



TAPATURMA
VAKUUTUS
KESKUS

Työpaikkatapaturmien lyhyen aikavälin ennustaminen VAR-mallilla

Tapaturmavakuutuskeskuksen julkaisuja

2/2022

Julkaisija:

Tapaturmavakuutuskeskus (TVK)

www.tvk.fi

Helsinki 2/2022

Kirjoittaja:

Antton Koskinen

Kandidaatintutkielma

Tiedekunta:

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Koulutusohjelma:

Tilastotieteen kandidaattiohjelma

Opintosuunta:

Tilastotiede

Ohjaaja:

Leena Kalliovirta

Helsingin yliopisto

ISSN: 2343-4295

ISBN: 978-952-68664-9-9



Alkusanat



Mika Tynkkynen
johtaja, TVK

Tapaturmavakuutuskeskus (TVK) on tärkeä osa Suomen työtapaturma- ja ammattitautivakuutusjärjestelmää. Meillä Suomessa tämän sosiaalivakuutuksen lajin toimeenpano on uskottu vakuutusyhtiöiden ja -laitosten tehtäväksi, ja tällainen hajauttaminen edellyttää toiminnan koordinoitua ja yhteisistä asioista huolehtimista. Tämä koordinoitutehtävä on TVK:n toiminnan ytimessä, ja tärkeä osa tätä koordinoitua on valtakunnallisten vahinkotilastojen kokoaminen ja niihin perustuva analyysitoiminta: TVK:n tehtävänä on yhdistää tiedot korvaetuista työtapaturmista ja ammattitaukeista ja analysoida tämän datan perusteella kansallisen työturvallisuuden tilannetta.

Jatkuvat ja nopeasti kehittyvät työelämän muutokset heijastuvat välittömästi tai viiveellä myös työturvallisuuteen muuttaen samalla tilannekuva-analyysin muuttujien parametreja ja tuoden yhtälöön jopa aivan uusia muuttujia. Muutosten huomioiminen edellyttää datan jatkuvaa ja nopeaa analysointia. Huolellisella aikasarjojen tutkimisella voimme muodostaa kohtuullisen luotettavan näkymän myös lähitulevaisuuden kehityskuluista, koska näennäisestä nopeudestaan huolimatta työelämä ja sen myötä työturvallisuus eivät muutu draamatisesti kuukaudessa, vuodessa tai parissakaan.

Mainittu huolellinen aikasarjojen tutkiminen edellyttää vahvaa osaamista ja ymmärrystä tutkittavien aineistojen käyttäytymisestä. Toteutuneen kehityksen perusteella laadittavien lähitulevaisuuden näkymien muodostamisessa on kyse aikasarjojen ekstrapoloinnista, mitä ei kuitenkaan pidä ymmärtää synonyymiksi toteutuneen aikasarjan monistamiseksi sellaiseen tulevaisuuteen. Inhimilliselle ajattelulle on luonteenomaista jatkaa trendejä tulevaisuuteen joko lineaarisesti tai havaitun trendin tai havaitun trendin muotoa sellaisenaan monistuen.

Näinkin voimme toki osua oikeaan, samalla tavalla kuin joskus voimme voittaa myös vedon-lyönnissä.

On yleisesti inhimillistä kiinnostua tulevaisuudesta, halu tietää edes jotain tulevasta. Usein tämä kiinnostus selittyy puhtaasti uteliaisuudella, mutta käytännön elämässä taustalla vaikuttaa yleensä myös tarve tehdä tulevaisuuteen suuntautuvia päätöksiä eli suunnitella tulevaa. Näin on myös työturvallisuuden osalta. Meiltä TVK:sta on yli satavuotisen historianamme aikana totuttu saamaan luotettavia tilastoja työtapaturma- ja ammattitautitilanteen kehittymisestä, mutta yhä useammin tilastoista kiinnostuneet haluaisivat myös ”edes jotain arviota” kuluvan vuoden tilanteesta. Kysytäänpä meiltä aika usein myös yleisemmin lähitulevaisuuden näkymistäkin.

Vastataksemme edellä kuvattuihin kysymyksiin tarvitsemme tarpeeseen soveltuvia aikasarja-analyysin menetelmiä. Käsillä olevassa julkaisussa raportoidaan tutkimuksesta, jossa testattiin aikasarja-aineistojen mallinnuksiin kehitetyn Vector Autoregression (VAR) -menetelmän soveltuvuutta työpaikkatapaturmien lukumäärien lyhyen aikavälin ennustamiseen. Edellä kuvatuista tarpeistamme johdettuna tavoitteena oli kehittää menetelmä, jolla voisimme parantaa tulevaa kehitystä koskevien analyysiemme laatua ja hallita luotettavammin arvioihin liittyviä epävarmuuksia. Keskeistä oli myös selvittää mahdollisuuksia hyödyntää muita talouden tilaa kuvaavia aikasarjoja ja ennusteita työpaikkatapaturmien tulevan kehityksen arvioinnissa.

Tutkimus onnistui hyvin ja sitä voi pitää hyvänä avauksena pyrkimyksissämme kehittää entistä tehokkaampia menetelmiä ainutlaatuisen rekisteriaineistomme analysointiin. Tulosten perusteella VAR -menetelmä soveltuu hyvin määriteltyyn tarkoitukseen erityisesti kohdullisen vakaassa toimintaympäristössä ja toimii hyvin jopa ennustejakson aikana tapahtuvien muutoksien tilanteessa, kun käytettävissä on riittävän vakaita ja luotettavia ennusteita muista tilanteen kehittymistä kuvaavista talouden muuttujista. Kaiken kaikkiaan työ lisäsi merkittävästi ymmärrystämme työpaikkatapaturmien ja talouden muuttujien välisestä dynamiikasta ja muodostaa hyvän perustan jatkokehitykselle.

Tutkimuksen suoritti kauppatieteiden kandidaatti Antton Koskinen, joka työskenteli tutkimusta tehdessään TVK:ssa analyytikkona. Tutkimus oli samalla osa Koskisen luonnontieteiden kandidaatin tutkintoa Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa. Lämmin kiitos Antton sinulle tästä rohkeasta työstä ja ladun avaamisesta aikasarjamallinnusten alueelle!

Tiivistelmä

Antton Koskinen: Työpaikkatapaturmien lyhyen aikavälin ennustaminen VAR-mallilla

Helsingin yliopisto

Kandidaatintutkielma, 38 sivua, 29 liitesivua

Marraskuu 2021

Tilastotieteen kandidaattiohjelma

Opintosuunta: Tilastotiede

Ohjaaja: Leena Kalliovirta

Avainsanat: VAR-malli, Työpaikkatapaturmat

Työn tavoitteena oli tutkia, kuinka hyvin VAR (Vector Autoregression) -malli soveltuu työpaikkatapaturmien lyhyen aikavälin (9 kuukautta) ennustamiseen. Soveltuvuutta tarkasteltiin kolmessa eri skenaariossa: ennusteympäristössä ei tapahdu muutoksia edelliseen vuoteen verrattuna, ennusteympäristössä tapahtuu muutoksia juuri ennen ennustejaksoa, sekä tilannetta, jossa ennusteympäristössä tapahtuu muutoksia ennustejakson aikana. Ennusteympäristön muutokset käsittivät vuoden 2020 alussa alkaneen koronapandemian.

Ennusteympäristön muutokset näyttäytyivät tasomuutoksina muuttujien aikasarjassa, josta seuraavia ongelmia pyrittiin lähestymään kahdella tavalla: differensoimalla epästationaariset aikasarjat, sekä mallintamalla tasomuutoksia dummy-muuttujilla. Jälkimmäisessä mallissa huomioitiin myös muuttujien mahdolliset deterministiset trendit. Molemmille lähestymistavoille kehitettiin niitä vastaava VAR-malli, joiden tuloksia verrattiin SARIMA-mallin ennusteesiin.

Mallin muuttujina käytettiin työpaikkatapaturmien kuukausikohtaisia toteutumia, reaalista bruttokansantuotetta, palkansaajien tehtyjä työtunteja, teollisuuden liikevaihtoindeksiä, rakennusalan liikevaihtoindeksiä, sekä palvelualojen liikevaihtoindeksiä. Mallissa käytetyt muuttujat, sekä mallin tuottamat ennusteet olivat kuukausikohtaisia.

VAR-malli, jossa tasomuutoksia mallinnettiin dummy-muuttujilla, suoriutui kokonaisuutena parhaiten muihin malleihin verrattuna. Malli ennusti erinomaisesti työpaikkatapaturmien määrän tilanteessa, jossa ennusteympäristössä ei tapahtunut muutoksia, sekä hyvin tilanteessa, jossa ennusteympäristön muutokset tapahtuvat juuri ennen ennustejaksoa. Ennusteympäristön muutosten tapahtuessa ennustejakson aikana, oli selkeästi havaittavissa, että talouden tilaa kuvaavat muuttujat paransivat ennustetarkkuutta, vaikka ennustetarkkuus heikkenikin merkittävästi muihin ennustejaksoihin nähden. Vaikka VAR-mallien ennustetarkkuus jättikin toivomisen varaa osalle ennustejaksoista tuottivat ne silti SARIMA-malleja parempia ennusteita kaikille ennustejaksoille.

Sisällys

1. Johdanto	6
1.1. Työpaikkatapaturmat.....	7
1.2. Tutkimuskysymykset.....	7
2. Teoria	8
2.1. Stationaarisuus.....	8
2.1.1. Stationaarisuuden testaaminen ja huomiointi mallintamisessa.....	9
2.2. Aikasarjojen kovarianssifunktiot.....	10
2.3. VAR-malli	11
2.3.1. VAR(p)-prosessin ennustaminen	12
2.3.2. VAR(p)-prosessin ennusteväli	13
2.4. SARIMA-malli	13
3. Aineisto	15
3.1. Muuttujat.....	15
3.1.1. Työpaikkatapaturmat	15
3.1.2. Bruttokansantuote.....	18
3.1.3. Palkansaajien tehdyt työtunnit	19
3.1.4. Teollisuuden -, rakentamisen -, sekä palvelualojen liikevaihtoindeksit	20
3.2. Muuttujien käsittely	22
3.3. Muuttujien riippuvuussuhteet	22
3.3.1. Otosautokorrelaatiofunktio	23
3.3.2. Otosristikorrelaatiofunktio	24
4. Mallien estimointi	26
4.1. Parametrien estimointi	26
4.2. VAR-mallin diagnostiikka.....	27
4.2.1. VAR-mallin diagnostiikkatestien tulokset.....	28

5. Mallien ennusteiden tarkastelu.....	29
5.1. Mallien vertailu keskineliövirheiden juurien perusteella	30
5.1.1. Mallin 1 ennusteet	31
5.1.2. Mallin 2 ennusteet	32
5.1.3. Mallin 3 ennusteet	32
5.1.4. Mallin 4 ennusteet	33
6. Lopuksi.....	34
6.1. Onnistuminen.....	34
6.2. Heikkoudet	35
6.3. Kehittäminen.....	36
Lähteet.....	37
Liitteet.....	39

1. Johdanto

Tapaturmavakuutuskeskus (TVK) julkaisee syksyisin arvion koko vuoden sattuneista työpaikkatapaturmista. Tällä hetkellä arvio perustuu kuluvan vuoden tapaturmakertymään sekä asiantuntija-arvioon talouden muutosten vaikutuksista työtapaturmien määrään. Asiantuntija-arvion rinnalle tarvittaisiin kuitenkin myös ennustemalli, joka pystyisi tuottamaan systemaattisia ennusteita kuluvalla vuodelle, myös ennusteympäristön muuttuessa.

Tapaturmien vuosittaisen ennustamisen näkökulmasta ongelmana on, että luotettavia kuukausittaisia työtapaturmalukuja on saatavilla vasta noin kuuden kuukauden viipeellä. Tämä tarkoittaa, että halutessamme ennustaa syksyllä koko vuoden sattuneita tapaturmia voimme hyödyntää ainoastaan vuoden ensimmäisen neljänneksen työtapaturmalukuja.

Suuresta viiveestä johtuen ennusteympäristössä saattaa tapahtua muutoksia, jotka vaikuttavat työtapaturmien määrään poikkeavalla tavalla. Tällöin pelkkien työpaikkatapaturmien historiallisten arvojen käyttäminen ennustemallissa ei tuota luotettavia ennusteita.

Koronapandemia on oivallinen esimerkki ennusteympäristön odottamattomista muutoksista, joiden vaikutuksia on vaikea arvioida edellisten vuosien tai kuluvan vuoden työtapaturmakertymien perusteella. Koronapandemian puhkeamisvuotena (2020) työpaikkatapaturmia sattuihin poikkeuksellisesti yli 16 % vähemmän, kuin edellisenä vuonna (TVK)

Tällaisessa tilanteessa on tarvetta ennustemallille, joka tavoittaa ennusteympäristön muutosten vaikutuksen työpaikkatapaturmien määrään hyödyntämällä talouden tilaa ja kehitystä kuvaavia muuttujia. Tässä tutkimuksessa lähestymme ongelmaa soveltamalla VAR-mallia työpaikkatapaturmien ennustamiseen. VAR-malli on yleisesti käytetty moniulotteinen aikasarjamalli taloudellisten ilmiöiden tarkasteluun, joka mahdollistaa ulkopuolisten muuttujien hyödyntämisen ennustamisessa.

1.1. Työpaikkatapaturmat

Tapaturmavakuutuskeskus (TVK) tilastoi Suomessa sattuneita palkansaajien työpaikkatapaturmia, joita vuonna 2020 ilmeni noin 87 500 (TVK, 2020b).

Työpaikkatapaturmia voidaankin pitää kansantaloudellisesti merkittävänä ilmiönä, joiden vuotuiset kustannukset ovat useita miljardeja euroja (TTL, 2015). Rahallisten menetysten lisäksi työpaikkatapaturmat aiheuttavat suoraan tai välillisesti koko yhteiskuntaa koskettavaa inhimillistä kärsimystä.

Työpaikkatapaturmalla tarkoitetaan työnteon yhteydessä sattunutta ulkoisesta tekijästä johtuvaa äkillistä ja odottamatonta tapahtumaa, joka aiheuttaa työntekijälle vamman tai sairauden. Työntekoon rinnastetaan myös työnantajan asian hoitaminen sekä työtehtävästä johtuva matkustaminen (TVK, 2021a). Tässä tutkimuksessa keskitymme palkansaajille sattuneisiin työpaikkatapaturmiin, johon lukeutuvat 18–74-vuotiaat henkilöt, joilla on työssäkäyntitilaston rekisteritietojen mukaan vuoden viimeisellä viikolla voimassa oleva työsuhde tai työeläkevakuutus (Tilastokeskus, 2021a).

1.2. Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena on kehittää ennustemalli työpaikkatapaturmien kuukausittaisten lukumäärien ennustamiseen. Ongelmaa lähestytään kolmen tutkimuskysymyksen kautta. Ensinnäkin haluamme selvittää kuinka hyvin VAR-malli ylipäättänsä soveltuu työpaikkatapaturmien määrän ennustamiseen. Toiseksi haluamme tietää tuottaako VAR-malli parempia ennusteita työpaikkatapaturmien määrälle kuin SARIMA-malli, jonka ennusteet perustuvat ainoastaan työpaikkatapaturmien historiallisille arvoille. Kolmanneksi haluamme selvittää kuinka SARIMA-malli ja VAR-malli soveltuvat ennustamiseen ennusteympäristön muuttuessa. Tässä tutkimuksessa ennusteympäristön muutos käsittää vuoden 2020 koronapandemian puhkeamisen ja siitä seuranneet muutokset taloudessa.

2. Teoria

Tässä luvussa määrittelemme VAR- ja SARIMA-mallit sekä käsittelemme yleisellä tasolla kyseisten mallien teoreettista viitekehystä. Käymme myös lyhyesti läpi aikasarjojen ennustamisen kannalta keskeisiä stationaarisuuden käsitteitä sekä tapoja kuvata aikasarjojen havaintojen välisiä riippuvuuksia.

2.1. Stationaarisuus

Stationaarisuus on oleellinen käsite VAR- ja SARIMA-mallien yhteydessä sillä niiden mallioletukset perustuvat oletukseen muuttujien stationaarisuudesta. Tässä osiossa käymme läpi stationaarisuuden käsitteen, sekä joitakin tapoja testata ja huomioida stationaarisuus mallintamisessa.

Tarkastellaan nyt moniulotteista aikasarjaa $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})$, $t = 1, \dots, T$, jossa on T havaintojen lukumäärä ja n muuttujien määrä. Aikasarja y_t on heikosti stationaarinen, jos sen odotusarvo ja autokovarianssit pysyvät vakioina ajankohdasta riippumatta. Tällöin

$$E[y_t] = \mu \text{ ja } \text{Cov}(y_t, y_{t+k}) = E[(y_t - E[y_t])(y_{t+k} - E[y_{t+k}])] = \Gamma_k, (t, k \in \mathbb{Z}). \quad (1)$$

Heikko stationaarisuus ei kuitenkaan riitä aikasarjamallien tilastolliseen analysointiin, sillä se ei yksistään mahdollista uskottavuusfunktion muodostamista eikä estimaattorien ja testisuureiden jakaumien tutkimista (Saikkonen, 2011, s. 4). Tämän vuoksi tarvitsemme vahvan stationaarisuuden määritelmän. Stokastinen prosessi y_t ($n \times 1$) on vahvasti stationaarinen, jos

$$P\{y_{t_1} \in A_1, \dots, y_{t_m} \in A_m\} = P\{y_{t_1+k} \in A_1, \dots, y_{t_m+k} \in A_m\}, (k \in \mathbb{Z}),$$

kun $m \geq 1$ ja $A_i = \mathbb{R}^n$. Yhtälössä P kuvaa todennäköisyyttä, jolloin voimme määritelmän perusteella todeta, että stationaarisen prosessin todennäköisyysstrukturi pysyy ajan suhteen vakiona (Saikkonen, 2011, s. 4). Stationaarisuuden määritelmä on vastaava yksiulotteisten aikasarjojen tapauksessa jolloin $n = 1$.

Koska odotusarvo ja varianssi määrittelevät normaalijakauman, seuraa heikosta stationaarisuudesta vahva stationaarisuus, mikäli kyseessä on normaalin prosessi. Normaalissa prosessissa virhetermien jakauma noudattaa normaalijakaumaa. Kyseinen oletus tehdään myös VAR- ja SARIMA-malleissa.

2.1.1. Stationaarisuuden testaaminen ja huomiointi mallintamisessa

VAR-mallien estimointiteoria olettaa, että aikasarja on stationaarinen, sillä kuten aiemmin todettiin, parametriestimaattien luotettavuus perustuu aikasarjan stationaarisuuteen.

Aikasarjojen stationaarisuutta voidaan testata mm. erilaisilla yksikköjuuritestillä. Mikäli autoregressiivisessä aikasarjassa on yksikköjuuri, on kyseinen aikasarja epästationaarinen. Tässä tutkimuksessa yksikköjuuren olemassaoloa testattiin laajennetulla Dickeyn ja Fullerin testillä (ADF-testi). ADF-testillä voimme myös huomioida aineistossa mahdollisesti olevan deterministisen trendin vaikutuksen stationaarisuuteen.

Osa epästationaarista prosesseista on mahdollista muuntaa stationaariseksi esimerkiksi differensoimalla tai mallintamalla aineiston deterministisen trendi. Aikasarjan differensoinnilla voidaan eliminoida näennäisregression riski, mutta samalla kuitenkin menetetään tietoa muuttujien mahdollisista tasomuutoksista. Tässä johtuen estimoinnissa kaksi VAR-mallia, joista toisessa stationaarisuutta lähestytään differensoimalla epästationaariset muuttujat ja toisessa mallintamalla muuttujien mahdolliset deterministiset trendit.

On mahdollista, että aikasarjassa esiintyvistä tasomuutoksista johtuen ADF-testi hylkää muuten stationaarisen aikasarjan. Tasomuutoksilla tarkoitetaan merkittäviä ja äkillisiä muutoksia aikasarjassa. Tasomuutosten aikana aikasarja käyttäytyy epätyypillisesti, jolloin tasomuutosten aikaisten havaintojen pohjalta lasketut parametriestimaatit ja tilastolliset ominaisuudet eivät välttämättä ole vertailukelpoisia aikasarjan muiden havaintojen kanssa. Tästä johtuen kontrolloimme tasomuutoksia dummy-muuttujilla, joiden ajallinen sijainti määrittää työpaikkatapaturmissa tapahtuvien muutosten suhteen. Tasomuutokset huomioidaan asettamalla dummy-muuttuja ajanjaksolle, jolla tasomuutos esiintyy työpaikkatapaturmien aikasarjassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mallin muiden muuttujien reagointi tasomuutosten taustalla oleviin ilmiöihin ei välttämättä täysin vastaa dummy-muuttujien ajankohtaa.

2.2. Aikasarjojen kovarianssifunktiot

Aikasarjojen kovarianssifunktiot ovat hyödyllisiä aikasarjan rakenteen, stationaarisuuden sekä estimoidun mallin virhetermien tarkastelussa. Tässä osiossa määrittelemme aikasarjojen otosautokorrelaatiofunktion ja otosristikorrelaatiofunktion.

Otosautokorrelaatiofunktio kuvaa muuttujan havaintojen riippuvuutta muuttujan aiemmista havainnoista. Otosristikorrelaatiofunktio muistuttaa otosautokorrelaatiofunktiota, mutta aikasarjan omien viipeiden sijaan tarkastelemme kahta erillistä aikasarjaa ja niiden viipeiden riippuvuutta toisistaan.

Ennen otosautokorrelaatiofunktion ja otosristikorrelaatiofunktion tarkastelua määrittelemme otosautokovarianssifunktion prosessille $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})$, $t = 1, \dots, T$, seuraavasti

$$C_k = (T - k)^{-1} \sum_{t=1}^{T-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})'.$$

Yllä on määritelty matriisi $C_k = [c_{ab,k}]$ ($a, b = 1, \dots, n$), missä n on vektorin y_t dimensio, $\bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T y_i$ ja k laskettavien otosautokovarianssien määrä (Saikkonen, 2011, s. 18).

Yhden muuttujan tapauksessa otoskovarianssifunktiota merkitään $c_{ab,k} = c_{a,k}$, kun $a = b$, jolloin voimme määritellä otosautokorrelaatiofunktion prosessille y_{at} seuraavasti

$$\rho_{a,k} = \frac{c_{a,k}}{c_{a,0}}, a = 1, \dots, n.$$

Ristikorrelaatiofunktio voidaan nyt otoskovarianssifunktion avulla määritellä prosessien y_{at} ja y_{bt} välille seuraavasti

$$\rho_{ab,k} = \frac{c_{ab,k}}{\sqrt{c_{a,0}c_{b,0}}}, a, b = 1, \dots, n.$$

(Saikkonen, 2011, s. 20)

Tutkimuksessa otosautokorrelaatiofunktioita käytetään aikasarjojen kausittaisuuden havaitsemiseen ja estimoidun mallin virhetermien tarkasteluun sillä, kuten myöhemmin tulemme huomaamaan, VAR-mallin estimointiteoria olettaa virhetermien olevan

riippumattomia toisistaan. Kausittaisuudella tarkoitetaan aikasarjassa esiintyvää säännöllistä vaihtelua, joka toistuu tietyn ajanjakson välein. Kausittaisuus ilmenee otosautokorrelaatiofunktion kuvaajassa syklisinä piikkeinä. Mikäli kausittaisuutta ei kontrolloida vaikeuttaa se aikasarjoissa tapahtuvien muutosten havaitsemista ja tilastollisten ominaisuuksien kuten keskiarvon ja varianssin tulkintaa. Tästä johtuen kontrolloimme kausittaisuutta dummy-muuttujilla.

Ristikorrelaatiofunktion avulla voimme tarkastella muuttujien välistä riippuvuutta, vaikka riippuvuus ilmenisikin viiveellä. Ristikorrelaatiofunktio on hyödyllinen apuväline mallin muuttujien valinnassa, sillä mikäli muuttujalla ei havaita riippuvuussuhdetta mallin muiden muuttujien kanssa, on epätodennäköistä, että muuttuja parantaisi ennustemallin tarkkuutta. Ristikorrelaatiofunktioita hyödynnetään myös VAR-mallin asteen valinnassa, jolloin hylkäämme mallit, joissa työpaikkatapaturmien ja mallin muiden muuttujien virhetermien välillä ilmenee voimakasta ristikorrelaatiota.

2.3. VAR-malli

Ennen VAR-malleihin syventymistä määrittelemme yksiulotteisen autoregressiivisen prosessin, joka on VAR-mallin erikoistapaus. Astetta p olevan yksiulotteisen autoregressiivisen prosessin eli AR(p)-mallin lähtökohtana on yhtälö

$$y_t = d + a_1 y_{t-1} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \text{nid}(0, \sigma^2) \quad (t \in \mathbb{Z}), \text{ (kaava 1)}$$

jossa virhetermit ε_t , $t = 1, \dots, T$, oletetaan normaalijakautuneiksi ja toisistaan riippumattomiksi, jota lyhenne *nid* kuvaa. Yhtälöstä nähdään, että selitettävän muuttujan y_t , $t = 1, \dots, T$, arvo ajankohtana t riippuu lineaarisesti sen omista viipymistä $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$, virhetermistä ε_t ja mahdollisesta vakioista d . AR(1) -mallin tapauksessa nähdään, että mallia kuvaava yhtälö on täsmälleen sama kuin lineaarisen mallin yhtälö. Edelleen myös VAR-malli voidaan ajatella olevan moniulotteisten lineaaristen mallien yleistys, kuten seuraavaksi huomataan.

Moniulotteisessa tapauksessa, puhutaan VAR(p)-mallista, jolloin $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})$. VAR(p)-mallia kuvaa yhtälö

$$y_t = B D_t + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \text{nid}(0, \Sigma) \quad (t, p \in \mathbb{Z}), \text{ (kaava 2)}$$

missä Σ on virhetermien kovarianssimatriisi, joka oletetaan positiivisesti definitiksi. Matriisi D_t sisältää mallin vakio-termit, trenditermin ja dummy-muuttujat, joiden kerrointermit matriisi B puolestaan sisältää. Matriisit $A_1, \dots, A_p$ ovat $n \times n$ kerroinmatriiseja, jossa p on VAR-mallin aste, ja määrittää kuinka monta y_t :n viivettä mallissa on mukana.

Matriisit $A_1, \dots, A_p$ kuvaavat mallin muuttujien keskinäisiä dynaamisia suhteita, jolloin moniulotteisessa tapauksessa voidaan tarkastella myös muuttujien välisiä viivästettyjä riippuvuuksia kuten esimerkiksi sitä, miten muuttuja y_{2t} vaikuttaa muuttujan y_{1t} tulevaan kehitykseen ja miten muuttuja y_{1t} vaikuttaa muuttujan y_{2t} tulevaan kehitykseen (Saikkonen, 2011, s. 7)

VAR(p)-malli voidaan aina esittää VAR(1)-mallina sopivalla muuttujien valinnalla:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p+1} \end{bmatrix}_{np \times 1} = \begin{bmatrix} B & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{np \times np} \begin{bmatrix} D_t \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{np \times 1} + \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_p \\ I_n & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & I_n & 0 \end{bmatrix}_{np \times np} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \vdots \\ y_{t-p} \end{bmatrix}_{np \times 1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{np \times 1}$$

$$= CF_t + AY_{t-1} + \eta, \eta \sim N(0, \Omega),$$

missä $\Omega = \text{diag}(\Sigma, 0, \dots, 0)$ on singulaarinen kovarianssimatriisi.

Ennustamisen kannalta on huomioitava, että ennusteet lasketaan estimoitujen parametrien avulla, sillä mallin parametrit ovat tuntemattomia. VAR-mallien ennustaminen tapahtuu edellä (kaava 2) esitetyn malliyhtälön perusteella, jossa matriisit $A_1, \dots, A_p$ ja B sisältävät nyt parametrien estimaatit. VAR-mallin ehdolliseen odotusarvoon perustava ennuste on

$$E_t(y_{t+h}) = BE(D_t) + A_1 E_t(y_{t+h+1}) + \dots + A_p E_t(y_{t+h-p}) + E_t(\varepsilon_{t+h})$$

$$= BD_t + A_1 y_{t+h+1} + \dots + A_p y_{t+h-p},$$

missä h on ennusteperiodien määrä. Ennusteelle saadaan vaihtoehtoinen muotoilu

$$y_t(h) = BD_t + A_1 y_t(h-1) + \dots + A_p y_t(h-p),$$

kun $y_t(h-j) = y_{t+h-j}$ prosessin havaitun arvon ollessa tiedossa ajankohtana t ja $y_t(h-j) = E_t(y_{t+h-j})$ prosessin havaitun arvon ollessa tuntematon, olettaen $h \leq j$ (Saikkonen, 2011, s. 14).

2.3.2. VAR(p)-prosessin ennusteväli

Kaikkiin ennusteisiin liittyy epävarmuutta, jonka hahmottaminen on oleellista ennusteiden luotettavuuden tulkinnessa. Tästä johtuen haluamme arvioida välin, jolle tulevat havainnot asettuvat tietyllä todennäköisyydellä. Kyseistä väliä kutsutaan ennusteväliksi, jonka käyttämisen mahdollistaa VAR-mallin mallioletuksiin sisältyvä oletus virhetermien normaaliudesta. VAR-mallin ennusteväli voidaan esittää seuraavasti

$$y_{t+h} - y_t(h) \sim N\left(0, \sum_{j=0}^{h-1} \Psi_j \Omega \Psi_j^T\right),$$

missä $\Psi_j = JA^j J^T$, kun $J = [I_n : 0 : \dots : 0]$ ($n \times np$). Prosessin i :nneen komponentin varianssi $\sigma_i^2(h)$ saadaan matriisin $\sum_{j=0}^{h-1} \Psi_j \Omega \Psi_j^T$ i :nnestä diagonaalialkiosta. Koska virhetermien oletetaan olevan multinormaalijakautuneita ja niiden odotusarvon olevan nolla niin 95 % ennusteväliksi saadaan nyt

$$y_{i,t}(h) - 1.96\sigma_i(h) \leq y_{i,t+h} \leq y_{i,t}(h) + 1.96\sigma_i(h).$$

Matriisista $\sum_{j=0}^{h-1} \Psi_j \Omega \Psi_j^T$ näemme, että ennusteväli kasvaa mitä pidemmälle meneviä ennusteita estimoidaan (Saikkonen, 2011, s. 15).

2.4. SARIMA-malli

Tarkastelemme vielä yksiulotteista SARIMA (Seasonal Autoregressive Moving Average) -mallia. SARIMA-malli huomioi aikasarjan kausittaisuuden, jonka lisäksi mallissa on liukuva keskiarvo (MA) osa, joka muodostetaan mallin virhetermien avulla. Koska SARIMA-malli on yksiulotteinen niin, sen ennustamat arvot riippuvat yksinomaan yhden muuttujan menneistä arvoista sekä virhetermistä.

SARIMA-malli huomioi kausittaisuuden kertomalla kausittaisen MA-prosessin ja ei-kausittaisen MA-prosessin, sekä kausittaisen AR-prosessin ja ei-kausittaisen AR-prosessin keskenään. SARIMA-mallissa oletetaan, VAR-mallin tapaan, että virhetermit ε_t , $t = 1, \dots, T$, ovat normaalijakautuneita, toisistaan riippumattomia ja että niiden odotusarvo on nolla. VAR-mallista poiketen ε_t on nyt skalaari eikä vektori.

SARIMA-mallin esittämistä varten määrittelemme backshift-operaattorin B seuraavasti

$$y_t = B y_{t+1} \Leftrightarrow B^{-1} y_t = y_{t+1}, \text{ kun } t > 1 \text{ tai } B y_t = y_{t-1}, \text{ jolloin } B^k y_t = y_{t-k}, \text{ kun } t \geq 1.$$

Backshit-operaattorin avulla voimme esittää SARIMA-mallin komponentit kompaktimmassa muodossa. Aloitamme astetta q olevan MA(q)-prosessin käsittelyllä, joka määritellään prosessille y_t seuraavasti

$$y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}, \varepsilon_t \sim \text{nid}(0, \sigma^2) (\theta_1, \dots, \theta_q \in \mathbb{R}, q \in \mathbb{Z}),$$

missä μ on prosessin y_t otoskeskiarvo. MA-prosessi voidaan määritellä käyttäen backshift-operaattoria jolloin

$$y_t = \mu + (1 + B\theta_1 + \dots + B^q \theta_q) \varepsilon_t = \mu + \theta(B) \varepsilon_t,$$

kun $\varepsilon_t = B \varepsilon_{t+1}$ ja $\theta(B) = 1 + B\theta_1 + \dots + B^q \theta_q$. Aikaisemmin määritelty AR-prosessi (kaava 1) voidaan myös esittää backshift-operaattorin avulla prosessille y_t seuraavasti

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \Leftrightarrow (1 - B\phi_1 - \dots - B^p \phi_p) y_t = \mu + \varepsilon_t,$$

kun $B y_t = y_{t-1}$. Voimme myös hyödyntää lyhennysmerkintää $\phi(B) = 1 - B\phi_1 - \dots - B^p \phi_p$, jossa $\phi_1, \dots, \phi_p \in \mathbb{R}$.

MA- ja AR-prosessin määrittelemisen jälkeen voimme nyt esittää SARIMA-mallin seuraavasti

$$\Phi(B^S) \phi(B) (x_t - \mu) = \Theta(B^S) \theta(B) \varepsilon_t$$

Yhtälössä $\Phi(B^S) = 1 - B^S\Phi_1 - \dots - B^{S \cdot p}\Phi_p$ ($\Phi_1, \dots, \Phi_p \in \mathbb{R}$) on kausittainen AR-prosessi ja $\Theta(B^S) = 1 + B^S\Theta_1 + \dots + B^{S \cdot q}\Theta_q$ ($\Theta_1, \dots, \Theta_q \in \mathbb{R}$) on kausittainen MA-prosessi (Douglas M ym., 2015, s. 335–389).

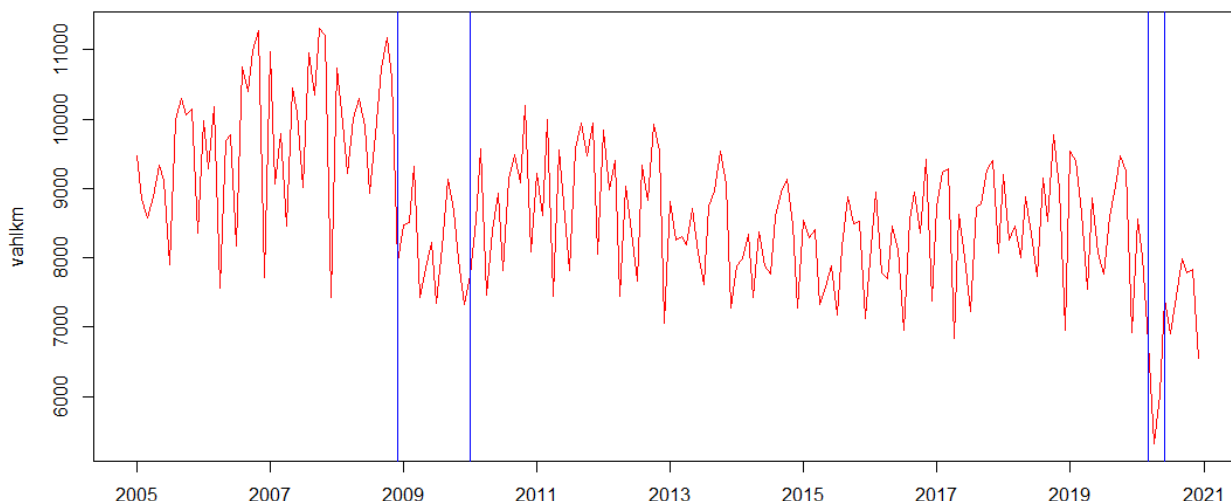
3. Aineisto

VAR-mallin muuttujien valinnassa on keskeistä, että muuttujat ovat dynaamisessa riippuvuussuhteessa työtapaturmien määrän kanssa. Oletamme, että keskeisin työtapaturmien määrään vaikuttava tekijä on tehdyn työn määrä, joka puolestaan on riippuvuussuhteessa yhteiskunnan taloudellisen kehityksen kanssa. Riippuvuussuhteet voivat ilmetä muuttujien välillä myös viiveellä ja niitä voidaan tarkastella ristikorraatiofunktioiden avulla. Toimialojen välillä on merkittäviä eroja tehtyjen työtuntien ja työtapaturmien suhteessa, mistä johtuen valittujen muuttujien olisi toivottavaa kuvata ennusteympäristön vaikutuksia myös toimialakohtaisesti. Muuttujien on myös oltava kerättävissä mahdollisimman lyhyellä viiveellä tai niistä on saatavilla luotettavia ennusteita.

3.1. Muuttujat

Tutkimuksessa hyödynnetään työpaikkatapaturmien lisäksi viittä aikasarjaa työpaikkatapaturmien ennustamisessa, jotka ovat reaalin bruttokansantuote (viitevuosi 2015), palkansaajien tehdyt työtunnit, rakentamisen liikevaihto (viitevuosi 2015), teollisuuden liikevaihto (viitevuosi 2015), sekä palvelualojen liikevaihto (viitevuosi 2015).

3.1.1. Työpaikkatapaturmat



Kuva 1: Työpaikkatapaturmien kuvaaja, missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita kontrolloidaan dummy-muuttujilla.

Työpaikkatapaturmien kohdalla tutkimuksessa käytetään TVK:n palkansaajien työtapaturmatilastoja, vuodesta 2005 vuoden 2020 viimeiseen neljännekseen asti, jossa tapaturmaluvut on aggregoitu kuukausitasolle. Tilastoissa on huomioitava, että vuoden viimeisen neljänneksen työpaikkatapaturmaluvut eivät vielä sisällä kaikkia tapaturmia vaan loka- marras- ja joulukuun osalta todelliset luvut ovat noin 1–2 % tässä tutkimuksessa esitettyjä lukuja suuremmat.

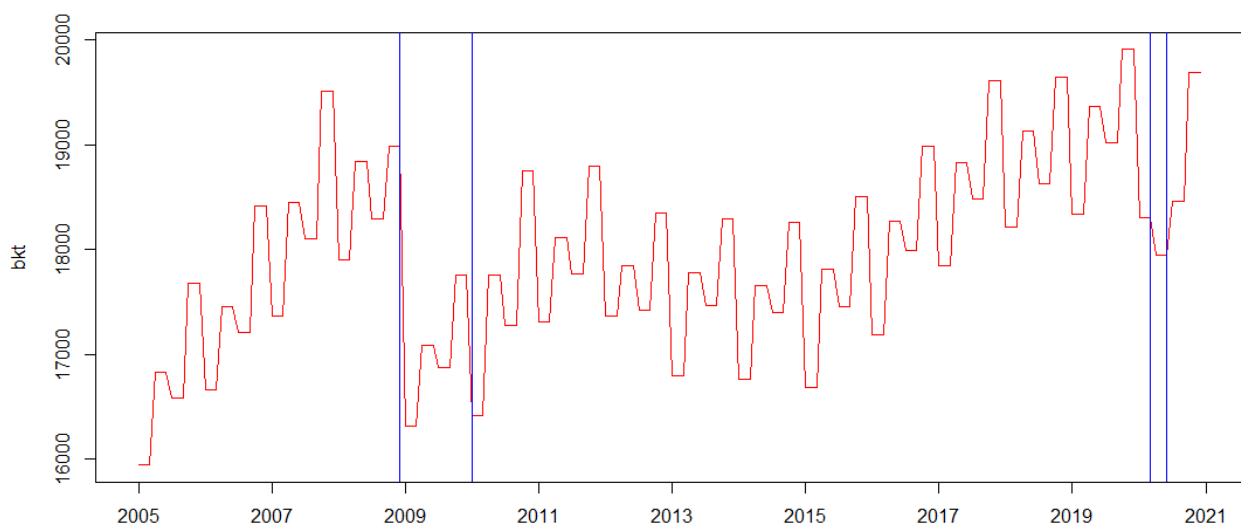
Työpaikkatapaturmien aikasarja ulottuisi vuoteen 1999 asti, mutta vuoden 2005 alussa voimaan astuneen täyskustannusvastuu uudistuksen takia huomioimme ainoastaan sen jälkeiset työpaikkatapaturmat. Uudistuksen jälkeen julkisen sektorin hoitolaitoksissa annetut hoitotoimenpiteet on hinnoiteltu todellisten kustannusten mukaan aikaisemmin perityn asiakasmaksun sijasta. Ennen uudistusta työntekijä maksoi itse asiakasmaksun, mutta uudistuksen jälkeen toimenpiteistä seuraava lasku lähetetään työntekijän vakuutuslaitokselle (TVK, 2021 c). Tämä luonnollisesti kasvattaa vakuutusilmoitusten määrää tapauksissa, jotka eivät johda päivärahakorvauksiin (alle 4 päivää). Työpaikkatapaturmien tilastoinnissa tapahtuvat muutokset ovat irrallisia reaalityaloudesta, mistä johtuen tarkastelemme työpaikkatapaturmia vasta vuoden 2005 alusta lähtien.

Työpaikkatapaturmien määrään (kuva 1) voidaan nähdä pysyvän suhteellisen vakaana ilman vahvaa havaittavissa olevaa trendiä. Työpaikkatapaturmien määrässä on kuitenkin havaittavissa kaksi selkeää tasomuutosta, joista ensimmäinen ajoittuu vuoden 2008 finanssikriisiin. Finanssikriisi voidaan tulkita ajanjaksona, jolloin bruttokansantuote romahti Suomessa vuoden 2008 toisen kolmanneksen ja vuoden 2009 toisen kolmanneksen aikana. Finanssikriisin katsotaan loppuneen vuoden 2010 toiseen neljännekseen mennessä, jossa bruttokansantuote, vienti sekä yksityiset investoinnit

alkoivat toipua (Valtioneuvosto, 2011, s. 13). Kuitenkin, koska mielenkiintomme kohdistuu työpaikkatapaturmien ennustamiseen, asetamme mallien tasomuutoksia kontrolloivat dummy-muuttujat työpaikkatapaturmien tasomuutosten perusteella. Tällöin finanssikriisiä kontrolloiva dummy-muuttuja ulottuu vuoden 2008 marraskuusta vuoden 2009 joulukuuhun eli hieman taloudellisten mittareiden määrittelemää finanssikriisin loppumista aikaisemmin.

Toinen tasomuutos voidaan ajoittaa koronapandemian puhkeamiseen ja siitä seuranneiden rajoitusten vaikutukseen vuoden 2020 maaliskuusta eteenpäin. Koronapandemiaa kontrolloidaan asettamalla dummy-muuttuja valmiuslain aikaisten rajoitustoimien ajalle (maaliskuu-kesäkuu). Vaikka koronapandemia jatkui vuoden 2020 loppuun asti, kontrolloimme vain valmiuslain rajoitusten aikaisia kuukausia (maalis-, huhti- ja toukokuu).

3.1.2. Bruttokansantuote



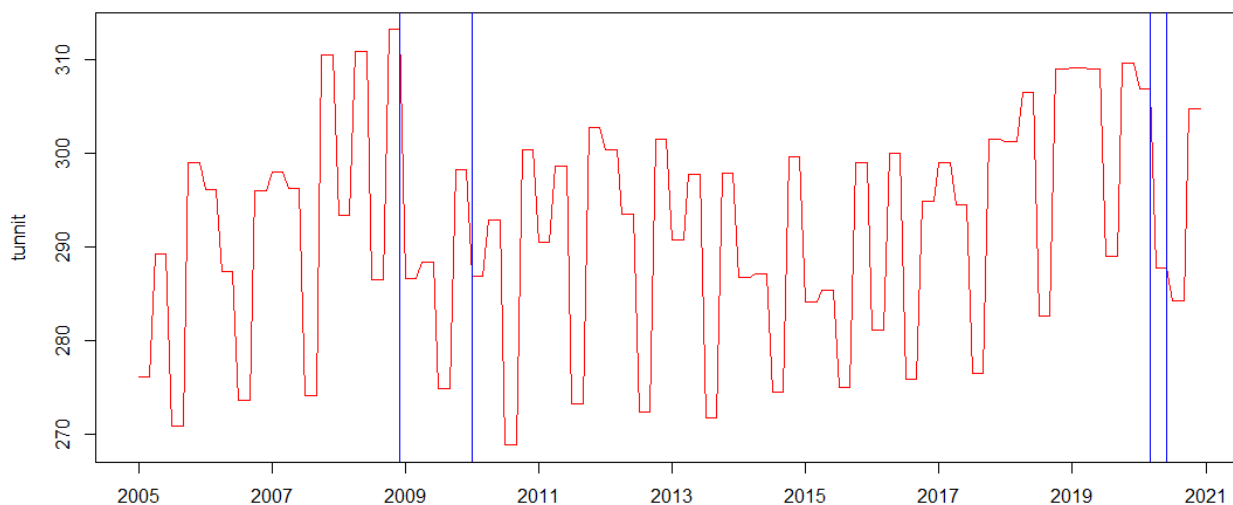
Kuva 2: Bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015), missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita kontrolloidaan dummy-muuttujilla. Bruttokansantuotteen neljännesvuosikohtaiset luvut on muunnettu kuukausikohtaisiksi.

Suomen bruttokansantuotteen osalta tutkimuksessa käytetään Tilastokeskuksen vuosineljännes kohtaisia bruttokansantuotetilastoja (viitevuotena 2015) vuodesta 2005 vuoden 2020 loppuun asti (Tilastokeskus, 2021b) . Bruttokansantuotteen kohdalla toimittiin oletuksella, että bruttokansantuotteesta on saatavilla ennusteita, jotka ulottuvat kolme kuukautta ennusteenlaadinta-ajankohtaa pidemmälle.

Bruttokansantuote kuvaa hyvin taloudessa tapahtuvia muutoksia, jonka lisäksi bruttokansantuotteesta on saatavilla luotettavia ennusteita (Suomen Pankki, 2021).

Bruttokansantuotteessa (kuva 2) on havaittavissa kasvava trendi, sekä selkeät tasomuutokset, jotka vastaavat melko hyvin työpaikkatapaturmien tasomuutoksia. Finanssikriisin voidaan havaita vaikuttaneen bruttokansantuotteeseen huomattavasti enemmän, kuin koronapandemian. Finanssikriisin, sekä koronapandemian vaikutukset bruttokansantuotteeseen näyttäytyvät samanaikaisina työpaikkatapaturmien määrän kanssa. Finanssikriisin vaikutus bruttokansantuotteeseen näyttäisi myös jatkuvan suurin piirtein vuoden 2011 ensimmäiseen neljännekseen asti, kuten aiemmin totesimme.

3.1.3. Palkansaajien tehdyt työtunnit



Kuva 3: Palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja, missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita on kontrolloitu dummy-muuttujilla. Palkansaajien tehtyjen työtuntien neljännesvuosikohtaiset luvut on muunnettu kuukausikohtaisiksi.

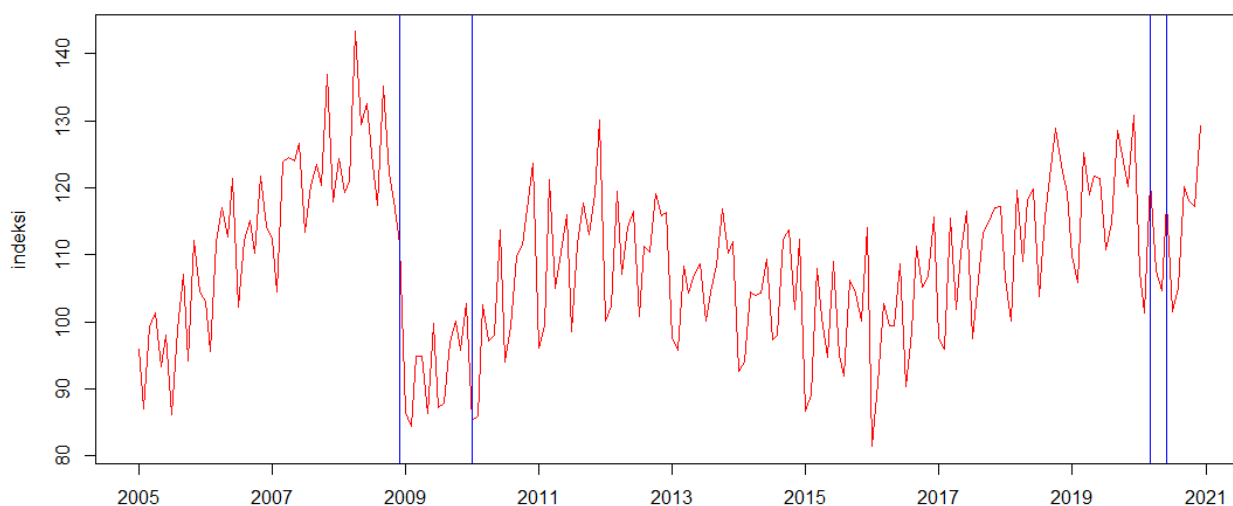
Palkansaajien tehtyjen työtuntien kohdalla tutkimuksessa käytetään Tilastokeskuksen vuosineljännes kohtaisia työtuntilukuja vuodesta 2005 vuoden 2020 viimeiseen neljännekseen. Palkansaajien tehtyjen työtuntien tilasto perustuu Tilastokeskuksen työvoimatutkimukseen (Tilastokeskus, 2021 c). Palkansaajien tehdyt työtunnit kertovat suoraan tehdyn työn määrästä yhteiskunnassa, jonka lisäksi niistä on saatavilla luotettavia ennusteita. Palkansaajien tehdyistä työtunneista on saatavilla myös toimialakohtaisia tilastoja, mutta ne ovat vuosineljänneskohtaisia, ne alkavat vasta vuodesta 2010 eteenpäin, eikä niistä ole saatavilla luotettavia ennusteita. Tästä johtuen toimialakohtaisten muutosten tavoittamiseksi tutkimuksessa käytetään toimialojen liikevaihtoindeksejä.

Palkansaajien tehdyissä työtunneissa (kuva 3) ei ole havaittavissa selkeää trendiä eivätkä finanssikriisin tai koronapandemian vaikutukset näyttäyty yhtä selkeästi, kuin työpaikkatapaturmissa. Molempien tasomuutosten vaikutukset näyttäytyvät hieman jäljessä työpaikkatapaturmiin verrattuna, johtuen palkansaajien tehtyjen työtuntien aikasarjan kuukausimuunnoksesta. Finanssikriisin vaikutus palkansaajien tehtyihin työtunteihin näyttäisi myös jatkuvan pidemmälle kuin työpaikkatapaturmien kohdalla.

3.1.4. Teollisuuden -, rakentamisen -, sekä palvelualojen liikevaihtoindeksit

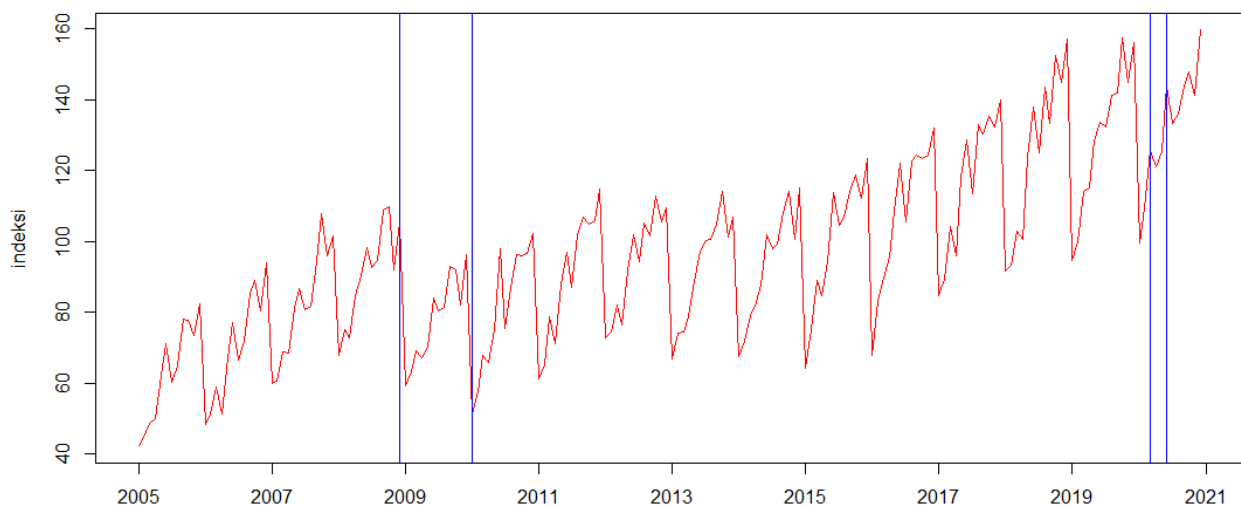
Teollisuuden (Tilastokeskus, 2021d) -, rakentamisen (Tilastokeskus, 2021e) -sekä palvelualojen liikevaihtoindeksit (Tilastokeskus, 2021f) ovat kuukausikohtaisia ja ne raportoidaan noin kahden kuukauden viiveellä. Kyseisten muuttujien osalta mallissa käytetyt havainnot ovat niin ikään kaksi kuukautta ennusteenlaadinta-ajankohtaa jäljessä. Muuttujat valittiin malliin, koska niitä edustavat toimialat vastaavat merkittävää osaa kaikista työpaikkatapaturmista (55–60 %) ja ne ovat herkkiä taloudessa tapahtuville muutoksille.

Teollisuuden -(15 %) sekä rakentamisen (15 %) päätoimialoilla raportoidaan noin 30 % kaikista työpaikkatapaturmista, jonka lisäksi rakentamisen alalla tapahtuu eniten työpaikkatapaturmia suhteessa tehtyihin työtunteihin.



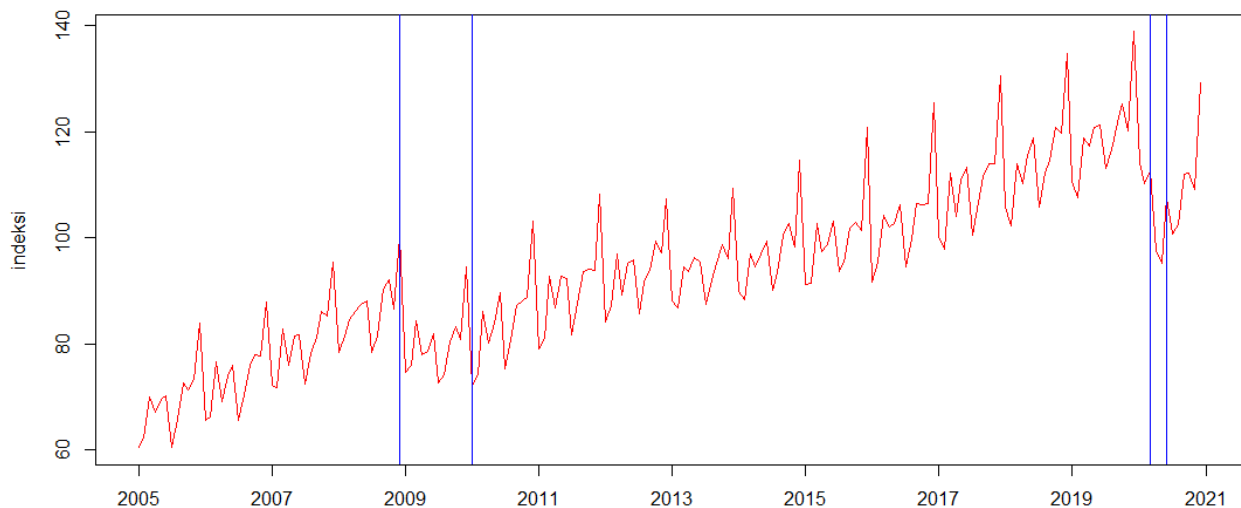
Kuva 4: Teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja, missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita on kontrolloitu dummy-muuttujilla.

Teollisuuden liikevaihtoindeksissä (kuva 4) ei ole havaittavissa selkeää trendiä, mutta erityisesti finanssikriisin vaikutus näyttäytyy hyvin voimakkaana. Finanssikriisin vaikutus teollisuuden liikevaihtoindeksiin vaikuttaisi olevan hieman jäljessä työpaikkatapaturmiin verrattuna ja jatkuvan myös hieman pidempään. Koronapandemian vaikutus on selkeä, mutta huomattavasti pienempi finanssikriisin verrattuna. Koronapandemian vaikutus näyttäisi myös ulottuvan ajallisesti laajemmalle, kuin koronapandemialle asetettu dummy-muuttuja.



Kuva 5: Rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015), kuvaaja, missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita on kontrolloitu dummy-muuttujilla.

Rakennusalan liikevaihtoindeksissä (kuva 5) on havaittavissa kasvava trendi. Finanssikriisin vaikutus on selkeä ja hieman jäljessä työpaikkatapaturmien kyseisestä tasomuutoksesta. Koronapandemian vaikutus rakennusalan liikevaihtoindeksiin on myös havaittavissa.



Kuva 6: Palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja, missä siniset pystyviivat kuvaavat tasomuutoksia, joita on kontrolloitu dummy-muuttujilla.

Palvelualoihin luetaan kuljetus ja varastointi, majoitus- ja ravitsemistoiminta, kiinteistöalantoiminta, tieteellinen ja tekninen toiminta, hallinto- ja tukipalvelutoiminta, taide ja viihde sekä muu palvelutoiminta, jotka vastaavat noin 25 % työpaikkatapaturmista. Hallinto- ja tukipalvelutoiminta vastaa noin 10 % kaikista työpaikkatapaturmista, mutta sen tarkasteleminen erillisenä muuttujana ei katsottu

järkeväksi, koska hallinto- ja tukipalvelutoiminnan vaikutukset jakautuvat usealle eri toimialalle mm. vuokratyön kautta.

Kuntasektori (20 %) sekä tukku- ja vähittäiskauppa (10 %) vastaavat yhteensä noin 30 % työpaikkatapaturmista. Kuntasektori sekä vähittäiskauppa jäivät tarkastelun ulkopuolelle, sillä niistä ei ollut saatavilla kuukausikohtaista tietoa tai luotettavia ennusteita. Kuntasektori on myös lyhyellä aikavälillä hidas reagoimaan talouden muutoksiin. Muut yksittäiset toimialat katsottiin työpaikkatapaturmien osalta liian pieniksi (TVK, 2019).

Palvelualojen liikevaihtoindeksissä (kuva 6) on havaittavissa hyvin vahva kasvava trendi. Finanssikriisin vaikutus on selkeä ja hieman jäljessä työpaikkatapaturmien kyseisestä tasomuutoksesta. Koronapandemian vaikutus palvelualojen liikevaihtoindeksiin on kuitenkin vielä huomattavasti suurempi kuin finanssikriisin. Palvelualojen liikevaihtoindeksi reagoikin kaikista muuttujista voimakkaimmin koronapandemiaan. Koronapandemian vaikutus palvelualojen liikevaihtoindeksiin jatkuikin voimakkaana vuoden 2020 loppuun saakka.

3.2. Muuttujien käsittely

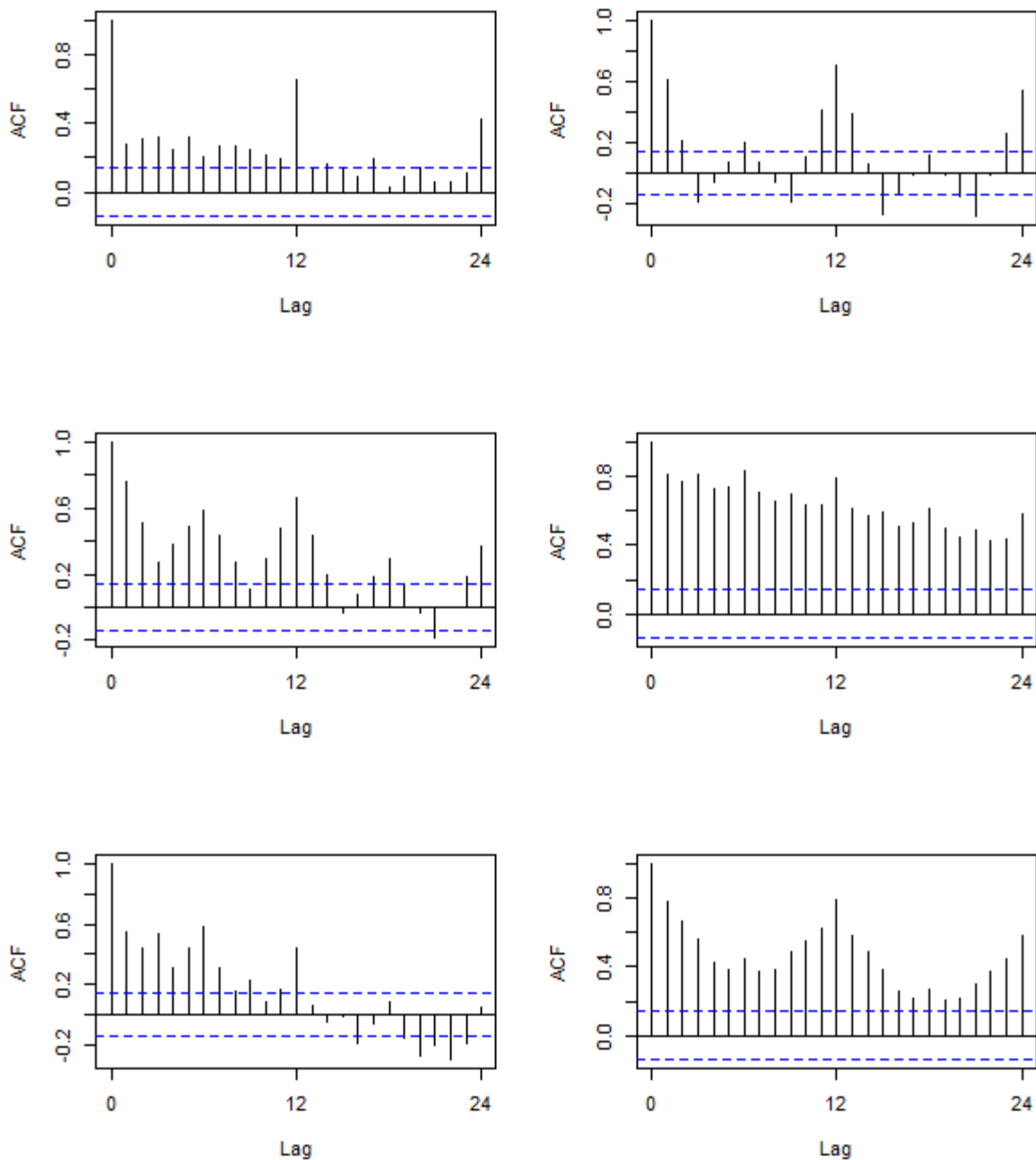
Bruttokansantuote ja palkansaajien tehdyt työtunnit ovat vuosineljänneskohtaisia, mutta työpaikkatapaturmien kausittaisuudesta johtuen on perusteltua käyttää kuukausikohtaisia aikasarjoja. Bruttokansantuote sekä tehdyt työtunnit muunnetaan kuukausittaisiksi jakamalla vuosineljänneksen luvut kyseiseen vuosineljännekseen kuuluvien kuukausien kesken.

ADF-testin (liitteet: taulukko 10) perusteella työpaikkatapaturmien, palkansaajien työtuntien sekä rakennusalan liikevaihtoindeksin aikasarjat ovat stationaarisia. Bruttokansantuote, palvelualojen liikevaihtoindeksi sekä teollisuuden liikevaihtoindeksi ovat ADF-testin perusteella epästationaarisia. Differensoinnin jälkeen aikasarjat olivat ADF-testin perusteella stationaarisia. ADF-testillä (liitteet: taulukko 11), jossa stationaarisuuden testaamisessa otettiin huomioon aineiston mahdollinen deterministinen trendi, kaikki muuttujat olivat stationaarisia.

3.3. Muuttujien riippuvuussuhteet

Tässä osiossa aineiston muuttujien riippuvuussuhteita tarkastellaan muuttujien otosautokorrelaatiofunktioiden ja otosristikorrelaatiofunktioiden avulla.

3.3.1. Otosautokorrelaatiofunktio



Kuva

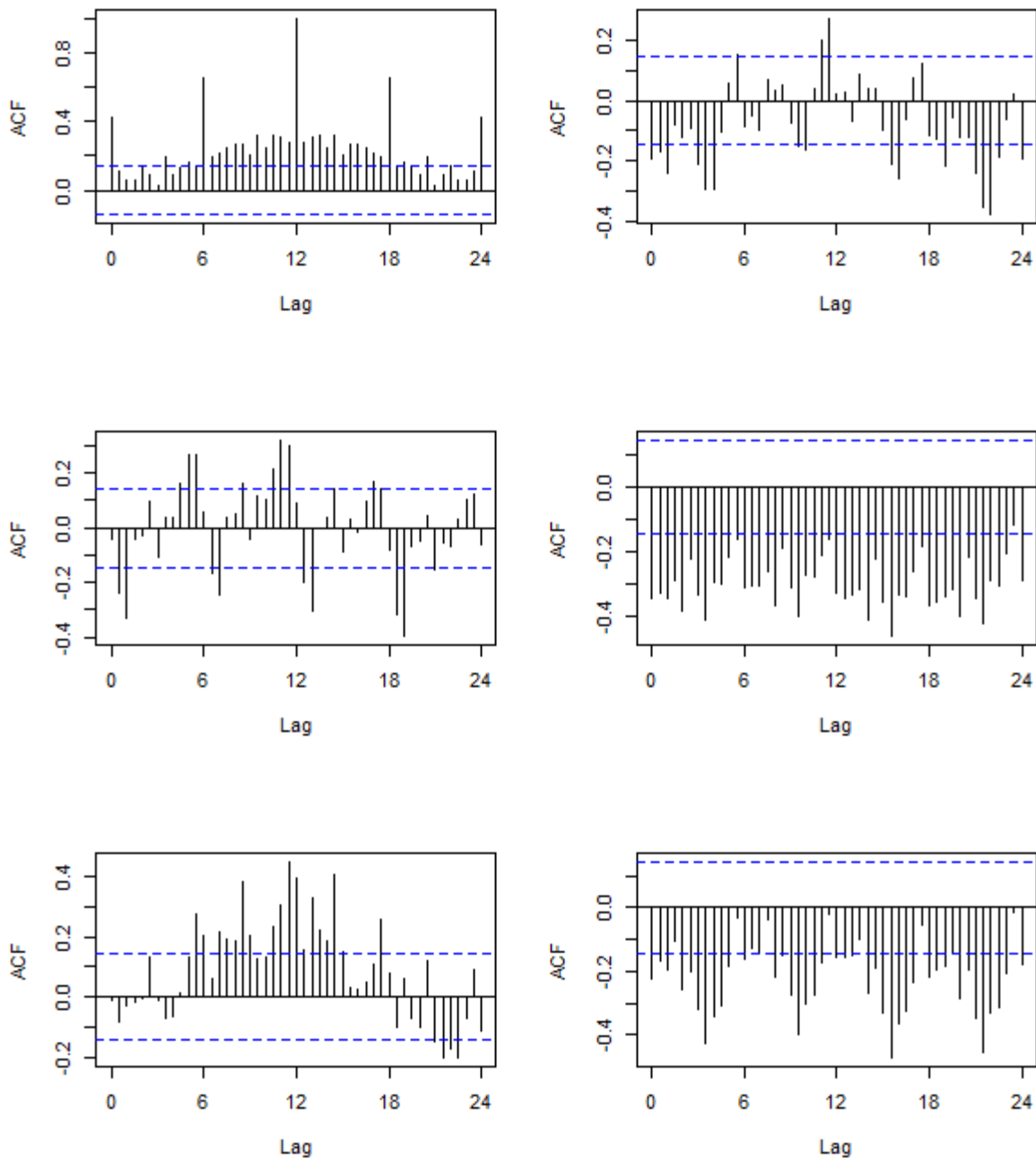
7: Aikasarjojen otosautokorrelaatiofunktioiden kuvaajat. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä oikealla bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015), toisella rivillä vasemmalla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja, toisella rivillä oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja, viimeisellä rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja ja viimeisellä rivillä oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.

Muuttujien autokorrelaatiofunktioista (kuva 2) voidaan nähdä, että kaikissa muuttujissa esiintyy voimakasta autokorrelaatiota. Selkeimmin kausittaisuus näyttäytyy työpaikkatapaturmien ja bruttokansantuotteen kohdalla, joissa voidaan havaita todella

selkeä piikki 12 kuukauden välein. Myös rakennusalan liikevaihtoindeksiin autokorrelaatiofunktiossa voidaan havaita voimakasta kausivaihtelua, jonka huiput toistuvat 12 kuukauden välein. Myös palkansaajien tehtyjen työtuntien osalta vahvimmin korreloivat viipeet toistuvat 12 kuukauden välein. Tämän perusteella kausittaisuutta kontrolloidaan tutkimuksessa kuukausittaisilla dummy-muuttujilla.

3.3.2. Otosristikorrelaatiofunktio

Ristikorrelaatiofunktioista nähdään (kuva 3), että työpaikkatapaturmat korreloivat kaikkien valittujen muuttujien kanssa. Teollisuuden -, rakennusalojen -sekä palvelualojen liikevaihtoindeksit vaikuttavat korreloivan voimakkaimmin työpaikkatapaturmien kanssa (pois lukien työpaikkatapaturmat itsessään). Rakennusalojen liikevaihtokuvaaja on ainoa muuttuja, jonka kohdalla on havaittavissa selkeä ajallinen sykli, jonka negatiiviset huiput toistuvat kuuden kuukauden välein. Rakennusalan - ja teollisuuden liikevaihtokuvaajat vaikuttavat korreloivan negatiivisesti työpaikkatapaturmien kanssa, joista palvelualojen kohdalla korrelaatio ei ole kovin selkeää. Tämä johtunee siitä, että palvelualojen liikevaihtoindeksiin sisältyy toimialoja, joiden suhde työpaikkatapaturmien määrään poikkeaa toisistaan.



Kuva 8: Aikasarjojen otosristikorrrelaatiofunktioiden kuvaajat työpaikkatapaturmien suhteen. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä oikealla bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015), toisella rivillä vasemmalla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja, toisella rivillä oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja, viimeisellä rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja viimeisellä rivillä oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.

4. Mallien estimointi

Tässä luvussa käsittelemme työpaikkatapaturmien ennustamisessa käytettyjen mallien estimointia, sekä VAR-mallien diagnostiikkatestien tuloksia.

Tutkimuksessa estimoimme neljä eri mallia työpaikkatapaturmien ennustamiseen kolmelle ennustejaksolle: SARIMA-malli ilman tasomuutoksien dummy-muuttujia (malli 1), SARIMA-malli tasomuutoksien dummy-muuttujilla (malli 2), VAR-malli, jossa epästationaariset muuttujat ovat differensoitu (malli 3) sekä VAR-mallin, joka sisältää trendin ja tasomuutoksien dummy-muuttujat (malli 4). Estimoimme siis käytännössä 12 eri mallia, joiden parametriestimaatit löytyvät VAR-malleilla liitteiden taulukoista 4–9 ja SARIMA-malleille liitteiden taulukoista 12 ja 13.

Viittaamme estimointijaksoilla kutakin ennustejaksoja varten estimoituihin malleihin, joissa estimointijakso 1 vastaa ennustejaksoa 1, estimointijakso 2 vastaa ennustejaksoa 2 ja estimointijakso 3 vastaa ennustejaksoa 3. Estimointijakson 1 mallien estimoinnissa käytettiin muuttujien aikasarjoja vuoden 2005 tammikuusta vuoden 2020 maaliskuuhun. Estimointijakson 2 mallien estimoinnissa käytettiin muuttujien aikasarjoja vuoden 2005 tammikuusta vuoden 2019 joulukuuhun. Estimointijakson 3 mallien estimoinnissa käytettiin muuttujien aikasarjoja vuoden 2005 tammikuusta vuoden 2019 maaliskuuhun.

4.1. Parametrien estimointi

VAR-mallit pyrkivät kuvaamaan mallin muuttujien välisiä dynaamisia suhteita, jolloin kaikille muuttujapareille tarvitaan oma parametri. Dynaamisten suhteiden mallintamisessa tulee myös huomioida muuttujaparien vuorovaikutus eri ajankohtina tarkoittaen, että jokaiselle muuttujaparille tarvitaan myös parametri kuvaamaan muuttujaparin suhdetta, jokaiselle valitulle viipeelle. Tällöin estimoitavien parametrien määrä on $k + pn^2$, jossa k on mallin dummy-muuttujien sekä vakioiden määrä, p viivästetermien määrä ja n mallin muuttujien määrä.

Viivästetermien määrän valinta on keskeinen osa VAR-mallien estimointia, sillä liian lyhyen viiveen valinta ei välttämättä tavoita muuttujien välisiä ajallisia suhteita ja toisaalta liian pitkä viive kasvattaa mallin parametrien määrää tarpeettomasti. VAR-mallin viivästetermien määrä valittiin BIC (Bayesian Information Criterion) perusteella. Käytännössä tämä tapahtuu kasvattamalla mallin viivästetermien määrää ja

estimoimalla malli uudelleen (Schwarz G, 1978, s. 462). Mikäli uuden mallin BIC on pienempi, käytetään kyseistä viivästetermien määrää. SARIMA-mallin parametrit valittiin niin ikään BIC perusteella. BIC suosii pienempiä malleja, kuin useimmat muut informaatiokriteerit, mikä vähentää mallin ylisovittamisen riskiä (Giraud C, 2015, s. 49).

VAR-mallien viivästetermien valinnassa huomioitiin myös työpaikkatapaturmien ja mallin muiden muuttujien sovitteiden virhetermien otosristikorraatiofunktioita. Tarkastelimme näitä otosristikorraatiofunktioita (liitteet: kuvat 13–18) viivästetermien valinnan jälkeen, missä teollisuuden -, sekä rakentamisen liikevaihtoindeksien viiveen 0 kohdalla havaitaan voimakkain korrelaatio (> 0.4) kaikille malleille. Yhdessäkään otosristikorraatiofunktiossa ei kuitenkaan havaittu huolestuttavan suurta (> 0.5) korrelaatiota.

Parametrien määrä kasvaa hyvin nopeasti muuttujien, sekä viivästetermien suhteen. Parametrien suuren määrän ongelmana on, että mallin tehokkuus heikkenee parametrien määrän kasvaessa, mallin estimaattien varianssin ollessa kytköksissä mallin parametrien määrään (Giannini C, Mosconi R, 1987, s. 301). Kyseinen ongelma ratkaistiin tässä tutkimuksessa rajoittamalla mallin parametreja niiden merkitsevyyden perusteella. Mallin termien rajoittaminen tapahtui lisäämällä estimoitavia parametreja malliin yksitellen ja estimoimalla malli uudelleen. Mikäli uusi estimaatti oli tilastollisesti merkitsevä (95 %:n luottamustasolla) sitä vastaava parametri jäi malliin. VAR-mallin rajoitettu estimointi suoritettiin viivästetermien valinnan jälkeen.

4.2. VAR-mallin diagnostiikka

VAR-mallin oletuksena on, että aikasarja on normaalin. Toisin sanoen mallin virhetermien tulisi olla toisistaan riippumattomia ja noudattaa normaalijakaumaa, jonka lisäksi niiden odotusarvon ja varianssin pitäisi olla vakioita. VAR-mallin oletuksien toteutumista voidaan tarkastella estimoitujen mallin virhetermien avulla.

Virhetermien autokorrelaatiota testattiin Portmanteau-testillä, jonka lisäksi tarkastelimme estimoitujen mallien virhetermien otosautokorrelaatiofunktioita. Virhetermien heteroskedastisuutta testattiin puolestaan Engle's ARCH-testillä (Engle R, 1982, ss. 999-1000). Heteroskedastisuudella tarkoitetaan, että virhetermien varianssi muuttuu ajan funktiona, jolloin oletus virhetermien vakioisuudesta on väärä. Virhetermien normaalisuutta testattiin Jarque–Bera testillä (Bera A, Jarque C, 1980, ss. 256-257). Kaikkien testien tuloksia arvioitiin 95 % merkitsevyystasolla, jolloin kyseisten testien läpäiseminen vaatii vähintään p-arvoa 0.05. Mikäli jokin näistä testeistä johtaa

nollahypoteesin hylkäämiseen, osoittaa se, ettei VAR-mallista tehty oletukset pidä paikkaansa (Lütkepohl H, 2011, ss. 44-46).

4.2.1. VAR-mallin diagnostiikkatestien tulokset

Taulukko 1: Mallin 3 diagnostiikkatestien p-arvot kaikille estimointijaksoille

Testit	Estimointijakso 1	Estimointijakso 2	Estimointijakso 3
Portmanteau-testi	<0.01	<0.01	<0.01
Engle's ARCH-testi	<0.01	0.01006	0.03215
Jarque-Bera testi	<0.01	<0.01	<0.01

Taulukko 2: Mallin 4 diagnostiikkatestien p-arvot kaikille estimointijaksoille

Testit	Estimointijakso 1	Estimointijakso 2	Estimointijakso 3
Portmanteau-testi	<0.01	<0.01	<0.01
Engle's ARCH-testi	0.3961	0.5739	0.4007
Jarque-Bera testi	<0.01	<0.01	<0.01

Malli 3 (taulukko 2) ei läpäissyt yhtäkään diagnostiikkatestiä. Malli 4 (taulukko 3) puolestaan läpäisi Engle's ARCH-testin kaikilla ennustejaksoilla tarkoittaen, että kyseisen mallin virhetermit eivät ole heteroskedastisia.

Mallin 3 (liitteet: kuvat 13, 14 ja 15) ja 4 (liitteet: kuvat 16, 17 ja 18) kaikkien ennustejaksojen estimointijaksoista lasketuissa virhetermeissä esiintyy autokorrelaatiota, mutta maltillisesti (noin 0.2). Erityisesti palkansaajien tehtyjen työtuntien ennusteissa viiveellä kolme, johtuen alkuperäisen aikasarjan muuntamisesta kuukausikohtaiseksi. Mallin 3 (liitteet: kuva 18) ja 4 (liitteet: kuva 16) ennustejakson 3 kohdalla teollisuuden liikevaihtokuvaajan virhetermeissä esiintyy voimakasta autokorrelaatiota (noin 0.4).

5. Mallien ennusteiden tarkastelu

Tässä luvussa käymme läpi estimoitujen VAR- ja SARIMA-mallien tuottamat työpaikkatapaturmien kuukausikohtaiset ennusteet ja tarkastelemme niiden hyvyyttä keskineliövirheiden juurien avulla.

Laadimme jokaisella mallilla kolme yhdeksän periodin ennustetta, joista ensimmäinen alkaa koronapandemian puhkeamisen jälkeen vuoden 2020 huhtikuusta (ennustejakso 1), toinen ennen koronapandemian puhkeamista vuoden 2020 tammikuusta (ennustejakso 2) ja kolmas vuoden 2019 huhtikuusta joulukuuhun (ennustejakso 3).

Kaikkien ennustejaksojen kohdalla teollisuuden -, rakennusalojen -sekä palvelualojen liikevaihtoindekseissä käytettiin toteumatietoja, jotka ulottuivat neljä kuukautta mallien estimoinnissa käytetyistä aikasarjoista eteenpäin. Bruttokansantuotteen, sekä palkansaajien tehtyjen työtuntien osalta kaikkien ennustejaksojen kohdalle käytettiin koko ennustejakson kattavia toteumatietoja.

Tässä tutkimuksessa kiinnostuksen kohteena oli ensisijaisesti työpaikkatapaturmien lukumäärän ennustaminen eikä työtapaturmien generointiprosessin rakenne. Vaikka VAR-malli tuottaakin ennusteen mallin kaikille muuttujille, niin mallien toimivuutta arvioidaan ainoastaan vertaamalla työpaikkatapaturmien ennusteiden keskineliövirheiden juuria (RMSE) keskenään. Ennusteiden RMSE määritellään kaavalla

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^h (\hat{y}_i - y_i)^2}{h}},$$

missä h on ennustejakson pituus, $\hat{y}_i$ on muuttujan ennuste ja y_i muuttujan toteutunut arvo ajankohtana i .

5.1. Mallien vertailu keskineliövirheiden juurien perusteella

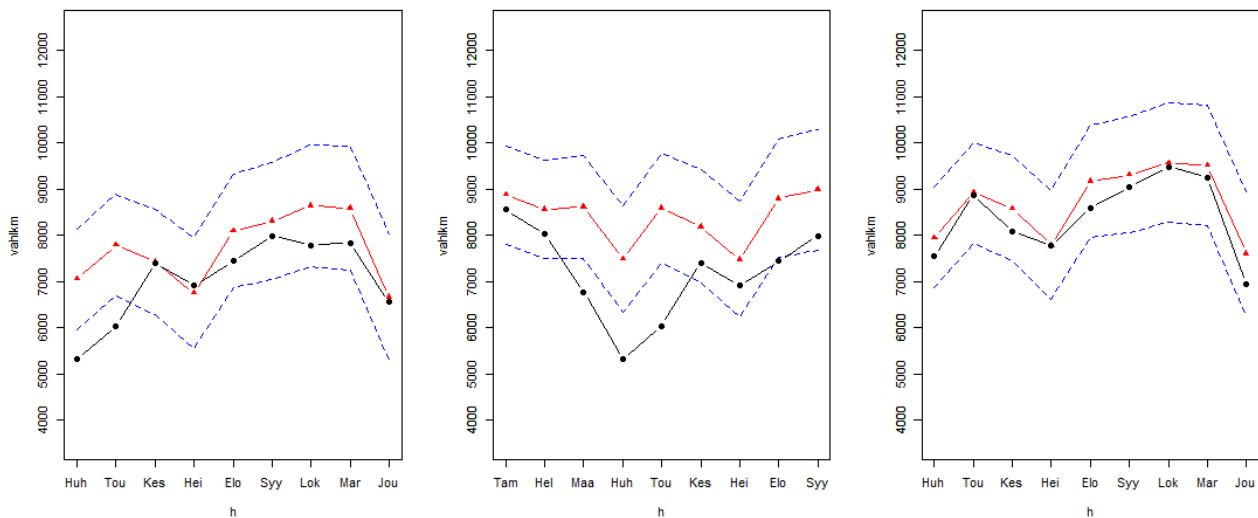
Taulukko 3: Mallien ennusteiden keskineliövirheiden juuret jokaiselle ennustejaksolle

Mallit	Ennustejakso 1	Ennustejakso 2	Ennustejakso 3
Malli 1	942	1446	389
Malli 2	1159	1372	355
Malli 3	825	1655	434
Malli 4	974	1035	209

Mallien ennusteiden keskineliövirheiden juurien välillä (taulukko 3) on selkeitä eroja, kaikilla ennustejaksoilla. SARIMA-mallien ennusteet ovat melko lähellä toisiaan, mutta VAR-mallien kohdalla ennustejakson 2 ennusteissa on merkittävä ero. Jokaisen ennusteperiodin tarkin ennuste syntyi VAR-mallilla, mutta toisaalta myös epätarkin ennuste ennustejaksolle 2. Mallin 4 voidaan katsoa suoriutuneen malleista parhaiten, sillä sen ennusteet ovat tarkimmat ennustejaksoille 2 ja 3, sekä melko lähellä tarkinta ennustejakson 1 ennustetta.

Ennusteiden tulkinnassa on otettava huomioon, että loka- marras- ja joulukuun osalta todelliset työpaikkatapaturmaluvut ovat 1–2 % (noin 100–150 tapaturmaa) tässä esitettyjä suuremmat. Kaikki mallit yliarvioivat kyseisten kuukausien ennusteet ennustejaksolla 1 enemmän kuin 2 %, jolloin todellisia ennusteita ennustejaksolle 1 voidaan pitää hieman parempina, kuin mitä tässä esitetään. Tämä ei kuitenkaan vaikuta mallien vertailuun tai yleiseen käsitykseen mallien soveltuvuudesta ennustamiseen.

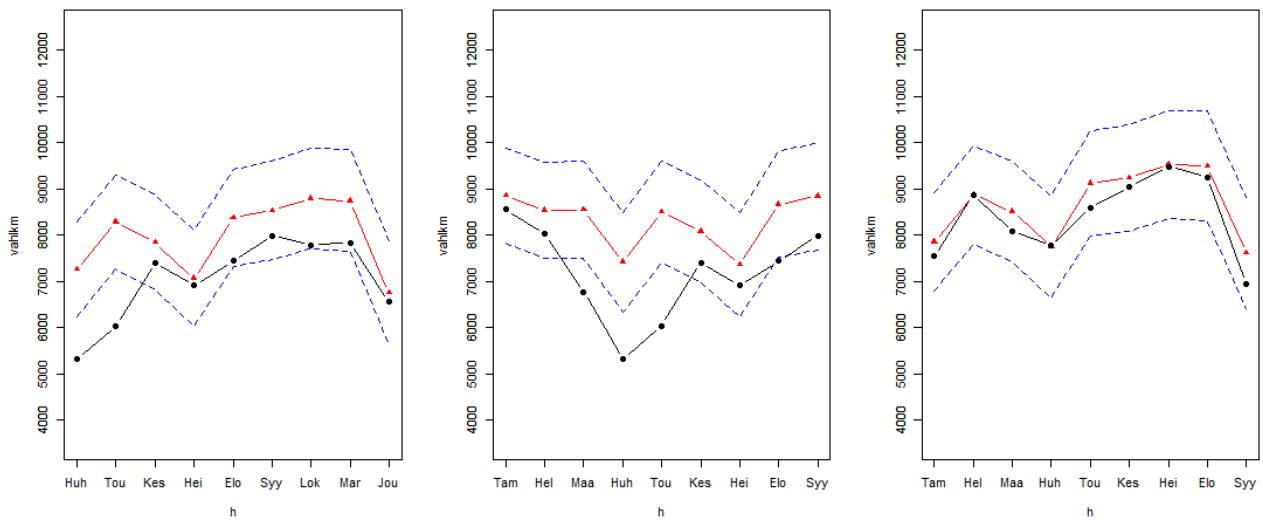
5.1.1. Mallin 1 ennusteet



Kuva 9: Mallin 1 ennusteet ja 95 %:n ennusteväli. Musta (ympyrät) on toteutuneet työpaikkatapaturmat, punainen (kolmiot) on ennuste ja sininen ennusteen luottamusväli. Vasemmalla ennustejakso 1, keskellä ennustejakso 2 ja oikealla ennustejakso 3.

Malli 1 (kuva 9 ja taulukko 3) tuotti toiseksi parhaan ennusteen ennustejaksolle 1, mutta huomattavasti heikomman ennusteen ennustejaksolle 2. Malli myös systemaattisesti aliarvioi koronapandemian vaikutuksen ennustejaksolle 2. Erityisesti vuoden 2020 rajoitustoimien aikaisten kuukausien maaliskuu-, huhti- ja toukokuun ennusteet ovat räikeästi toteutuneita työpaikkatapaturmia suurempia. Mallin ennuste ennustejaksolle 3 on selkeästi heikompi kuin Mallin 4, mutta hieman parempi kuin Mallin 3. Ennustejaksojen 1 ja 2 kohdalla toteutuneet työpaikkatapaturmat ovat myös jossain määrin ennusteen luottamusvälien ulkopuolella.

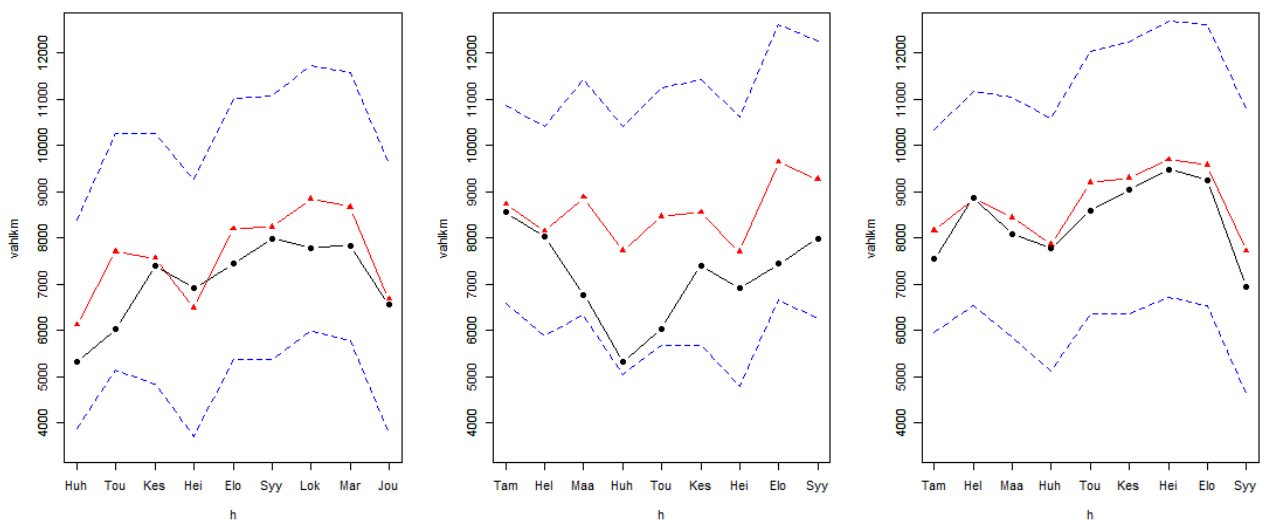
5.1.2. Mallin 2 ennusteet



Kuva 10: Mallin 2 ennusteet ja 95 %:n ennusteväli. Musta (ympyrät) on toteutuneet työpaikkatapaturmat, punainen (kolmiot) on ennuste ja sininen ennusteen luottamusväli. Vasemmalla ennustejakso 1, keskellä ennustejakso 2 ja oikealla ennustejakso 3.

Mallin 2 (kuva 10 ja taulukko 3) ennusteet ovat hyvin lähellä mallin 1 ennusteita ennustejaksoille 2 ja 3, mutta ennustejakson 1 kohdalla malli aliarvioi koronapandemian vaikutusta mallia 1 enemmän.

5.1.3. Mallin 3 ennusteet



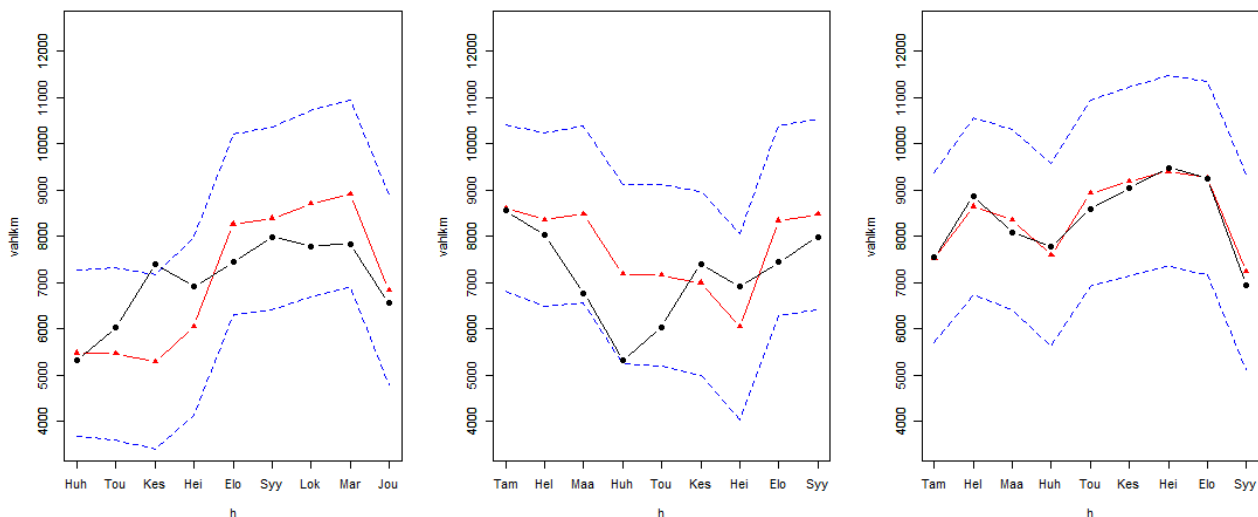
Kuva 11: Mallin 3 ennusteet ja 95 %:n ennusteväli. Musta (ympyrät) on toteutuneet työpaikkatapaturmat, punainen (kolmiot) on ennuste ja sininen ennusteen luottamusväli. Vasemmalla ennustejakso 1, keskellä ennustejakso 2 ja oikealla ennustejakso 3.

Malli 3 (kuva 11 ja taulukko 3) tuotti tarkimman ennusteen ennustejaksoille 1, mutta heikoimmat ennusteet ennustejaksoille 2 ja 3. Ennustejakson 1 kohdalla mallin ennusteet

poikkesivat loppuvuoden (huhti- ja toukokuu) ja alkuvuoden (loka- ja marraskuu) rajoitustoimien kohdalla jossain määrin toteumasta, mutta muilta osin ennuste oli todella hyvä.

Mallin 3 ennusteet ennustejaksolle 2 aliarvioivat systemaattisesti koronapandemian vaikutuksen työpaikkatapaturmien määrään (kuva 5). Erityisesti vuoden 2020 rajoitustoimien aikaisten kuukausien maaliskuu-, huhti- ja toukokuun ennusteet ovat räikeästi toteutuneita työpaikkatapaturmia suurempia. Toteutuneet työpaikkatapaturmat pysyvät myös mallin ennusteiden luottamusvälien sisällä (tosin VAR-mallien luottamusvälit ovat huomattavasti SARIMA-mallien luottamusvälejä suurempia).

5.1.4. Mallin 4 ennusteet



Kuva 12: Mallin 4 ennusteet ja 95 %:n ennusteväli. Musta (ympyrät) on toteutuneet työpaikkatapaturmat, punainen (kolmiot) on ennuste ja sininen ennusteen luottamusväli. Vasemmalla ennustejakso 1, keskellä ennustejakso 2 ja oikealla ennustejakso 3.

Malli 4 (kuva 12 ja taulukko 3) tuotti selkeästi parhaan ennusteen ennustejaksoille 2 ja 3. Erityisesti ennustejakson 2 kohdalla mallin ennusteet huhti- ja toukokuulle olivat huomattavasti muita malleja tarkemmat. Malli 4 oli malleista ainoa, joka yliarvioi koronapandemian vaikutuksen ennustejakson 1 alkuvuodelle. Malli 4 tuotti hieman heikomman ennusteen ennustejaksolle 1, kuin Malli 3. Mallien ennusteet ennustejaksolle 1 olivat muilta osin melko lähellä toisiaan, mutta kesäkuun osalta mallien ennusteissa on suuri ero mallin 1 hyväksi. Tämä johtunee siitä, että valmiuslakiin perustuneet rajoitustoimet loppuivat kesäkuun puolessa välissä, mutta dummy-muuttuja käsittää koko kesäkuun.

6. Lopuksi

Tässä luvussa käymme läpi, kuinka hyvin tutkimus pystyi vastaamaan tutkimuskysymyksiin, sekä mitä heikkouksia valitulla ennustemallilla on ja miten työpaikkatapaturmien ennustamista voisi kehittää tulevaisuudessa.

6.1. Onnistuminen

Tutkimuksen tarkoituksena oli vastata kolmeen tutkimuskysymykseen. Ensimmäinen halusimme selvittää, kuinka hyvin VAR-malli soveltuu työpaikkatapaturmien ennustamiseen. Toiseksi halusimme tietää tuottaako VAR-malli parempia ennusteita työpaikkatapaturmien määrälle kuin SARIMA-malli. Kolmanneksi halusimme tutkia, kuinka SARIMA-malli ja VAR-malli soveltuvat ennustamiseen ennusteympäristön muuttuessa.

Tutkimuksen perusteella molemmat VAR-mallit ennustavat erittäin hyvin työpaikkatapaturmien määriä ennustejaksolle 3, jota voidaan pitää tavanomaisena ennustetilanteena. Toisaalta myös molemmat SARIMA-mallit tuottivat hyviä ennusteita ennustejaksolle 3. Tämä viittaa siihen, että työpaikkatapaturmien generointiprosessi on melko stabiili ilmiö, ilman merkittäviä muutoksia ennusteympäristössä.

Ennustejakso 2 on mallien paras testi siihen, kuinka mallit pärjäävät ennusteympäristön muuttuessa, sillä malleilla ei ole tietoa koronapandemian vaikutuksesta työpaikkatapaturmien määrään. Malli 4 tuotti tyydyttävän ennusteen kyseiselle ennustejaksolle, mutta se ei kuitenkaan onnistunut ennustamaan tyydyttävällä tarkkuudella työpaikkatapaturmien muutoksia maaliskuun, huhtikuun tai toukokuun. Ongelmana voi olla, että suurimmat muutokset rajoitustoimenpiteissä kohdistuivat yksittäisiin palvelualan sektoreihin, mutta VAR-malleissa käytetty palvelualojen liikevaihtoindeksi käsittelee palvelualoja yhtenä kokonaisuutena.

Ennustejakso 1 edustaa tilannetta, jossa ennusteympäristön muutosten vaikutuksista työpaikkatapaturmien määrään on olemassa alustavaa tietoa. Ennustejaksolle 1 kaikkien mallien loppuvuoden (elokuu-joulukuu) ennusteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Erot ennusteissa näkyvät alkuvuoden kohdalla, missä malli 4 ennustaa erittäin hyvin huhtikuun ja toukokuun työpaikkatapaturmat, mutta todella huonosti kesäkuun työpaikkatapaturmat.

Muut mallit osaltaan ennustavat heikosti huhti- ja toukokuun työpaikkatapaturmat, mutta hyvin kesäkuun työpaikkatapaturmat.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että sekä VAR- että SARIMA-mallit soveltuvat ennustamiseen erinomaisesti tilanteessa, jossa taloudessa ei tapahdu merkittäviä muutoksia. VAR-mallit tuottavat myös yleisesti SARIMA-malleja parempia ennusteita, mutta erot mallien välillä olivat yllättävän pieniä. Ennusteympäristön muuttuessa tulokset eivät olleet yhtä lupaavia, mutta selkeästi VAR-malleissa käytetyt muuttujat parantavat ennustetarkkuutta. Tilanteessa, jossa ennusteympäristön muutosten vaikutuksista työpaikkatapaturmien määrään on havaintoja tasomuutoksia kontrolloiva VAR-malli (malli 4) tuottaa tyydyttäviä ennustetuloksia, mikäli dummy-muuttujat pystytään asettamaan oikein. Yksikään malli ei kuitenkaan tuottanut vakuuttavia ennusteita tilanteessa, jossa ennusteympäristö muuttuu kesken ennustejakson. Mallin 3 voidaan kuitenkin nähdä reagoivan koronapandemian vaikutuksiin työpaikkatapaturmien määrässä ennustejaksolle 2.

6.2. Heikkoudet

VAR-malleihin sisältyy yleisesti tiettyjä heikkouksia. VAR-mallien viivästetermien määrä pienentää mallin vapausastetta, mikä voi olla merkittävä ongelma pitkien aikaväleiden kanssa. VAR-mallien parametrit ovat myös alttiita muutoksille esimerkiksi toimialojen rakennemuutoksia kohtaan. VAR-malleja voidaan pitää myös ongelmallisina aikasarjojen stationaarisuuteen liittyvien vaatimusten vuoksi.

Tutkimuksen kohdalla suurimmat ongelmat VAR-malleissa liittyivät tasomuutosten kontrollointiin sekä mallioletusten toteutumiseen. Molemmat VAR-mallit suoriutuivat heikosti diagnostiikkatesteistä tarkoittaen, että mallioletusten täyttyminen oli puutteellista.

Mallissa 3 tasomuutosten vaikutus poistettiin differensoimalla, mutta samalla tieto tasomuutosten vaikutuksesta menetettiin, joka näkyi erityisesti ennustejakson 2 ennusteissa. Mallissa 4 tasomuutoksia kontrolloitiin, mutta samalla kohdattiin muita ongelmia. Ensinnäkin, mikäli havaintoja on vähän, malli saattaa yliarvioida/aliarvioida muutosten vaikutuksen työtapaturmien määrään, mikä oli selvää ennustejakson 1 kesä- ja heinäkuun kohdalla (kuva 12). Toiseksi tasomuutoksien taustalla olevat ilmiöt eivät välttämättä vaikuta mallin muuttujiin täysin samanaikaisesti. Tämä voitiin huomata erityisesti finanssikriisin suhteen, missä finanssikriisin vaikutukset bruttokansantuotteeseen ja palkansaajien tehtyihin työtunteihin jatkuivat pidempään,

kuin työpaikkatapaturmien kohdalla. Kolmanneksi ei ole aina täysin selvää, milloin tasomuutoksen vaikutuksen kontrollointi pitäisi lopettaa. Koronapandemian osalta tämä ratkaistiin asettamalla dummy-muuttuja valmiuslain aikaisiin rajoitustoimenpiteisiin, mutta tämä jätti huomioimatta koronapandemian muut vaikutukset (esimerkiksi etätyön vaikutuksen) ennustejaksolle. Myöskin finanssikriisin suhteen ei ole täysin selvää, milloin kyseisen ilmiön vaikutuksen työpaikkatapaturmien määrään voidaan katsoa loppuneen.

Mallissa käytettyihin muuttujiin sisältyi myös joitakin heikkouksia. Palvelualojen tarkasteleminen yhtenä muuttujana havaittiin ongelmalliseksi, sillä palvelualoihin sisältyvät toimialat eivät välttämättä reagoi samalla tavalla talouden muutoksiin. Toinen ongelma sisältyy oletukseen reaalisesta bruttokansantuotteen ennusteista. Tutkimuksessa käytimme ennusteiden sijaan toteutuneita bruttokansantuotteen lukuja, mutta oikeisiin ennusteisiin sisältyy ennustevirheitä, jotka voivat vaikuttaa myös VAR-mallin ennusteisiin. Esimerkiksi Suomen Pankin lyhyen aikavälin ennusteiden (kolme kuukautta) keskineliövirheiden juurien keskiarvo tarkastelujaksoille havaittiin 1.34 ja 0.92 välille (Itkonen J., Juvonen P., 2017, s. 14).

6.3. Kehittäminen

Kuten aiemmin on todettu, VAR-mallit perustuvat oletukselle aikasarjojen stationaarisuudesta. Koska VAR-malleissa huomioidaan muuttujien välinen dynaaminen riippuvuus, ei muuttujien stationaarisuuden tarkasteleminen erillään anna oikeaa kuvaa mallin stationaarisuudesta. Monissa mallin muuttujissa, jotka selvästi korreloivat työpaikkatapaturmien kanssa, on havaittavissa pitkäaikainen trendi. Tällöin on todennäköistä, että on olemassa muuttujien välinen lineaarikombinaatio, joka on stationaarinen. Tällöin muuttujat ovat yhteisintegroituneita ja yksi mahdollinen malli tilanteen mallintamiseen on VEC (Vector Error correction)-malli.

Toinen mahdollinen tapa parantaa ennusteita olisi VAR-mallin muuttujien tarkempi valitseminen. VAR-mallien ennusteita voitaisiin mahdollisesti parantaa tarkastelemalla palvelualoja erillisinä kokonaisuuksina, jotka reagoivat talouden muutoksiin samankaltaisesti. Toinen lähestymistapa olisi ennustaa yksittäisten toimialojen työpaikkatapaturmia ja summata toimialakohtaiset ennusteet kokonaisennusteen saamiseksi.

Lähteet

- Bera A, Jarque C. (1980). *Efficient test for normality, homocedasticity and serial independence of regression residuals. Economics letter*, vol 6, no.3.
- Douglas C. Montgomery, Cheryl L. Jennings, and Murat Kulahci. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Hoboken: Wiley.
- Engle R. (1982). *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica*, vol 50 no. 4.
- Giannini C, Mosconi R. (1987). *Predictions from unrestricted and restricted VAR models. Giornale Degli Economisti E Annali Di Economia*, vol. 46, no. 5/6.
- Giraud C. (2015). *Introduction to high-dimensional statistics*. London: Chapman & Hall.
- Itkonen J., Juvonen P. (2017). *Nowcasting the Finnish economy with a large Bayesian vector autoregressive model. BoF Economics Review*, vol. 6/2017.
- Lütkepohl H. (2011). *Vector autoregressive models. EUI Working Papers. ECO 2011/30. ISSN:1725–6704*.
- Saikkonen, P. (2011). *Moniulotteiset aikasarjat*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta https://wiki.helsinki.fi/display/mathstatKurssit/Stationaariset+aikasarjat%2C+syk+sy+2010?preview=%2F61932754%2F67372753%2FStatAika10_1.pdf
- Schwarz G. (1978). *Estimating the dimension of a model. The annals of statistics*, vol. 6 no. 2.
- Suomen Pankki. (2021). *Lyhyen aikavälin ennustemalli*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta <https://www.suomenpankki.fi/fi/tutkimus/ennustemallit/>
- Tilastokeskus. (2021a). *Palkansaajat*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta <https://www.tilastokeskus.fi/meta/kas/palkansaaja.html>
- Tilastokeskus. (2021b). *Kansantalouden tilinpito*. Haettu 12. 8. 2021

Tilastokeskus. (2021c). *Työvoimatutkimus*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.stat.fi/til/tyti/index.html>

Tilastokeskus. (2021d). *Teollisuuden liikevaihtokuvaaja*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.stat.fi/til/tlv/>

Tilastokeskus. (2021e). *Rakentamisen liikevaihtokuvaaja*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.stat.fi/til/rlv/index.html>

Tilastokeskus. (2021f). *Palvelualojen liikevaihtokuvaaja*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.stat.fi/til/plv/>

TTL. (2015). *Työtapaturmien kustannukset*. Haettu 12. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.ttl.fi/euosha/tyoterveyden-ja-tyoturvallisuuden-hinta/>

TVK. (2019). *Työtapaturmavakuutus numeroina*. Haettu 28. 11. 2021 osoitteesta
<https://www.tvk.fi/document/172687/5A3029A1720AC8F37C459993C576A6662EC7F4886220D644CEBCC5BBF0EEAB5F>

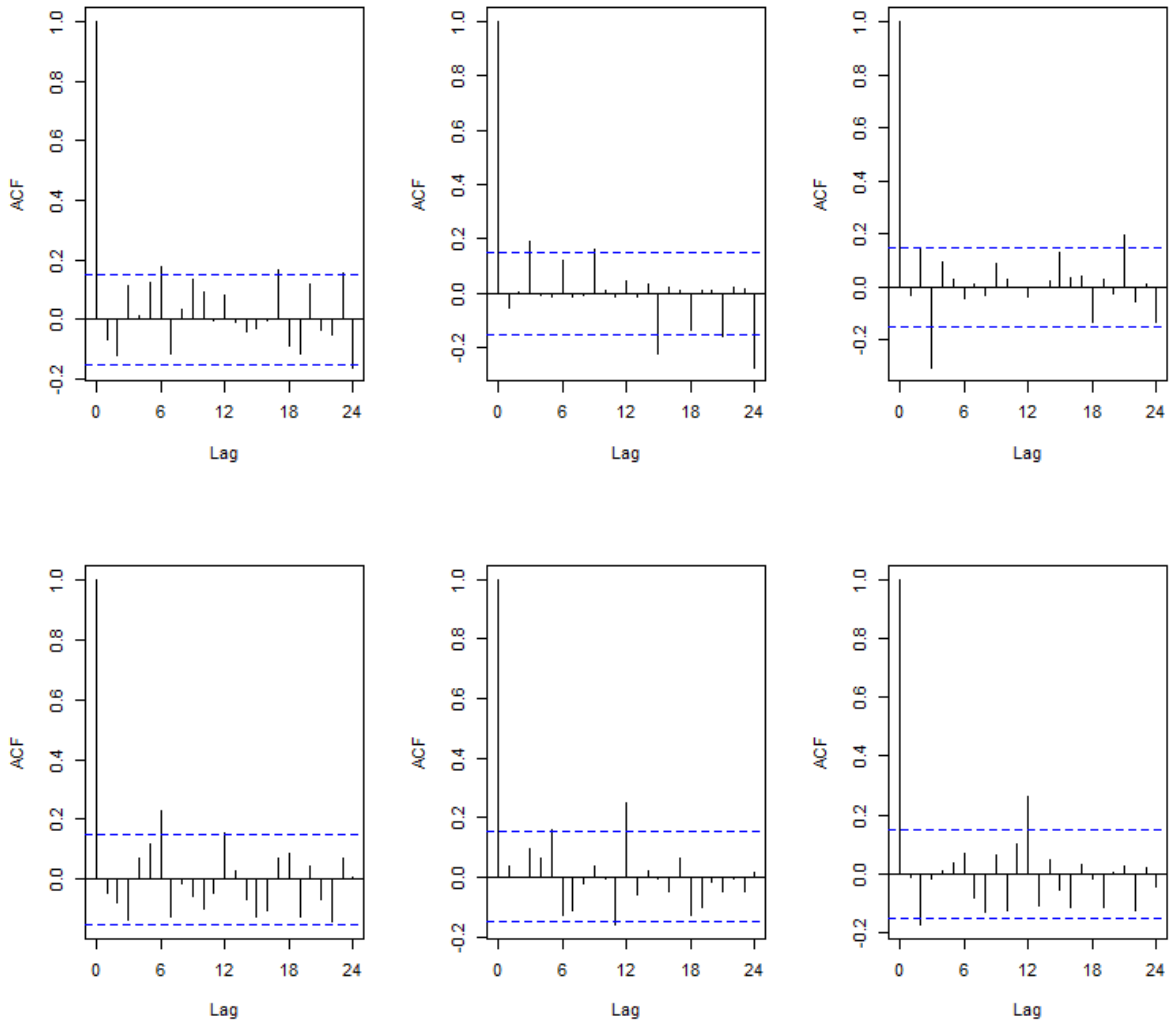
TVK. (2020b). *Työtapaturmatilastot*. Haettu 12. elokuu 2021 osoitteesta
<https://www.tvk.fi/tilastot-ja-julkaisusarjat/tilastot/tyotapaturmatilastot/>

TVK. (2021a). *Työtapaturmat*. Haettu 12. elokuu 2021 osoitteesta
<https://www.tvk.fi/korvaaminen/tyotapaturma/>

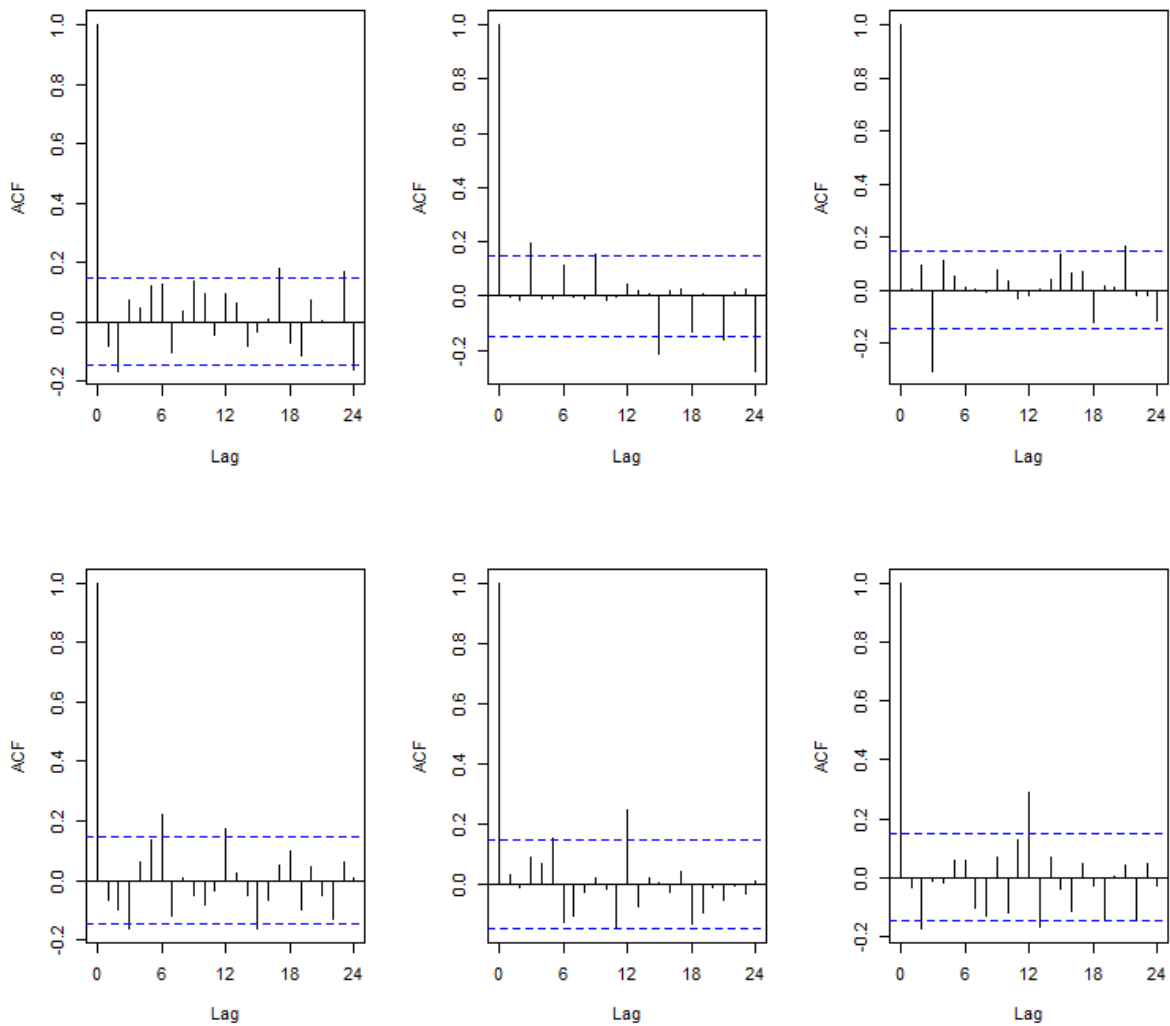
TVK. (2021c). *Täyskustannusvastuu*. Haettu 13. 8. 2021 osoitteesta
<https://www.tvk.fi/korvaaminen/hoitolaitoksille2/>

Valtioneuvosto. (2011). *Finanssikriisin reaalitaloudelliset vaikutukset Suomessa: alustava kokonaisarvio*. Valtioneuvoston kanslian raporttisarja 2011:7. Haettu 13. 8. 2021 osoitteesta
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161837/Raportti%2011-03-15%20nettiin.pdf>

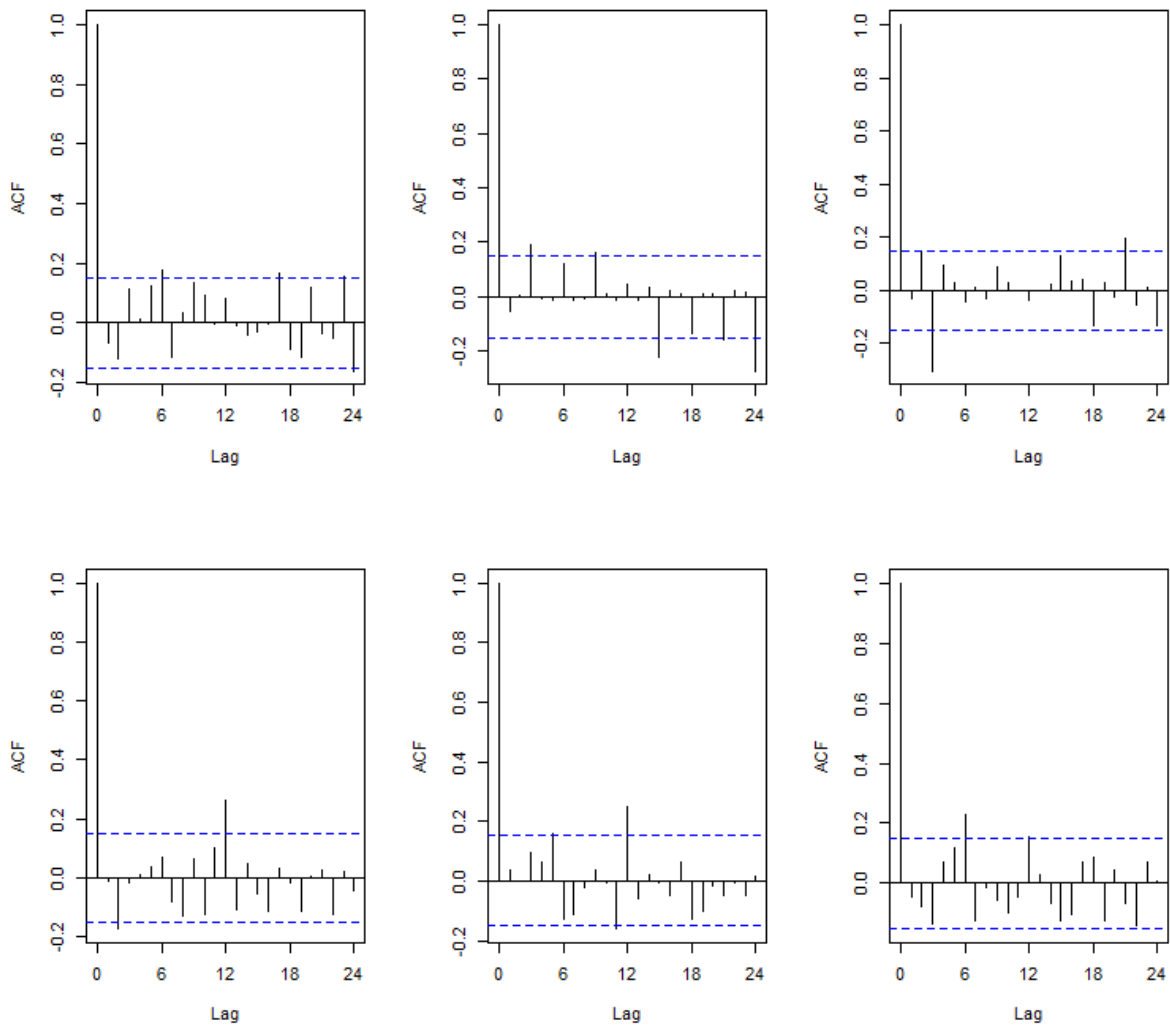
Liitteet



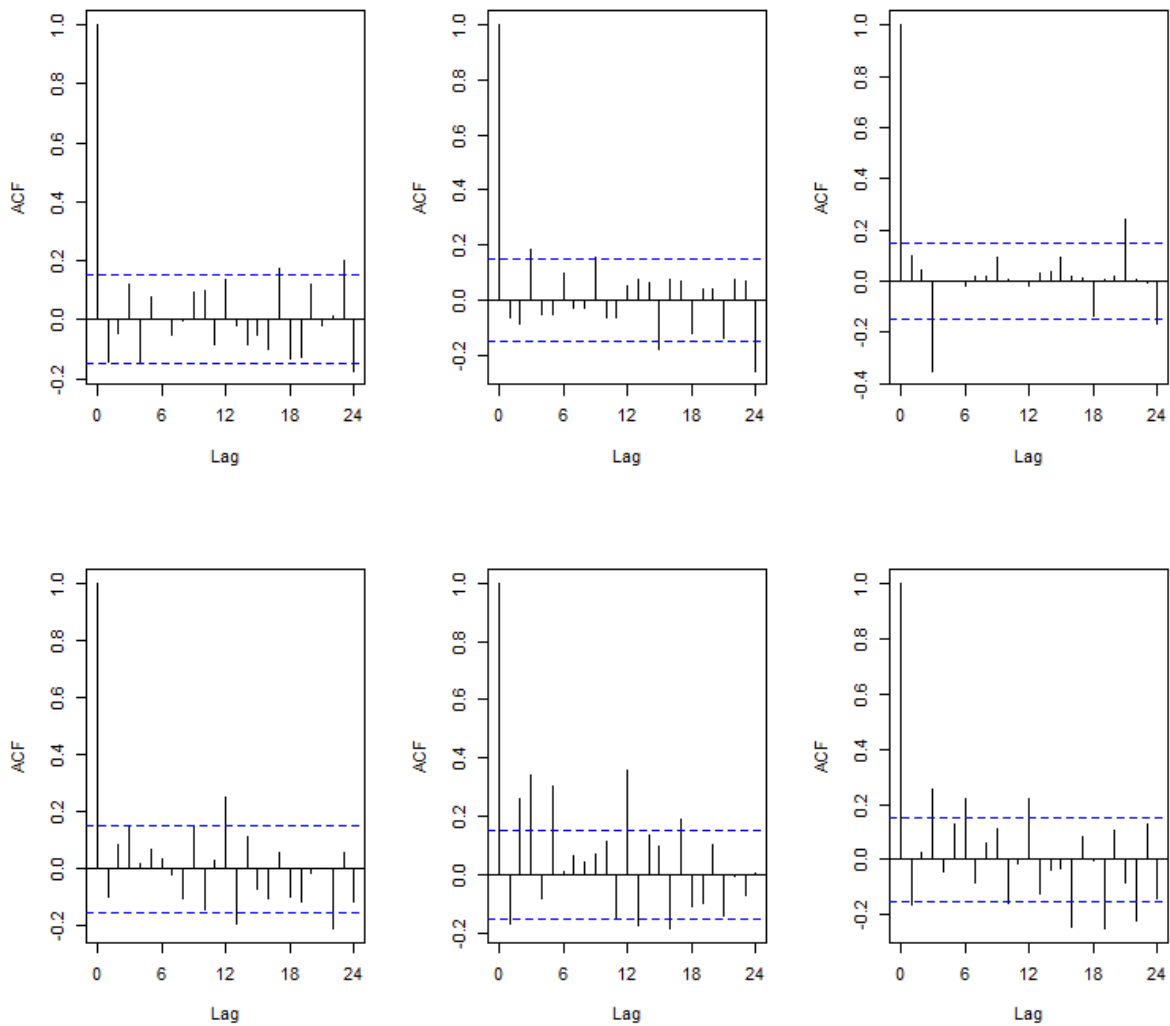
Kuva 13: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 3, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on työpaikatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja, keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.



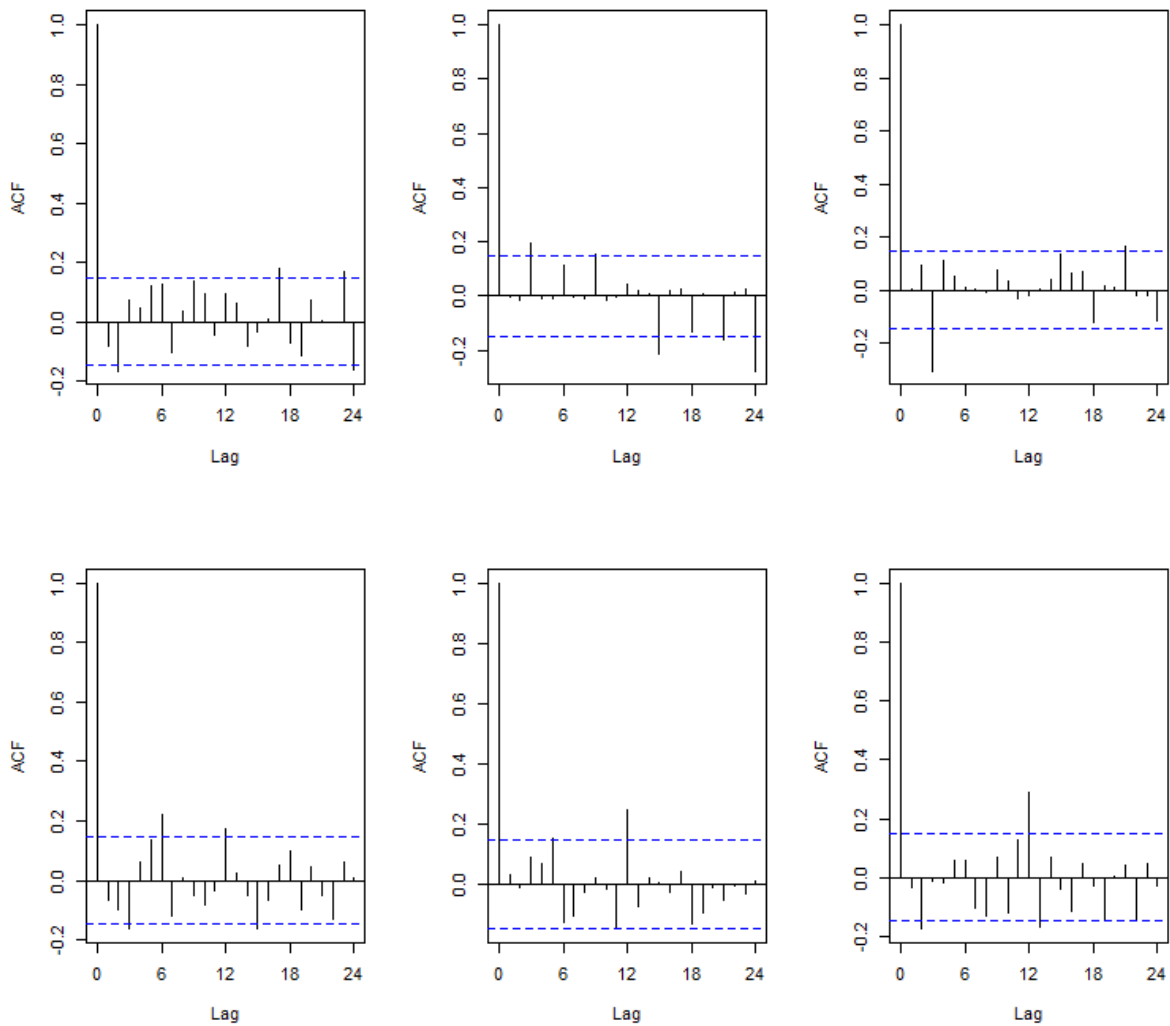
Kuva 14: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 2, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja, keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.



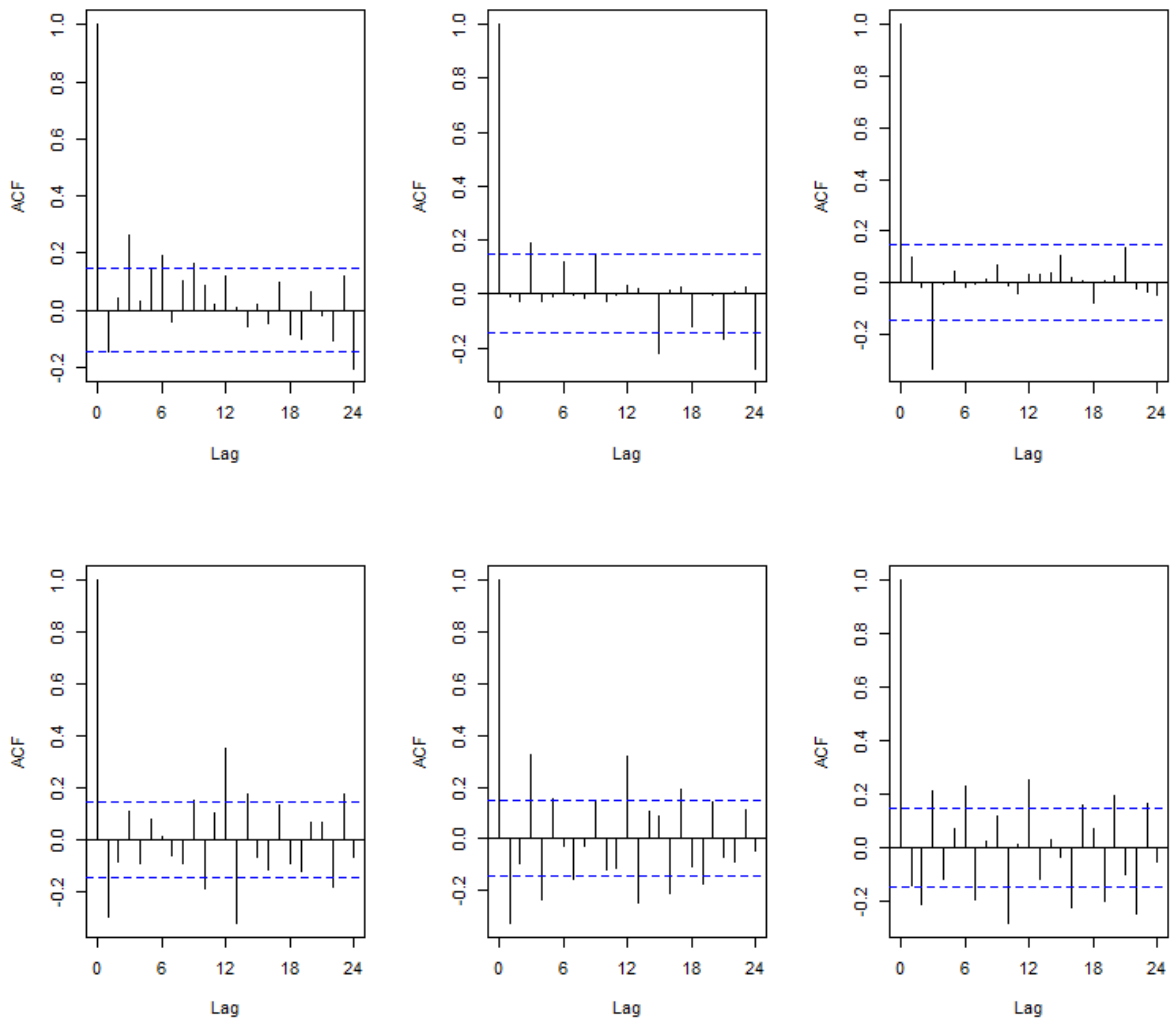
Kuva 15: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 1, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja, keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.



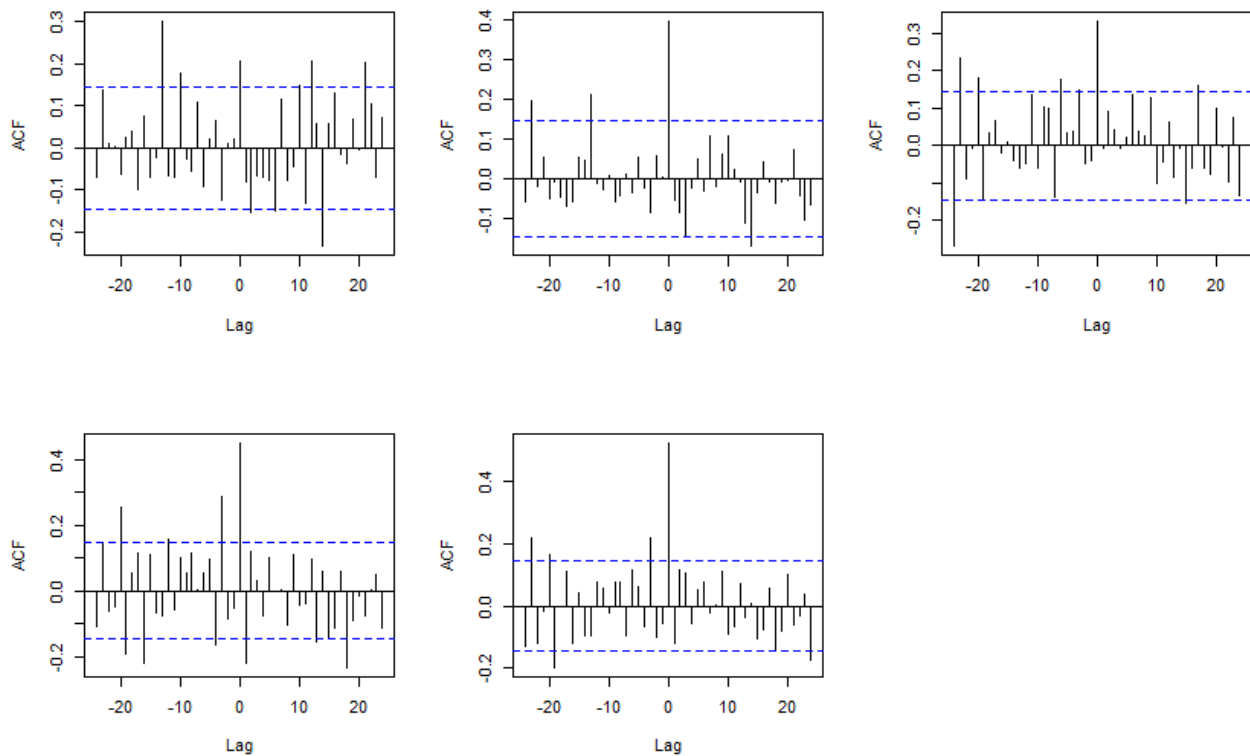
Kuva 16: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 3, Malli 4. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015), keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.



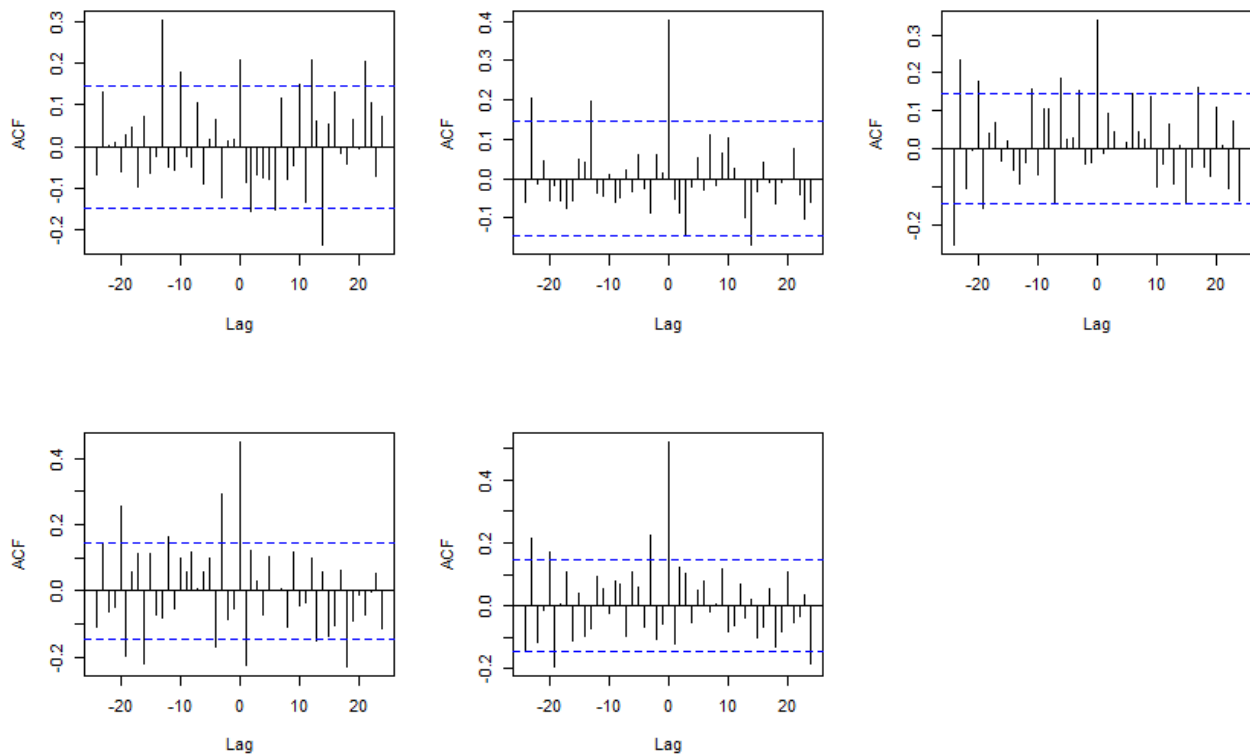
Kuva 17: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 2, Malli 4. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015), keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.



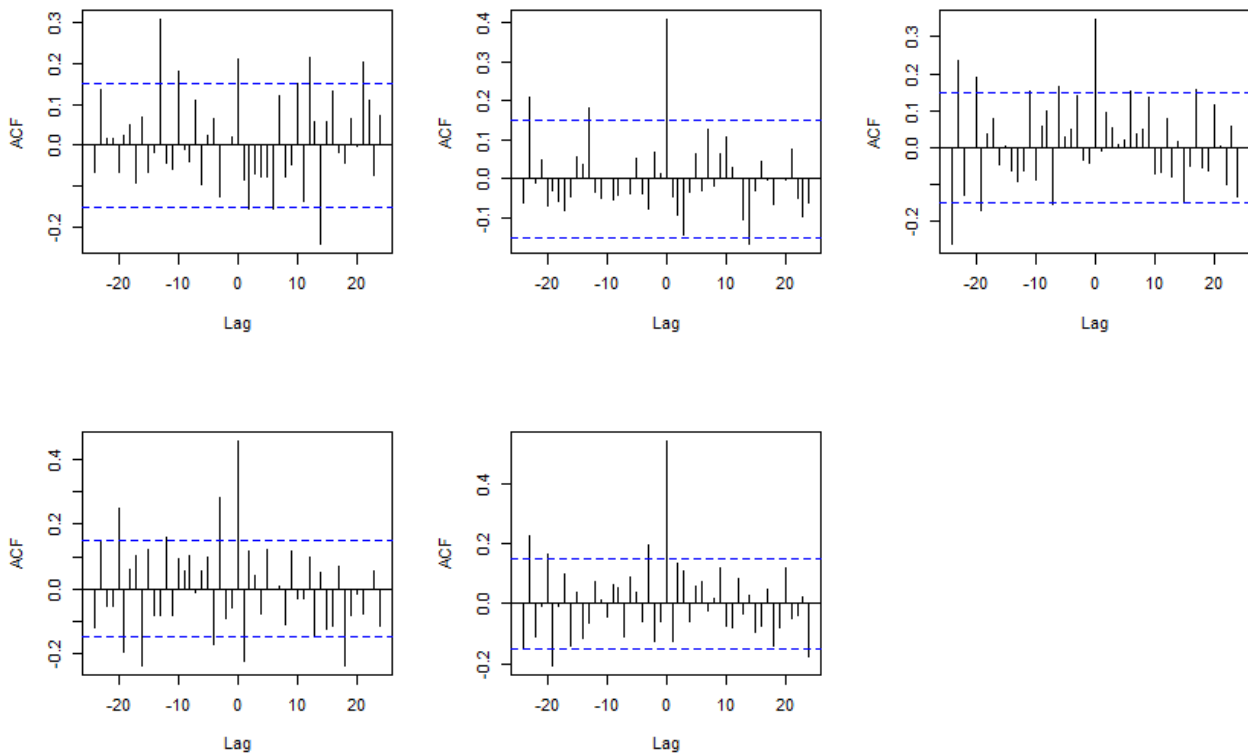
Kuva 18: Virhetermien otosautokorrelaatiofunktio, estimointijakso 1, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on työpaikkatapaturmien kuvaaja, ylhäällä keskellä bruttokansantuotteen kuvaaja (viitevuosi 2015) ja oikealla on palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015), keskellä teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.



Kuva 19: Virhetermien otosristikorraatiofunktiot työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 1, Malli 4. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.

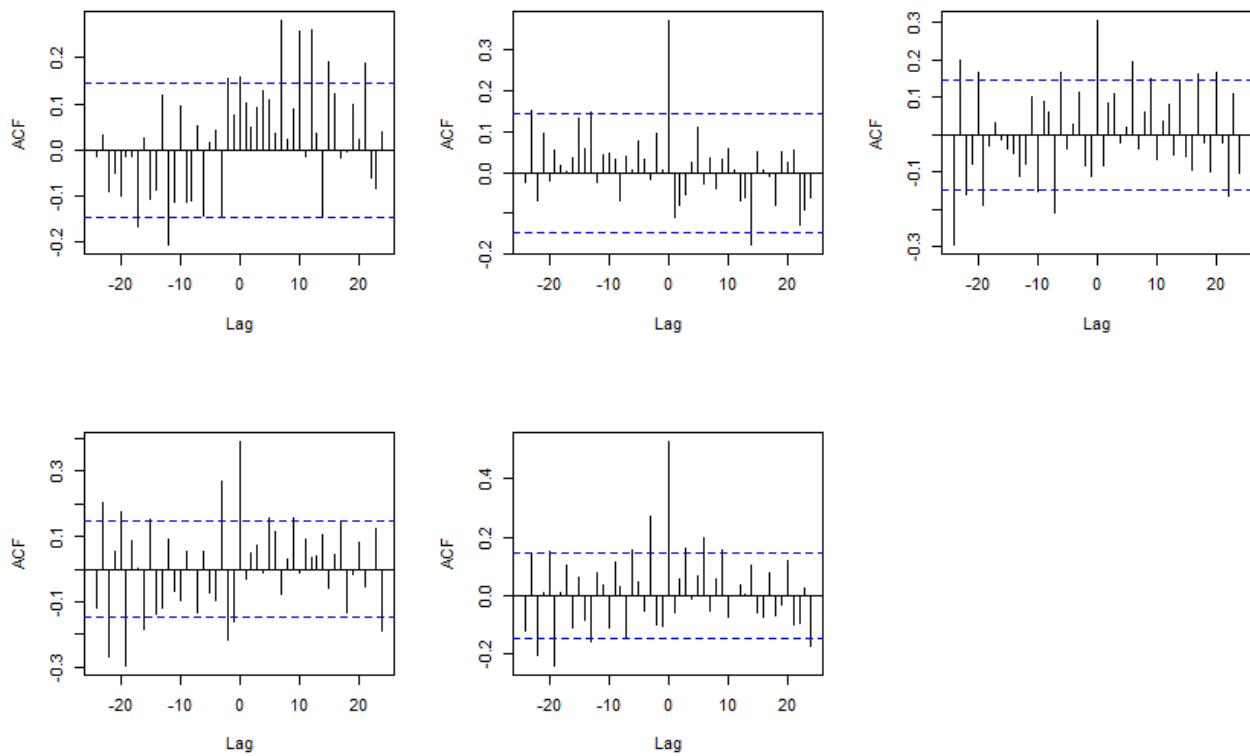


Kuva 20: Virhetermien otosristikorraatiofunktiot työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 2, Malli 4. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.



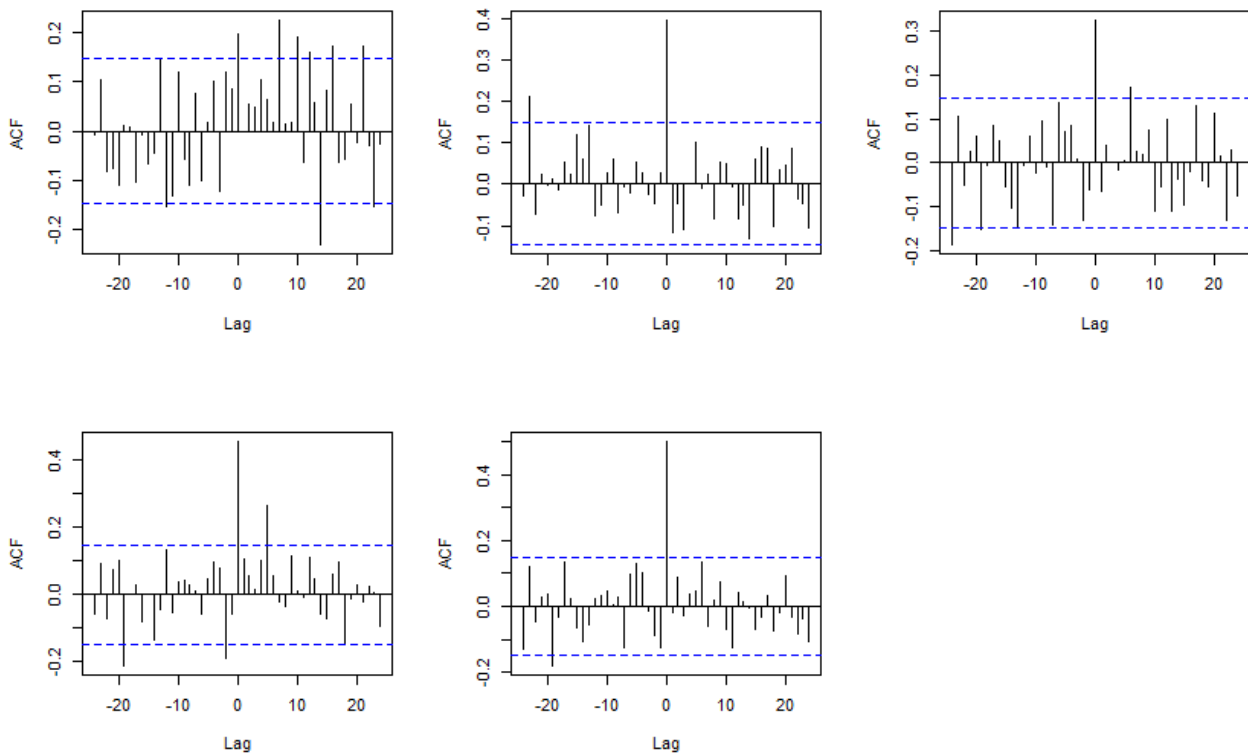
Kuva 21: Virhetermien otosristikorraatiofunktio työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 3, Malli 4. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.

Liite 10:



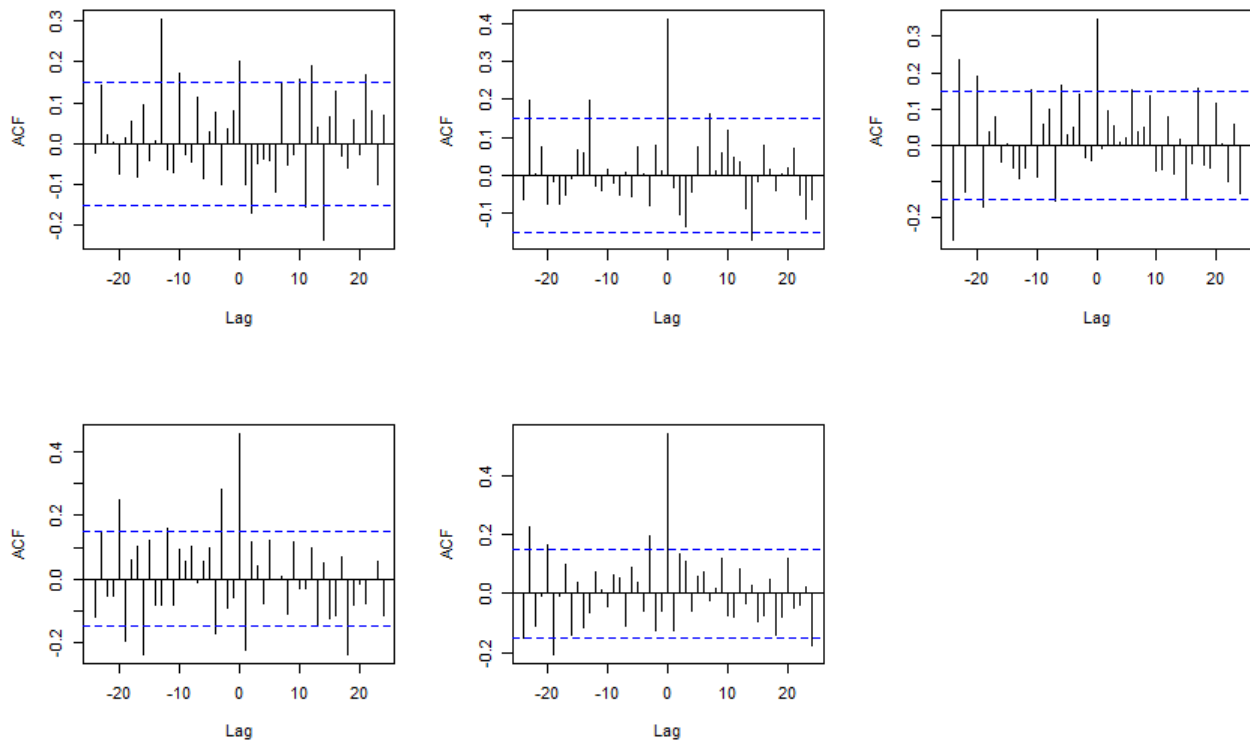
Kuva 22: Virhetermien otosristikorraatiofunktiot työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 1, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.

Liite 11:



Kuva 23: Virhetermien otosristikorraatiofunktiot työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 2, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksi (viitevuosi 2015) kuvaaja.

Liite 12:



Kuva 24: Virhetermien otosristikorrrelaatiofunktiot työpaikkatapaturmien suhteen, estimointijakso 3, Malli 3. Vasemmalla ylhäällä on bruttokansantuotteen (viitevuosi 2015) kuvaaja, ylhäällä keskellä palkansaajien tehtyjen työtuntien kuvaaja ja oikealla on palvelualojen liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja. Toisella rivillä vasemmalla on teollisuuden liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja ja oikealla on rakennusalan liikevaihtoindeksin (viitevuosi 2015) kuvaaja.

Taulukko 4.1. Vahinkojen lukumäärä.
Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja
t-arvot estimointijaksolle 3

	Vahlkm			
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	0.37	0.08	4.66	<0.01
volymmi.l1	-26.37	7.63	-3.46	<0.01
vahlkm.l2	0.44	0.08	5.65	<0.01
palvelut.l2	-74.46	7.57	-9.84	<0.01
Jan	1993.81	239.57	8.32	<0.01
Feb	2686.12	337.64	7.96	<0.01
Apr	1084.62	218.37	4.97	<0.01
May	2670.63	229.88	11.62	<0.01
Jun	1512.64	205.21	7.37	<0.01
Jul	1074.37	210.16	5.11	<0.01
Aug	2297.72	208.41	11.03	<0.01
Sep	1931.20	206.51	9.35	<0.01
Oct	2624.53	218.48	12.01	<0.01
Nov	2251.20	219.20	10.27	<0.01

Taulukko 5.1. Vahinkojen lukumäärä.
Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja
t-arvot estimointijaksolle 3

	Vahlkm			
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.89	0.11	8.10	<0.01
palvelut.l1	-16.21	7.78	-2.08	0.04
const	-6400.67	1600.40	-4.00	<0.01
trend	-10.36	2.12	-4.88	<0.01
KRIISI	-493.24	139.57	-3.53	<0.01
Jan	1674.99	192.67	8.69	<0.01
Feb	1933.19	252.27	7.66	<0.01
Mar	2237.88	232.13	9.64	<0.01
Apr	1209.95	215.59	5.61	<0.01
May	1443.58	228.49	6.32	<0.01
Jun	1375.98	188.63	7.30	<0.01
Jul	716.43	191.61	3.74	<0.01
Aug	2345.75	192.62	12.18	<0.01
Sep	2671.75	203.66	13.12	<0.01
Oct	2993.92	222.46	13.46	<0.01
Nov	2158.22	186.77	11.56	<0.01

Taulukko 4.2. Tunnit.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	0.0009	0.00041	2.10	0.04
tunnit.l1	0.0755	0.07879	9.58	<0.01
rakentaminen.l1	0.0095	0.02141	4.46	<0.01
palvelut.l1	-0.1643	0.05725	-2.87	<0.01
vahlkm.l2	0.0012	0.00038	3.23	<0.01
tunnit.l2	-0.1922	0.07359	-2.61	0.01
const	100.0240	16.24000	6.31	<0.01
Jan	-5.9270	1.63700	-3.62	<0.01
Apr	4.4070	1.30800	3.37	<0.01
Jul	-2.1150	1.15300	-18.35	<0.01
Aug	-6.2460	1.89700	-3.29	<0.01
Sep	-8.5080	1.86200	-4.57	<0.01
Oct	10.5730	2.10900	7.46	<0.01
Nov	-5.7900	2.24600	-2.58	0.01

Taulukko 5.2. Tunnit.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	0.6714	0.0612	10.97	<0.01
bkt.l1	0.0022	0.0006	3.87	<0.01
const	50.8310	10.2400	4.70	<0.01
Jan	-8.3610	1.0990	-7.61	<0.01
Apr	4.2410	1.1100	3.82	<0.01
Jul	-20.0390	-1.0680	19.09	<0.01
Aug	-6.3070	1.5840	-3.98	<0.01
Sep	-6.3070	1.5840	-3.98	<0.01
Oct	20.0320	1.5840	12.83	<0.01

Taulukko 4.3. BKT.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l2	-2.31	1.07	-2.16	0.03
const	671.39	311.53	2.16	0.03
Jan	-1428.77	41.54	-34.40	<0.01
Apr	934.52	39.90	23.42	<0.01
Jul	-342.18	40.13	-8.52	<0.01
Oct	1004.85	43.36	23.18	<0.01

Taulukko 5.3. BKT.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-6.50	2.32	-2.80	<0.01
bkt.l1	1.02	0.02	47.08	<0.01
const	1000.53	400.59	3.34	<0.01
KRIISI	-90.47	30.98	-2.38	0.02
Jan	-1000.44	-40.46	35.50	<0.01
Apr	90.18	40.10	22.38	<0.01
Jul	-300.63	30.93	-9.23	<0.01
Aug	-100.33	50.90	-2.25	0.03
Sep	-100.33	50.90	-2.25	0.03
Oct	900.09	50.90	15.41	<0.01

Taulukko 4.4. Rakentaminen.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
rakentaminen.l1	0.63916	0.07841	8.15	<0.01
palvelut.l1	-1.09644	0.21282	-5.15	<0.01
bkt.l2	0.00589	0.00114	5.15	<0.01
rakentaminen.l2	0.36926	0.07981	4.63	<0.01
palvelut.l2	-0.82540	0.08197	-10.07	<0.01
Jan	-27.62400	2.87347	-9.61	<0.01
Feb	-24.45877	3.89581	-6.28	<0.01
Apr	12.36694	2.15748	5.73	<0.01
May	14.45705	1.84466	7.84	<0.01
Jun	10.53380	2.04419	5.15	<0.01
Aug	-6.31634	2.32781	-2.71	0.01
Sep	6.46866	1.62521	3.98	<0.01
Oct	16.10585	1.74464	9.23	<0.01

Taulukko 5.4. Rakentaminen

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.0017	0.0008	-2.15	0.03
bkt.l1	0.0104	0.0011	9.59	<0.01
rakentaminen.l1	0.4414	0.0697	6.34	<0.01
palvelut.l1	-0.6471	0.1938	-3.34	<0.01
const	-70.2210	10.2360	-5.84	<0.01
trend	0.2633	0.0485	5.43	<0.01
Jan	-40.3930	3.7060	-11.85	<0.01
Feb	-10.5600	2.1700	-7.19	<0.01
Mar	-10.0390	1.8610	-5.59	<0.01
Apr	-8.4970	2.2740	-3.74	<0.01
May	-10.0480	1.9460	-5.39	<0.01
Jul	-10.4230	1.6590	-8.57	<0.01
Aug	-7.1540	1.8380	-3.89	<0.01
Oct	6.49	1.66	3.91	<0.01
Nov	-10.21	1.49	-8.08	<0.01

Taulukko 4.5. Teollisuus.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.01183	0.00093	12.75	<0.01
teollisuus.l1	-0.84520	0.07195	-11.75	<0.01
palvelut.l1	-0.63310	0.09747	-6.50	<0.01
vahlkml2	-0.00064	0.00009	-7.40	<0.01
bkt.l2	0.00948	0.00115	8.27	<0.01
teollisuus.l2	-0.35770	0.07583	-4.72	<0.01
palvelut.l2	-0.53660	0.14600	-3.67	<0.01
Mar	10.62800	4.60100	3.54	<0.01
Apr	20.10400	1.72500	12.20	<0.01
Sep	10.35300	2.29700	5.89	<0.01
Oct	10.99100	1.65700	12.02	<0.01

Taulukko 5.5. Teollisuus.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkml1	-0.003	0.00	-3.21	<0.01
bkt.l1	0.012	0.00	10.52	<0.01
teollisuus.l1	0.225	0.08	2.71	0.01
const	-100.023	10.44	-7.10	<0.01
trend	-0.124	0.01	-8.52	<0.01
KRIISI	-8.768	1.64	-5.34	<0.01
Jan	-20.286	2.27	-10.05	<0.01
Mar	10.608	1.67	9.61	<0.01
Apr	9.915	2.11	4.69	<0.01
May	-4.236	1.91	-2.22	0.03
Jun	5.490	1.61	3.42	<0.01
Jul	-10.129	1.82	-6.22	<0.01
Sep	10.089	1.66	6.58	<0.01
Oct	8.598	1.86	4.63	<0.01

Taulukko 4.6. Palvelut.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-0.1348	0.045573	-2.96	<0.01
bkt.l1	0.0034	0.001236	2.77	0.01
volyymi.l1	-0.0948	0.029021	-3.27	<0.01
palvelut.l1	-0.5215	0.089469	-5.83	<0.01
tunnit.l2	0.0998	0.047557	2.10	0.04
bkt.l2	0.0034	0.001030	3.33	<0.01
palvelut.l2	-0.4851	0.071677	-6.77	<0.01
const	21.6157	7.258688	2.98	<0.01
Jan	-26.5848	1.788053	-14.87	<0.01
Feb	-13.3239	2.652773	-5.02	<0.01
Mar	-7.2172	2.904773	-2.49	0.01
Apr	-9.2310	1.489946	-6.20	<0.01
May	-8.5219	1.733317	-4.92	<0.01
Jun	-12.9380	0.919246	-14.08	<0.01
Jul	-18.4737	1.326412	-13.93	<0.01
Aug	-14.1182	1.543698	-9.15	<0.01
Sep	-7.4691	1.747864	-4.27	<0.01
Oct	-3.8435	1.521411	-2.53	0.01
Nov	-9.4931	1.745882	-5.44	<0.01

Taulukko 5.6. Palvelut.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 3

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlk.m.l1	-0.00104	0.00036	-2.90	<0.01
bkt.l1	0.0041	0.00029	14.23	<0.01
palvelut.l1	0.2997	0.08571	3.50	<0.01
trend	0.1433	0.02303	6.22	<0.01
KRIISI	-1.3630	0.54080	-2.52	0.01
Jan	-2.8890	1.82500	-15.83	<0.01
Feb	-10.4260	0.72810	-19.58	<0.01
Mar	-5.0740	0.69160	-7.34	<0.01
Apr	-10.2480	0.84650	-14.74	<0.01
May	-10.2790	0.82470	-15.51	<0.01
Jun	-10.0890	0.71520	-15.23	<0.01
Jul	-20.2490	0.81280	-27.67	<0.01
Aug	-10.4310	0.83050	-17.24	<0.01
Sep	-80.8240	0.69250	-12.74	<0.01
Oct	-8.1420	0.71250	-11.43	<0.01
Nov	-10.4240	0.69600	-20.46	<0.01

Taulukko 6.1. VAHLKM.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Vahlkm				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	0.37	0.08	4.85	<0.01
bkt.l1	0.59	0.30	1.96	0.05
teollisuus.l1	-27.92	7.32	-3.81	<0.01
vahlkm.l2	0.44	0.07	5.90	<0.01
palvelut.l2	-75.63	7.25	-10.43	<0.01
Jan	2020.32	230.69	8.76	<0.01
Feb	3565.85	546.47	6.53	<0.01
Apr	1097.54	208.89	5.25	<0.01
May	2163.70	358.67	6.03	<0.01
Jun	1529.17	194.00	7.88	<0.01
Jul	1119.96	198.10	5.65	<0.01
Aug	2484.13	218.76	11.36	<0.01
Sep	1956.08	194.62	10.05	<0.01
Oct	2695.73	206.86	13.03	<0.01
Nov	1662.73	368.89	4.50	<0.01

Taulukko 7.1. Palvelut.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Vahlkm				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.89	0.106	8.47	<0.01
rakentaminen.l1	-16.66	7.392	-2.25	0.03
const	-6416.53	1524.778	-4.21	<0.01
trend	-10.26	2.038	-5.04	<0.01
KRIISI	-493.39	135.895	-3.63	<0.01
Jan	1691.97	183.737	9.21	<0.01
Feb	1933.31	241.067	8.02	<0.01
Mar	2240.25	222.082	10.09	<0.01
Apr	1216.94	202.521	6.01	<0.01
May	1462.15	216.336	6.76	<0.01
Jun	1366.49	177.776	7.69	<0.01
Jul	742.45	179.469	4.14	<0.01
Aug	2333.86	181.146	12.88	<0.01
Sep	2681.39	192.119	13.96	<0.01
Oct	3015.50	209.028	14.43	<0.01
Nov	2185.43	177.171	12.34	<0.01

Taulukko 6.2. Tunnit.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	0.800	0.075	10.63	<0.01
kuutiot.l1	0.089	0.020	4.55	<0.01
palvelut.l1	-0.203	0.066	-3.09	<0.01
vahlkml.l2	0.002	0.000	4.05	<0.01
tunnit.l2	-0.183	0.072	-2.55	0.01
const	90.047	14.400	6.28	<0.01
Jan	-6.381	1.575	-4.05	<0.01
Apr	5.690	1.447	3.93	<0.01
Jun	2.608	1.318	1.98	0.05
Jul	-2.042	1.152	-17.72	<0.01
Aug	-5.736	1.821	-3.15	<0.01
Sep	-5.679	1.618	-3.51	<0.01
Oct	10.791	1.815	9.87	<0.01
Nov	-4.544	2.079	-2.19	0.03

Taulukko 7.2. Tunnit.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	0.671	0.059	11.43	<0.01
bkt.l1	0.002	0.001	4.08	<0.01
const	50.803	10.137	5.10	<0.01
Jan	-8.404	1.062	-7.92	<0.01
Apr	4.166	1.050	3.97	<0.01
Jul	-20.032	-1.011	20.09	<0.01
Aug	-6.235	1.496	-4.16	<0.01
Sep	-6.235	1.496	-4.17	<0.01
Oct	20.000	1.496	13.37	<0.01

Taulukko 6.3. BKT.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-2.1	0.99	-2.10	0.04
const	607.6	289.05	2.10	0.04
Jan	-1433.0	40.17	-35.68	<0.01
Apr	940.8	37.77	24.91	<0.01
Jul	-342.1	37.99	-9.00	<0.01
Oct	998.2	40.88	24.42	<0.01

Taulukko 7.3. BKT.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-6.00	2.229	-2.69	<0.01
bkt.l1	1.02	0.021	48.97	<0.01
const	1000.37	400.211	3.25	<0.01
KRIISI	-90.64	30.897	-2.47	<0.01
Jan	-1000.44	-39.150	36.82	<0.01
Apr	900.30	30.887	23.93	<0.01
Jul	-300.60	30.728	-9.65	<0.01
Aug	-100.20	50.578	-2.16	<0.01
Sep	-100.20	50.578	-2.16	<0.01
Oct	900.11	50.578	16.33	<0.01

Taulukko 6.4. Rakentaminen.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
kuutiot.l1	0.630	0.0767	8.22	<0.01
palvelut.l1	-1.040	0.2083	-4.99	<0.01
bkt.l2	0.006	0.0011	5.21	<0.01
kuutiot.l2	0.379	0.0781	4.85	<0.01
palvelut.l2	-0.827	0.0802	-10.32	<0.01
Jan	-28.379	2.8245	-10.05	<0.01
Feb	-23.625	3.7885	-6.24	<0.01
Apr	12.039	2.0978	5.74	<0.01
May	15.043	1.7650	8.52	<0.01
Jun	10.134	1.9864	5.10	<0.01
Aug	-5.513	2.2340	-2.47	0.01
Sep	5.901	1.5677	3.76	<0.01
Oct	16.260	1.6917	9.61	<0.01

Taulukko 7.4. Rakentaminen

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.002	0.0008	-2.32	0.02
bkt.l1	0.011	0.0011	9.86	<0.01
rakentaminen.l1	0.450	0.0673	6.69	<0.01
palvelut.l1	-0.618	0.1879	-3.29	<0.01
const	-70.718	10.2070	-6.39	<0.01
trend	0.255	0.0474	5.38	<0.01
Jan	-40.476	3.5930	-12.46	<0.01
Feb	-10.490	2.1300	-7.00	<0.01
Mar	-9.778	1.8330	-5.33	<0.01
Apr	-8.093	2.2030	-3.67	<0.01
May	-10.020	1.9020	-5.36	<0.01
Jul	-10.402	1.6080	-8.72	<0.01
Aug	-6.596	1.7730	-3.72	<0.01
Oct	7.209	1.6070	4.49	<0.01
Nov	-10.209	1.4490	-8.35	<0.01

Taulukko 6.5. Teollisuus.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.0119	0.0009	13.14	<0.01
teollisuus.l1	-0.8472	0.0699	-12.12	<0.01
palvelut.l1	-0.6296	0.0943	-6.67	<0.01
vahlkm.l2	-0.0007	0.0001	-7.86	<0.01
bkt.l2	0.0095	0.0011	8.72	<0.01
teollisuus.l2	-0.3575	0.0736	-4.86	<0.01
palvelut.l2	-0.5202	0.1400	-3.72	<0.01
Mar	10.6830	4.3970	3.83	<0.01
Apr	20.1080	1.6630	12.68	<0.01
Sep	10.4200	2.1770	6.52	<0.01
Oct	10.9950	1.5910	12.54	<0.01

Taulukko 7.5. Teollisuus.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.0135	0.0012	11.01	<0.01
volyymi.l1	0.1796	0.0655	2.74	0.01
palvelut.l1	-0.4078	0.0478	-8.54	<0.01
const	-100.1790	10.3920	-8.47	<0.01
KRIISI	-7.7580	1.5870	-4.89	<0.01
Jan	-10.2020	1.6730	-7.19	<0.01
Mar	10.5710	1.6080	9.77	<0.01
Apr	10.3670	2.1780	6.28	<0.01
Jun	7.2610	1.5150	4.79	<0.01
Jul	-7.4960	1.6390	-4.57	<0.01
Sep	10.0760	1.5420	6.98	<0.01
Oct	10.0230	1.8290	5.59	<0.01

Taulukko 6.6. Palvelut.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-0.125	0.0452	-2.77	0.01
bkt.l1	0.004	0.0012	3.00	<0.01
teollisuus.l1	-0.091	0.0286	-3.20	<0.01
palvelut.l1	-0.543	0.0866	-6.27	<0.01
tunnit.l2	0.108	0.0459	2.35	0.02
bkt.l2	0.003	0.0010	3.13	<0.01
palvelut.l2	-0.493	0.0706	-6.99	<0.01
const	16.741	6.4432	2.60	0.01
Jan	-26.712	1.7626	-15.16	<0.01
Feb	-13.572	2.5898	-5.24	<0.01
Mar	-7.950	2.8795	-2.76	0.01
Apr	-9.106	1.4750	-6.17	<0.01
May	-8.934	1.7216	-5.19	<0.01
Jun	-12.990	0.8914	-14.57	<0.01
Jul	-18.637	1.3082	-14.25	<0.01
Aug	-14.294	1.5110	-9.46	<0.01
Sep	-7.483	1.7116	-4.37	<0.01
Oct	-3.584	1.4886	-2.41	0.02
Nov	-10.101	1.7221	-5.87	<0.01

Taulukko 7.6. Palvelut.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 2

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.0011	0.0004	-3.05	<0.01
bkt.l1	0.0041	0.0003	14.57	<0.01
palvelut.l1	0.3153	0.0825	3.82	<0.01
trend	0.1411	0.0225	6.28	<0.01
KRIISI	-1.3740	0.5423	-2.53	0.01
Jan	-20.9490	1.7750	-16.62	<0.01
Feb	-10.4470	0.7165	-20.20	<0.01
Mar	-5.3070	0.6812	-7.79	<0.01
Apr	-10.2690	0.8161	-15.54	<0.01
May	-10.3030	0.8094	-16.10	<0.01
Jun	-10.1220	0.6959	-16.13	<0.01
Jul	-20.2700	0.7938	-28.60	<0.01
Aug	-10.4500	0.8025	-18.07	<0.01
Sep	-9.0630	0.6678	-13.57	<0.01
Oct	-8.3480	0.6929	-12.05	<0.01
Nov	-10.4650	0.6775	-21.62	<0.01

Taulukko 8.1. VAHLKM.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Vahlkm				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	0.57	0.08	7.54	<0.01
tunnit.l1	10.79	3.13	3.45	<0.01
rakentaminen.l1	-10.68	2.89	-3.69	<0.01
teollisuus.l1	-28.25	6.62	-4.27	<0.01
Jan	2843.61	254.87	11.16	<0.01
Feb	711.21	247.71	2.87	<0.01
Mar	1492.91	231.55	6.45	<0.01
Apr	875.72	251.35	3.48	<0.01
May	2054.08	264.12	7.78	<0.01
Jun	1341.97	216.93	6.19	<0.01
Jul	1001.25	222.83	4.49	<0.01
Aug	2421.07	225.17	10.75	<0.01
Sep	2478.59	204.47	12.12	<0.01
Oct	2733.97	211.39	12.93	<0.01
Nov	2057.2	211.08	9.75	<0.01

Taulukko 9.1. Palvelut.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Vahlkm				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.888	0.1045	8.492	<0.01
rakentaminen.l1	-16.402	7.2996	-2.247	<0.01
const	-6321.7	1511.6	-4.182	<0.01
trend	-10.376	2.0145	-5.151	<0.01
KRIISI	-496.5	135.203	-3.672	<0.01
COVID	-1710.6	476.881	-3.587	<0.01
Jan	1686.3	181.184	9.307	<0.01
Feb	1912.1	237.304	8.057	<0.01
Mar	2238.2	220.237	10.163	<0.01
Apr	1212.9	201.15	6.03	<0.01
May	1464	214.558	6.823	<0.01
Jun	1365.3	176.79	7.723	<0.01
Jul	738.407	178.545	4.136	<0.01
Aug	2330.1	180.203	12.93	<0.01
Sep	2675.73	191.052	14.005	<0.01
Oct	3008.52	207.699	14.485	<0.01
Nov	2183.41	176.215	12.391	<0.01

Taulukko 8.2. Tunnit.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	0.0015	0.0003	4.58	<0.01
tunnit.l1	0.6647	0.0512	12.98	<0.01
rakentaminen.l1	0.0788	0.0174	4.52	<0.01
palvelut.l1	-0.394	0.0601	-6.55	<0.01
const	70.903	10.329	5.94	<0.01
Feb	-8.422	1.748	-4.81	<0.01
Apr	6.779	1.172	5.78	<0.01
Jul	-10.998	1.046	-19.1	<0.01
Aug	-9.694	1.678	-5.77	<0.01
Sep	-6.559	1.65	-3.97	<0.01
Oct	10.93	1.737	11.11	<0.01

Taulukko 9.2. Tunnit.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Tunnit				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	0.6801	0.0578	11.76	<0.01
bkt.l1	0.0022	0.0005	4.12	<0.01
const	55.35	11.21	4.94	<0.01
Jan	-8.129	1.037	-7.84	<0.01
Apr	4.153	1.048	3.96	<0.01
Jul	-20.037	1.012	-20.14	<0.01
Aug	-6.099	1.49	-4.09	<0.01
Sep	-6.099	1.49	-4.09	<0.01
Oct	20.014	1.49	13.51	<0.01

Taulukko 8.3. BKT.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-2.06	0.96	-2.14	0.0339
const	600.47	281.17	2.14	0.0341
Jan	-1442.09	38.69	-37.27	<0.01
Apr	940.59	37.39	25.16	<0.01
Jul	-342.47	37.58	-9.11	<0.01
Oct	998.35	40.41	24.71	<0.01

Taulukko 9.3. BKT.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

BKT				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-5.77	2.176	-2.652	<0.01
bkt.l1	1.02	0.0205	49.698	<0.01
const	1353	412	3.283	<0.01
KRIISI	-97.91	38.65	-2.533	<0.01
Jan	-1450	37.99	-38.17	<0.01
Apr	927.7	38.56	24.062	<0.01
Jul	-360.4	37.04	-9.73	<0.01
Aug	-117.2	55.16	-2.125	0.035
Sep	-117.2	55.16	-2.125	0.035
Oct	913.9	55.16	16.569	<0.01

Taulukko 8.4. Rakentaminen.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
tunnit.l1	-0.001	0.0006	-2.09	0.04
kuutiot.l1	0.011	0.0013	8.15	<0.01
palvelut.l1	-0.574	0.0542	-10.6	<0.01
Jan	10.517	5.185	2.93	<0.01
Feb	-20.234	1.88	-11.89	<0.01
Jun	9.386	1.647	5.7	<0.01
Jul	-10.818	2.465	-7.38	<0.01
Aug	-10.588	1.662	-9.55	<0.01
Sep	-4.84	1.889	-2.56	0.01
Oct	7.53	1.623	4.64	<0.01
Nov	-10.448	2.448	-5.92	<0.01

Taulukko 9.4. Rakentaminen

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Rakentaminen				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.0017	0.0008	-2.239	0.026
bkt.l1	0.0108	0.0011	10.072	<0.01
rakentaminen.l1	0.4441	0.067	6.627	<0.01
palvelut.l1	-0.6586	0.185	-3.561	<0.01
const	-78.49	12.08	-6.499	<0.01
trend	0.2673	0.0467	5.723	<0.01
Jan	-44.44	3.581	-12.41	<0.01
Feb	-14.92	2.104	-7.089	<0.01
Mar	-9.576	1.795	-5.334	<0.01
Apr	-7.857	2.197	-3.577	<0.01
May	-10.27	1.908	-5.382	<0.01
Jul	-13.81	1.605	-8.603	<0.01
Aug	-6.736	1.773	-3.799	<0.01
Oct	7.412	1.61	4.606	<0.01
Nov	-12.01	1.452	-8.271	<0.01

Taulukko 8.5. Teollisuus.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.001	0.0006	-2.09	0.04
bkt.l1	0.011	0.0013	8.15	<0.01
teollisuus.l1	-0.574	0.0542	-10.6	<0.01
const	10.517	5.185	2.93	<0.01
Jan	-20.234	1.88	-11.89	<0.01
Mar	9.386	1.647	5.7	<0.01
May	-10.818	2.465	-7.38	<0.01
Jul	-10.588	1.662	-9.55	<0.01
Aug	-4.84	1.889	-2.56	0.01
Sep	7.53	1.623	4.64	<0.01
Nov	-10.448	2.448	-5.92	<0.01

Taulukko 9.5. Teollisuus.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Teollisuus				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
bkt.l1	0.0136	0.0012	11.245	<0.01
teollisuus.l1	0.1792	0.0644	2.783	<0.01
palvelut.l1	-0.4072	0.0463	-8.805	<0.01
const	-118.4	13.69	-8.648	<0.01
KRIISI	-7.746	1.573	-4.925	<0.01
Jan	-11.95	1.632	-7.322	<0.01
Mar	15.89	1.547	10.272	<0.01
Apr	13.72	2.139	6.411	<0.01
Jun	7.275	1.499	4.852	<0.01
Jul	-7.481	1.617	-4.626	<0.01
Sep	10.79	1.525	7.075	<0.01
Oct	10.25	1.8	5.696	<0.01

Taulukko 8.6. Palvelut.

Mallin 3 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
palvelut.l1	-0.458	0.071	-6.49	<0.01
const	13.664	0.592	23.09	<0.01
Jan	-29.58	1.389	-21.29	<0.01
Feb	-23.928	1.692	-14.14	<0.01
Mar	-4.249	0.819	-5.19	<0.01
Apr	-13.553	1.146	-11.82	<0.01
May	-12.119	0.847	-14.3	<0.01
Jun	-10.155	0.897	-11.32	<0.01
Jul	-23.201	0.857	-27.06	<0.01
Aug	-13.91	1.034	-13.45	<0.01
Sep	-6.126	0.926	-6.61	<0.01
Oct	-8.8	0.959	-9.17	<0.01
Nov	-14.104	0.867	-16.26	<0.01

Taulukko 9.6. Palvelut.

Mallin 4 parametrien arvot, keskineliövirheet ja t-arvot estimointijaksolle 1

Palvelut				
	Estimate	Std. Error	tvalue	Pr(> t)
vahlkm.l1	-0.0011	0.0004	-2.99	<0.01
bkt.l1	0.0041	0.0003	14.9	<0.01
palvelut.l1	0.3015	0.0804	3.75	<0.01
trend	0.1442	0.022	6.56	<0.01
KRIISI	-1.369	0.5431	-2.52	<0.01
COVID	-9.058	1.908	-4.75	<0.01
Jan	-29.23	1.757	-16.63	<0.01
Feb	-14.71	0.6991	-21.04	<0.01
Mar	-5.345	0.6804	-7.86	<0.01
Apr	-12.6	0.8086	-15.58	<0.01
May	-13	0.8096	-16.06	<0.01
Jun	-11.19	0.695	-16.09	<0.01
Jul	-22.63	0.7887	-28.69	<0.01
Aug	-14.54	0.8027	-18.12	<0.01
Sep	-9.085	0.6682	-13.6	<0.01
Oct	-8.304	0.6919	-12	<0.01
Nov	-14.62	0.6778	-21.57	0

Taulukko 10. Muuttujien ADF-testien p-arvot, kun muuttujien trendiä kontrolloidaan

	I(0)
bkt	<0.01
tunnit	<0.01
vahlkm	<0.01
rakentaminen	<0.01
teollisuus	<0.01
palvelut	<0.01

Taulukko 11: Muuttujien ADF-testien p-arvot

	I(0)	I(1)
bkt	0.1403	<0.01
tunnit	<0.01	-
vahlkm	0.01071	-
rakentaminen	<0.01	-
teollisuus	0.5424	<0.01
palvelut	0.5655	<0.01

Taulukko 12. Mallin 1 parametrit ja niiden keskineliövirheet

		ar1	ma1	ma2	sma1
Estimointijakso 1	Coefficients:	0.9576	-0.8799	0.229	-0.855
Estimointijakso 1	s.e.	0.0294	0.0798	0.077	0.0845
Estimointijakso 2	Coefficients	0.9586	-0.8807	0.225	-0.858
Estimointijakso 2	s.e.	0.0285	0.078	0.075	0.081
Estimointijakso 3	Coefficients	0.9601	-0.858	0.22	-0.851
Estimointijakso 3	s.e.	0.0308	0.0798	0.076	0.0777

Taulukko 13. Mallin 2 parametrit ja niiden keskineliövirheet

		ar1	ar2	ma1	ma2	sma1	drift	Kriisi	Covid
Estimointijakso 1	Coefficients	1.806	-0.823	-1.768	0.843	-0.874	-8.04	-820.01	-1688.09
Estimointijakso 1	s.e.	0.099	0.098	0.081	0.068	0.083	3.178	180.254	516.98
Estimointijakso 2	Coefficients	0.976	0	-0.997	0.245	-0.834	0	-837.39	0
Estimointijakso 2	s.e.	0.02	0	0.08	0.073	0.081	0	211.25	0
Estimointijakso 3	Coefficients	0.961	0	-0.986	0.243	-0.85	-5.955	-837.39	0
Estimointijakso 3	s.e.	0.03	0	0.081	0.071	0.082	4.757	211.25	0



Tapaturmavakuutuskeskus TVK, Itämerenkatu 11-13, 00180 Helsinki