaotises Lisa 1.2 esitatud valemitega tuleb kaalude kisenduses võrdusmärk asendada mitterange võrratusega „ \leq “. Järelikult NIRSI efektiivsuse arvutamiseks tuleb lahendada iga $n = 1, \dots, N$ korral ülesanne (esitasime selle kohe EXCELI SOLVER-ga lahendamiseks sobival kujul :

$$\begin{aligned} & \min E_n \\ & \sum_{j=1}^N w_j y_{lj} \geq y_{ln}; l = 1, \dots, L \\ & \sum_{j=1}^N w_j x_{kj} - E_n x_{kn} \leq 0; k = 1, \dots, K \\ & \sum_{j=1}^N w_j \leq 1 \\ & w_j \geq 0, j = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Lisa 2. Liinide analüüsi tulemused

Lii n	Regressi oon	CR S E	VR S E	Mastaa bi	NI RS	Liiga palju/	refere nts	referentsk aalud CRS	refere nts	referentsk aalud VRS
-------	--------------	--------	--------	-----------	-------	--------------	------------	----------------------	------------	----------------------

				efektiivsus		liiga vähe	grupp CRS		grupp VRS	
1	0,34	0,4 12	0,4 53	0,909	0,4 53	liiga palju	16;23	0,45 ; 1,2	16;23 ;31	0,46 ; 0,33 ; 0,21
2	0,43	0,3 65	0,4 65	0,786	0,4 65	liiga palju	16;23	0,2 ; 1,82	16;23 ;31	0,18 ; 0,41 ; 0,41
3	0,17	0,3 81	0,5 32	0,717	0,3 81	liiga vähe	16;23	0,05 ; 0,25	5;20; 23	0,5 ; 0,38 ; 12
4	0,24	0,5 28	0,9 33	0,566	0,5 28	liiga vähe	16;23	0,16 ; 0,04	5;13	0,82 ; 0,18
5	0,1	0,4 49	1	0,449	0,4 49	liiga vähe	16;23	0,03 ; 0,09	5	1
6	0,21	0,7 03	0,9 96	0,706	0,7 03	liiga vähe	16;23	0,06 ; 0,17	5;16; 20	0,58 ; 0,01 ; 0,41
7	0,35	0,6 2	0,6 43	0,964	0,6 43	liiga palju	13;16	0,4 ; 0,72	13;14 ;16	0,21 ; 0,31 ; 48
8	0,39	0,6 75	1	0,675	1,0 00	liiga palju	13;16	0,5 ; 1,02	8	1
9	0,49	0,7 85	0,7 87	0,998	0,7 87	liiga palju	16;23	0,77 ; 0,25	16;23 ;31	0,77 ; 0,23 ; 0,01
10	0,45	0,7 36	0,7 39	0,996	0,7 36	liiga vähe	16;23	0,58 ; 0,28	16;17 ;23	0,56 ; 0,32 ; 0,13
11	0,32	0,6 7	0,7 95	0,843	0,6 70	liiga vähe	16;23	0,23 ; 0,12	5;13; 16	0,78 ; 0,03 ; 0,19
12	0,44	0,7 15	0,7 18	0,995	0,7 15	liiga vähe	16;23	0,55 ; 0,3	16;17 ;23	0,52 ; 0,34 ; 0,14
13	0,4	1	1	1,000	1,0 00	optimaalne	13	1	13	1
14	0,49	0,9 09	1	0,909	1,0 00	liiga palju	13;16	0,6 ; 0,77	14	1
15	0,18	0,4 36	0,6	0,727	0,4 36	liiga vähe	16;23	0,06 ; 0,19	5;16; 20	0,48 ; 0,01 ; 0,52
16	0,6	1	1	1,000	1,0 00	optimaalne	16	1	16	1
17	0,36	0,9 49	1	0,949	0,9 49	liiga vähe	16;23	0,1 ; 0,45	17	1

18	0,31	0,3 81	0,3 89	0,978	0,3 89	liiga palju	16;23	0,2 ; 0,87	16;23 ;31	0,2 ; 0,78 ; 0,02
19	0,26	0,4 22	0,4 43	0,953	0,4 22	liiga vähe	16;23	0,36 ; 0,18	5;16; 20	0,21 ; 0,32 ; 0,47
20	0,28	0,8 53	1	0,853	0,8 53	liiga vähe	16;23	0,08 ; 0,28	20	1
21	0,25	0,4 16	0,4 39	0,947	0,4 16	liiga vähe	16;23	0,27 ; 0,24	5;16; 20	0,05 ; 0,21 ; 0,74
22	0,25	0,4 14	0,4 37	0,946	0,4 14	liiga vähe	16;23	0,16 ; 0,36	16;17 ;20	0,08 ; 0,57 ; 0,36
23	0,46	1	1	1,000	1,0 00	optima alne	23	1	23	1
24	0,31	0,4 3	0,5 81	0,740	0,5 81	liiga palju	16;23	1,11 ; 0,65	14;16	0,93 ; 0,07
25	0,35	0,4 72	0,4 99	0,946	0,4 99	liiga palju	16;23	0,47 ; 0,91	16;23 ;31	0,48 ; 0,4 ; 0,12
26	0,37	0,4 11	0,5 15	0,798	0,5 15	liiga palju	16;23	0,69 ; 2,13	16;31	0,89 ; 0,11
27	0,53	0,5 2	0,6 4	0,813	0,6 40	liiga palju	16;23	0,11 ; 1,41	16;23 ;31	0,09 ; 0,68 ; 0,23
28	0,38	0,3 82	0,4 08	0,936	0,4 08	liiga palju	16;23	0,08 ; 1,03	16;23 ;31	0,08 ; 0,87 ; 0,05
29	0,32	0,4 17	0,4 51	0,925	0,4 51	liiga palju	16;23	0,65 ; 1,09	16;23 ;31	0,67 ; 0,1 ; 0,23
30	0,34	0,4 19	0,6 08	0,689	0,6 08	liiga palju	16;23	0,95 ; 1,73	14;16	0,78 ; 0,22
31	1	0,6 18	1	0,618	1,0 00	liiga palju	16;23	0,11 ; 2,87	31	1
32	0,36	0,3 75	0,4 23	0,886	0,4 23	liiga palju	16;23	0,18 ; 1,22	16;23 ;31	0,18 ; 0,67 ; 0,15
33	0,27	0,3 94	0,4 05	0,973	0,3 94	liiga vähe	16;23	0,16 ; 0,5	16;17 ;23	0,09 ; 0,76 ; 0,16
34	0,22	0,3 94	0,4 49	0,877	0,3 94	liiga vähe	16;23	0,08 ; 0,34	17;20 ;23	0,16 ; 0,79 ; 0,05
35	0,3	0,3	0,3 4	0,883	0,3 00	liiga vähe	16;23	0,02 ; 0,67	5;20; 23	0,26 ; 0,04 ; 0,69

Allikas: autori koostatud

Lisa 3. Töötaja analüüsis kasutatud andmed

T ö ö t a j a n u m b e r	S i s t e m i d	AH ELP IST E ÕM BLU SM ASI N	KAN DI/O VER LOK ÕM BLU SMA SIN	TER EPA ELA - VA HES EIN A ÕM BLU SM ASI N	TE RE PA EL A KA ND IM ASI N	KUMMI GA TOOTE D\NUR GAETI KETIG A TOOTE D	TRI O\ DU O ÕM BL EM IN E	TR UK IM ASI N	TRIO /DUO ÜMB ERP ÖÖR ATA V	PAR AND USJ AA M	N ÄI DI SE D	Pai ndl ikk us	Di sts ipl iin (s pe tsi lu ge mi ne jn e)	sle epi ng bag (m aga mis kot t)
1	1	3,3	3,7	3,7	3,3	3,0	2,7	1,3	2,3	1,7	2,0	2,3	2,7	1,0
2	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	2,0	1,0
3	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	1,0
4	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	1,0
5	1	1,0	2,3	1,0	1,3	2,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	2,3	2,0	1,0
6	1	1,0	2,3	1,0	1,3	2,7	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0
7	1	1,7	2,7	1,0	2,3	2,7	2,0	1,7	1,3	1,7	1,0	2,3	2,7	1,0
8	1	1,7	2,7	2,0	2,7	2,7	2,3	1,0	1,3	1,7	1,0	2,3	2,3	1,0
9	1	3,2	3,6	2,6	3,4	3,2	2,4	1,4	1,8	2,0	1,4	2,8	2,6	2,7
10	1	2,0	3,0	1,3	2,0	3,0	2,3	1,0	1,7	1,7	1,0	3,3	3,0	1,0
11	1	3,2	3,8	3,0	3,6	3,4	2,8	2,4	2,8	1,8	2,4	3,6	3,6	3,0

1 2	1	1,7	3,7	2,0	3,3	3,3	2,0	3,0	1,3	1,0	1,7	3,3	3,0	1,0
1 3	1	2,0	3,7	1,0	2,3	3,3	2,0	1,0	1,0	1,3	1,0	2,7	2,7	1,0
1 4	1	2,0	3,3	1,0	3,0	3,0	2,0	3,3	1,0	1,3	1,3	3,0	2,7	1,0
1 5	1	2,0	3,0	1,3	2,3	3,0	2,3	2,7	1,3	1,3	1,0	2,0	2,0	1,0
1 6	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0
1 7	1	1,3	2,8	1,3	2,8	2,8	1,8	1,8	1,3	1,5	1,0	2,3	2,5	1,0
1 8	1	2,0	3,4	1,2	1,8	2,6	1,8	1,0	1,6	1,6	1,2	3,4	3,0	1,3
1 9	1	1,3	2,7	1,0	2,0	2,7	2,7	1,0	1,3	1,7	1,0	2,0	2,0	1,0
2 0	1	3,3	3,7	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,0	1,3	2,3	3,7	3,3	3,5
2 1	1	2,7	3,7	1,0	3,3	2,3	2,0	1,0	1,3	1,7	1,3	3,3	3,0	1,0
2 2	1	3,0	3,3	1,3	3,3	3,3	3,3	2,0	1,3	1,7	1,0	3,3	3,3	1,0
2 3	1	1,7	3,3	1,3	3,0	2,7	2,0	2,7	1,0	1,3	1,0	2,7	2,7	1,0
2 4	1	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0
2 5	1	1,0	2,0	1,0	1,0	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,7	1,0
2 6	1	1,0	2,0	1,0	1,4	2,0	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,8	1,3
2 7	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	1,0
2 8	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0
2 9	1	3,0	3,7	3,7	3,7	3,3	3,0	4,0	2,7	2,0	1,7	1,7	2,3	1,0

30	1	1,0	2,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0
31	1	3,7	3,0	2,0	2,7	3,0	3,3	1,0	2,0	2,7	2,0	3,3	3,3	4,0
32	1	3,0	3,6	1,8	2,8	3,0	2,6	2,4	1,8	1,4	1,6	3,2	3,0	2,0
33	1	1,0	2,7	1,0	1,3	2,7	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	2,7	2,7	1,0
34	1	3,7	3,7	3,3	3,7	3,7	3,7	4,0	2,3	1,7	1,3	3,0	3,3	1,0
35	1	3,7	3,7	1,3	3,7	3,7	2,7	4,0	1,3	1,7	1,3	3,0	3,3	1,0
36	1	1,0	2,3	1,0	1,3	2,0	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	2,7	2,3	1,0
37	1	1,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	2,5	2,0	1,0
38	1	2,0	2,7	1,3	2,0	2,7	2,3	1,0	1,0	2,3	1,0	3,3	2,7	2,0
39	1	1,6	2,8	1,4	2,8	2,6	2,6	3,4	1,4	1,2	1,0	2,0	2,0	1,0
40	1	1,7	3,7	1,0	3,0	3,7	3,0	3,7	1,0	1,3	1,0	3,3	3,0	1,0
41	1	3,3	3,7	3,3	3,3	3,7	3,3	4,0	2,3	2,3	2,3	3,7	2,7	1,0
42	1	2,6	3,4	1,4	3,2	3,6	2,2	4,0	1,6	2,2	1,0	3,6	2,6	1,0
43	1	1,3	3,3	1,0	2,3	3,7	2,3	1,0	1,3	1,3	1,0	2,3	3,0	1,0
44	1	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	3,0	2,0	1,0
45	1	1,0	2,7	1,0	2,0	2,7	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	3,7	3,0	1,0
46	1	3,3	2,7	1,3	2,0	2,7	2,0	1,0	1,3	1,3	1,0	2,3	2,7	4,0
47	1	1,0	2,0	1,0	1,3	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	2,0	1,0

48	1	2,0	3,7	1,0	3,0	3,3	2,0	1,0	1,3	1,3	1,0	2,7	2,7	1,0
49	1	2,0	3,7	2,3	3,0	3,3	2,7	3,7	1,7	1,7	1,3	2,0	2,7	1,0
50	1	2,7	3,3	1,3	3,0	3,3	2,7	1,0	2,0	2,3	1,0	3,3	3,3	1,0
51	1	3,7	3,7	3,0	3,7	3,7	3,7	4,0	1,3	1,7	2,0	3,7	3,3	1,5
52	1	1,2	2,6	1,0	1,6	2,4	1,8	1,0	1,2	1,8	1,0	3,2	2,8	1,0
53	1	2,4	3,4	1,2	3,2	3,4	2,4	3,0	1,6	2,4	1,0	3,2	2,8	1,0
54	1	1,5	2,0	2,0	1,5	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	2,0	1,0
55	1	1,0	2,5	1,0	2,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	2,5	1,0
56	1	2,7	3,3	3,3	3,7	3,0	3,0	2,0	1,7	2,7	3,0	3,0	3,0	2,0
57	1	3,7	4,0	3,3	4,0	3,7	3,7	3,0	2,7	2,3	2,7	3,7	3,0	4,0
58	1	2,0	3,3	1,0	3,0	3,3	1,7	2,3	1,0	1,3	1,0	3,0	2,3	1,0
59	1	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0
60	1	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	1,0
61	1	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0
62	1	1,5	2,3	1,0	1,8	2,3	1,5	1,0	1,0	3,3	1,0	2,5	2,3	1,0
63	1	2,0	3,0	1,7	2,7	3,0	2,7	3,0	1,3	3,3	1,0	2,7	2,7	1,0
64	1	1,0	2,7	1,0	1,3	2,7	1,7	1,3	1,0	1,3	1,0	2,3	2,7	1,0
65	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,0	3,3	3,3	1,0

6 6	1	2,7	3,0	1,7	2,7	2,7	2,0	1,7	1,7	2,0	1,0	2,7	2, 3	1,0
6 7	1	2,7	3,3	2,0	3,0	2,7	2,7	2,7	1,7	1,3	1,0	1,7	2, 3	1,0
6 8	1	1,0	1,3	1,0	1,0	1,3	1,0	1,0	1,0	4,0	1,0	2,3	2, 3	1,0
6 9	1	1,3	2,3	1,0	2,3	2,7	2,0	1,0	1,0	1,3	1,0	2,3	2, 3	1,0

Allikas: autori koostatud

Lisa 4. Andmed liinide analüüsimise jaoks

Liini number	Tööjõud	Materjal	Tulu	Tööjõud/Tulu	Materjal/Tulu
1	8,45	10,91	13,46	0,628	0,811
2	12,68	6,21	9,43	1,346	0,658
3	1,71	1,30	1,73	0,988	0,751
4	0,59	2,83	3,70	0,160	0,765
5	0,54	0,60	0,84	0,641	0,719
6	0,70	0,88	1,86	0,376	0,472
7	1,92	17,48	22,82	0,084	0,766
8	2,45	21,86	31,41	0,078	0,696
9	2,05	9,26	18,07	0,113	0,513
10	1,94	7,58	14,02	0,139	0,540
11	0,87	3,28	5,54	0,156	0,592
12	2,02	7,36	13,31	0,152	0,553
13	0,63	10,26	16,45	0,038	0,623
14	1,52	14,70	27,25	0,056	0,540
15	1,22	1,43	1,92	0,639	0,748
16	1,31	9,43	22,71	0,058	0,415
17	1,26	1,05	3,37	0,375	0,311
18	6,18	5,36	6,82	0,905	0,786
19	2,16	8,13	8,67	0,249	0,939
20	0,91	0,97	2,60	0,350	0,373
21	2,22	6,22	6,75	0,329	0,922
22	2,61	3,82	4,59	0,568	0,831
23	2,40	0,21	2,68	0,896	0,077
24	6,99	24,62	26,92	0,260	0,915
25	5,93	9,81	13,12	0,452	0,748
26	14,63	16,86	21,33	0,686	0,790
27	6,78	2,47	6,17	1,098	0,399
28	6,79	2,64	4,69	1,447	0,563

29	8,32	15,34	17,76	0,468	0,864
30	12,93	22,27	26,24	0,493	0,849
31	11,40	2,61	10,16	1,121	0,256
32	8,44	5,22	7,38	1,144	0,708
33	3,57	4,03	4,92	0,726	0,819
34	2,32	2,10	2,73	0,851	0,771
35	5,43	1,01	2,19	2,478	0,462

Lisa 5. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Igor Mohhov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Erinevate tootmisüksuste efektiivsuse võrdlemine andmeraja analüüsi meetodil as wendre tootmisliinide ja töötajate näitel mille juhendaja on Ants Aasma

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

14.05.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.